

**APLICACIONES DE UN “MODELO CONCEPTUAL GENERALIZADO DE UN SISTEMA
PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES”**

Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial

**CÉSAR AUGUSTO RIVERA PALACIOS
FREDDY SARMIENTO VILLAMIZAR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA
2005**

**APLICACIONES DE UN “MODELO CONCEPTUAL GENERALIZADO DE UN SISTEMA
PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES”**

Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial

**CÉSAR AUGUSTO RIVERA PALACIOS
FREDDY SARMIENTO VILLAMIZAR**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero de Sistemas**

**Director
HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA
Ingeniero de Sistemas, Msc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA
2005**

A Dios

A mis padres por su constante apoyo durante toda
mi vida

A Diana, mi novia, por acompañarme en esta larga
jornada

Y a todos mis verdaderos amigos

CÉSAR AUGUSTO RIVERA PALACIOS

A Dios por regalarme su paraíso cada mañana
A mi familia por permitirme ser lo que soy
A Zulma, mi novia, por su comprensión y apoyo
incondicional
A la familia Monsalve por acogerme en su vida
A todos en quienes confío
Y a quienes han hecho esto posible

FREDDY SARMIENTO VILLAMIZAR

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Hugo Hernando Andrade Sosa, Msc. en Informática y Director del grupo de investigación SIMON y de esta tesis de grado, por su participación activa por aportar su visión y por su voto de confianza al creer en nosotros.

Julio Alcazar Rivas, Sergio Luis Lubo Argumedo, Jesús Anibal Uribe Enriquez y Nain Zúñiga Porto, estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Magdalena, por permitirnos emplear sus experiencias en el enriquecimiento de esta investigación.

Diana Carolina Valbuena Delgado, estudiante de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, por su colaboración en la corrección ortográfica y gramatical de documentos relacionados con este proyecto.

Los estudiantes de Sistemas Dinámicos II del segundo semestre del 2004, por contribuir con sus trabajos de clase al avance de este proyecto.

Ximena Marcela Navas, Ingeniera de Sistemas, por su apoyo en los aspectos logísticos involucrados en este trabajo.

Mario Cuellar y Emiliano Lince, Ingenieros de Sistemas, por el desarrollo de la herramienta de apoyo al modelado y el soporte prestado.

Guillermo Luque y Vladimir Pradilla, Ingenieros de Sistemas, por dar el primer paso en esta línea de investigación.

Oscar Eduardo Rey, Ingeniero de Sistemas; César Eduardo Gonzáles y Gesman David Machado, estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la UIS, por mostrar su interés en la continuidad de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	23
CONCEPTO INICIAL	26
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
2. OBJETIVOS	32
2.1 OBJETIVO GENERAL	32
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
3. JUSTIFICACIÓN	33
3.1 IMPACTO	34
3.2 VIABILIDAD	36
4. METODOLOGÍA	38
PROTOTIPO INICIAL (CAPÍTULO 1)	40
5. INTRODUCCIÓN	41
6. MODELADO CON DINÁMICA DE SISTEMAS DE LA MANERA TRADICIONAL	43
6.1 El Cliente:	43
6.2 El Modelado Como Soporte para la Solución de Problemas:	45
6.3 Etapas para Elaborar un Modelo de Dinámica de Sistemas:	45
6.3.1 Descripción del Sistema, Selección de Elementos y Relaciones Fundamentales:	47
6.3.2 Conceptualización del Sistema: Diagrama de Influencias	48
6.3.3 Definición Precisa de Cada Magnitud: Código de Variables	48
6.3.4 Diagrama de Flujo-Nivel	48
6.3.5 Sistema de Ecuaciones	49
6.3.6 Calibrado	51
6.3.7 Análisis de Sensibilidad	52
6.3.8 Evaluación del Modelo: Contrastado	53
6.3.9 Utilización de Modelos de DS	53
7. CREACIÓN DE UN SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO (FIS)	55
7.1 DEFINICIÓN DEL FIS	55
7.1.1 Formulación de Reglas y Método de Inferencia Difusa	55
7.1.2 Definición de Entradas y Salidas	56
7.1.3 Definición de Funciones de Membresía	56
7.2 CREACIÓN A PARTIR DEL EDITOR GRÁFICO (GUI)	58
7.2.1 Editor de FIS	59
8. MODELO DINÁMICO DE PRODUCCIÓN Y DEMANDA	64
8.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO.	64
8.1.1 Demanda	64
8.1.2 Oferta	65
8.1.3 La interacción entre la oferta y la demanda.	65
8.2 EL MODELO	66
8.3 CRÍTICAS	68
8.3.1 Descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales	68
8.3.2 Diagrama causal	69
8.3.3 Definición precisa de cada magnitud: código de variables	69
8.3.4 Diagrama de Forrester o diagrama MDS	69

8.3.5 Sistema de ecuaciones.....	69
8.3.6 Calibrado.....	70
8.3.7 Análisis de sensibilidad.....	70
8.3.8 Evaluación del modelo.....	70
8.3.9 Utilización del modelo.....	70
8.4 MODIFICACIONES AL MODELO	70
8.4.1 Descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales.....	71
8.4.2 Diagrama Causal	72
8.4.3 Definición de magnitudes:	73
8.4.4 Diagrama de flujo-Nivel	75
8.4.5 Sistema de Ecuaciones	75
8.4.6 Calibrado.....	77
8.4.7 Análisis de Sensibilidad	81
8.4.8 Utilización del Modelo.....	87
9. CONCLUSIONES	100
10. BIBLIOGRAFÍA	106
PRIMERA ITERACIÓN (CAPÍTULO 2)	107
11. INTRODUCCIÓN	108
12. INTEGRACIÓN ENTRE LA DINÁMICA DE SISTEMAS Y OTRAS MATEMÁTICAS PARA LA REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO	110
12.1 POSIBILIDADES DE ACERCAMIENTO	110
12.2 EL MODELO APOYADO	111
12.3 MODELO INTEGRADO.....	113
13. LA CIENCIA SOCIAL.....	115
13.1 LA FÍSICA SOCIAL.....	115
13.2 La sociedad biológica	116
13.3 El modelo procesal	117
13.4 La perspectiva del pensamiento sistémico.	118
13.5 El carácter impredecible de la conducta humana	121
14. LA PIRATERIA MUSICAL	124
14.1 LA PERSPECTIVA DE LA INDUSTRIA DISCOGRÁFICA	124
14.2 PERSPECTIVAS DESDE OTROS SECTORES.....	127
14.3 CONSIDERACIONES ACERCA DEL CASO COLOMBIANO	128
15. MODELO DE LA PIRATERÍA MUSICAL EN COLOMBIA.....	130
15.1 Descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales	130
15.1.1 El Desempleo.....	131
15.1.2 Los Precios	132
15.1.3 La Publicidad	132
15.1.4 La Aceptación de la piratería	133
15.1.5 Los Compradores	133
15.1.6 Metodología	133
15.1.7 Integración	133
15.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA: Diagrama de influencias	135
15.2.1 Integración	136
15.3 DEFINICIÓN PRECISA DE CADA MAGNITUD: Código de variableS	139
15.3.1 Integración	140
15.4 Diagrama Flujo-Nivel	141

15.4.1 Integración	142
15.5 Definición de Ecuaciones	142
15.5.1 Niveles	142
15.5.2 Flujos	142
15.5.3 Auxiliares	143
15.5.4 Retardos	143
15.5.5 Tablas	143
15.5.6 Integración	144
15.6 Calibrado	147
15.6.1 Parámetros	147
15.6.2 Exógenas	148
15.6.3 Tablas	149
15.6.4 Integración	152
15.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	158
15.7.1 Variación de la Cantidad de Empleados en la Industria Musical	160
15.7.2 Variación en el Valor Anterior de los Compradores de Piratería	163
15.7.3 Variación de la cantidad de Vendedores de Piratería	164
15.7.4 Integración	166
15.8 EVALUACIÓN	167
15.8.1 Integración	167
15.9 Utilización	167
16. CONCLUSIONES	174
17. BIBLIOGRAFÍA	183
SEGUNDA ITERACIÓN (CAPÍTULO 3)	184
18. INTRODUCCIÓN	185
19. INSERCIÓN DE UN SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO (FIS)	187
19.1 Instalando Unfuzzy	188
19.2 El entorno de desarrollo	188
19.2.1 El menú Archivo	189
19.2.2 El menú Entradas	191
19.2.3 El menú Salidas	192
19.2.4 El menú Inferencia	194
19.2.5 El menú Analizador	195
19.2.6 El menú Ventana	196
19.2.7 El menú Ayuda	196
19.3 PROCEDIMIENTO DE INSERCIÓN	197
19.4 DEBILIDADES DE UNFUZZY	198
19.4.1 Limitaciones	199
19.4.2 Errores	200
19.5 Comparación con Matlab	201
20. LA CIENCIA AMBIENTAL Y LA DINÁMICA DE SISTEMAS	202
20.1 OPORTUNIDAD PARA LA INCLUSIÓN DE LA INTEGRACIÓN	203
21. EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CULTIVOS ILÍCITOS DE COCA	205
21.1 Erythroxylum Novogranatense (la planta de coca)	206
21.2 El proceso del cultivo ilícito	206
21.2.1 Elección de las áreas	207
21.2.2 Preparación de los terrenos	207
21.2.3 Implementación de los cultivos	209
21.3 El rendimiento de los cultivos de coca:	211

21.4 El proceso de producción de la cocaína	212
21.4.1 De la hoja a la pasta	212
21.4.2 De la pasta de coca a la base de coca	213
21.4.3 De la base de coca a la cocaína HCL	213
21.5 La erradicación de cultivos	213
22. MODELO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CULTIVOS ILÍCITOS DE COCA EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA	215
22.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA, IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y RELACIONES FUNDAMENTALES.....	215
22.1.1 Contaminantes en el proceso de cultivo	217
22.1.2 Contaminantes en el proceso de producción.....	217
22.1.3 La presión del estado	218
22.1.4 La posibilidad de ganancias	218
22.1.5 La metodología	218
22.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA: DIAGRAMA DE INFLUENCIAS	219
22.3 DEFINICION PRECISA DE CADA MAGNITUD: CÓDIGO DE VARIABLES	219
22.4 DIAGRAMA FLUJO NIVEL.....	222
22.5 DEFINICIÓN DE ECUACIONES	225
22.5.1 Niveles	225
22.5.2 Flujos.....	226
22.5.3 Variables Auxiliares	227
22.5.4 FIS.....	227
22.5.5 Tablas	229
22.6 CALIBRADO	229
22.6.1 Sistemas de Inferencia Difusa (FIS).....	229
22.6.2 Parámetros.....	232
22.6.3 Exógenas	235
22.6.4 Tablas	235
22.7 Análisis de Sensibilidad	236
22.7.1 Variación del Área Cultivada Inicial	238
22.8 Evaluación.....	240
22.9 Utilización	241
23. CONCLUSIONES	242
23.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS	245
23.1.1 Requisitos para el Usuario.....	245
23.1.2 Requisitos para el Sistema	246
24. BIBLIOGRAFÍA	248
TERCERA ITERACIÓN (CAPÍTULO 4)	250
25. INTRODUCCIÓN	251
26. INFLUENCIA DE LA NUTRICIÓN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE UN NIÑO.....	252
26.1 CARACTERISTICAS DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO FISICO	253
26.1.1 Papel de las hormonas en el crecimiento y desarrollo	254
26.1.2 Velocidad de crecimiento.....	254
26.1.3 Evaluación de la carga genética.....	254
26.1.4 Evaluación del crecimiento y desarrollo	255
26.1.5 Talla Baja	257
26.2 LA NUTRICIÓN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO	257
26.2.1 Requerimientos de Energía.....	257

26.2.2 Requerimientos de Proteínas	259
26.2.3 Lípidos y Carbohidratos	260
26.2.4 Manejo Preventivo de la Malnutrición	260
26.2.5 Obesidad Infantil	261
27. MODELO DE LA INFLUENCIA DE LA NUTRICIÓN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE UN NIÑO	263
27.1 Descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales	263
27.1.1 Reserva Calórica	264
27.1.2 Gasto Energético	264
27.1.3 Ingesta de Alimentos	265
27.1.4 Requerimientos Proteínicos	265
27.1.5 Masa Magra	265
27.1.6 Crecimiento	265
27.1.7 Peso	266
27.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA: DIAGRAMA DE INFLUENCIAS	266
27.3 DEFINICIÓN PRECISA DE CADA MAGNITUD: CÓDIGO DE VARIABLES	267
27.4 DIAGRAMA FLUJO NIVEL	267
27.5 DEFINICIÓN DE ECUACIONES	268
27.5.1 Niveles	269
27.5.2 Flujos	269
27.5.3 Variables auxiliares	269
27.5.4 FIS	269
27.5.5 Retardos	271
27.5.6 Tablas	271
27.6 CALIBRADO	271
27.6.1 Parámetros	272
27.6.2 Exógenas	272
27.6.3 Tablas	276
27.6.4 Fis	277
27.7 Análisis de Sensibilidad	279
27.7.1 Variación de la Reserva Calórica inicial	279
27.7.2 Variación de la Masa Magra Inicial	281
27.8 EVALUACIÓN	283
27.9 UTILIZACIÓN	286
28. CONCLUSIONES	288
29. BIBLIOGRAFIA	290
COMPLETAR Y ENTREGAR	291
30. CONCLUSIONES GENERALES	292
30.1 Requisitos para el Usuario	297
30.2 Requisitos para el Sistema	298
31. RECOMENDACIONES	300
32. BIBLIOGRAFÍA	302

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Descripción del Problema	30
Figura 2. Prototipado Evolutivo.....	38
Figura 3. Flujo en las fases de modelado	47
Figura 4. Función de Membresía Triangular	57
Figura 5. Función de Membresía Trapezoidal.....	57
Figura 6. Función de Membresía Gaussiana	58
Figura 7. Herramientas GUI para construcción de FIS	59
Figura 8. Editor de Funciones de Membresía	61
Figura 9. Funciones de Membresía de la Entrada Servicio	62
Figura 10. Reglas de inferencia para “fispropinas”	63
Figura 11. Equilibrio entre oferta y demanda	66
Figura 12. Modelo para el proyecto anterior construido en Evolución	67
Figura 13. Diagrama causal del modelo modificado de oferta y demanda	73
Figura 14. Diagrama de Flujo-Nivel del modelo modificado de oferta y demanda	75
Figura 15. Tasa Representativa del Mercado (TRM).....	79
Figura 16. Efecto del porcentaje de participación sobre el precio de venta	80
Figura 17. Efecto de la diferencia de precios con la competencia sobre el porcentaje de participación del importador.....	80
Figura 18. Comportamiento del Inventario con Variación del Inventario (2000)	82
Figura 19. Comportamiento del Inventario con Variación del Inventario (4000)	82
Figura 20. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Inventario (2000)	83
Figura 21. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Inventario (4000)	83
Figura 22. Comportamiento del Precio de Venta con variaciones en Precio Compra (8 y 12)	84
Figura 23. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Precio Compra (8)	85
Figura 24. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Precio Compra (12)	85
Figura 25. Comportamiento del Inventario con Variación de la Cantidad A Pedir (2000) ..	86
Figura 26. Comportamiento del Inventario con variación de la Cantidad A Pedir (2800) ..	86
Figura 27. Funciones de membresía para la entrada Participación del FIS Efecto_Precio	89
Figura 28. Funciones de membresía para la salida Efecto precio del FIS Efecto_Precio ..	90
Figura 29. Funciones de membresía para la salida Participación del FIS Efecto_Participación	91
Figura 30. FIS Efecto precio	92
Figura 31. FIS Efecto participación	93
Figura 32. Comportamiento Normal del Inventario sin FIS	95
Figura 33. Comportamiento normal del modelo incluyendo FIS.....	95
Figura 34. Comportamiento normal de los precios sin FIS	96
Figura 35. Comportamiento normal de los precios incluyendo FIS	96
Figura 36. Comportamiento normal de las solicitudes sin FIS	97
Figura 37. Comportamiento normal de las solicitudes incluyendo FIS.....	97
Figura 38. Diagrama de Influencias.....	135

Figura 39. Diagrama de Influencias Integrado (sin signos)	137
Figura 40. Diagrama de influencias con signos duales	138
Figura 41. Diagrama de Flujo-Nivel.....	141
Figura 42. Propuestas para la simbología de FIS en diagramas de Flujo-Nivel	142
Figura 43. Cantidad de desempleados en Colombia.....	148
Figura 44. Efecto de la cantidad de vendedores de piratería sobre los precios	149
Figura 45. Publicidad generada por la industria musical	150
Figura 46. Tasa adquisitiva.....	151
Figura 47. Tasa de despidos según la aceptación de la piratería	151
Figura 48. Funciones de membresía para la entrada Precio.....	153
Figura 49. Funciones de membresía para la entrada Publicidad	153
Figura 50. Funciones de membresía para la salida Aceptación.....	153
Figura 51. Funciones de membresía para la entrada Aceptación	154
Figura 52. Funciones de membresía para la salida Atractivo de la Actividad	154
Figura 53. Funciones de membresía para la entrada Precio.....	155
Figura 54. Funciones de membresía para la salida CambioActividad	155
Figura 55. Funciones de membresía para la entrada EmplIndMusical	156
Figura 56. Funciones de membresía para la salida Publicidad	156
Figura 57. Cuadro de diálogo para agregar funciones en Evolución 3.5	157
Figura 58. Comportamientos sobre variaciones de la presión del gobierno	160
Figura 59. Comportamiento de la Aceptación de la Piratería con variación en los Empleados de la Industria Musical (20000, 15000 y 25000).....	161
Figura 60. Comportamiento de la cantidad de Compradores por cada Vendedor con variación en los Empleados de la Industria Musical (20000, 15000 y 25000)	162
Figura 61. Comportamiento del Desempleo Acumulado con variación en los Empleados de la Industria Musical (20000, 15000 y 25000)	163
Figura 62. Comportamiento de la cantidad de Compradores por cada Vendedor con variación en el Valor Anterior de los Compradores de Piratería (58000, 48000 y 68000)	164
Figura 63. Comportamiento de la cantidad de Compradores por cada Vendedor con variación en la cantidad de Vendedores de Piratería (4000, 2800, 5200)	165
Figura 64. Comportamiento del Desempleo Acumulado con variación en la cantidad de Vendedores de Piratería (4000, 2800, 5200).....	166
Figura 65. Diagrama Flujo-Nivel obtenido de la integración mediante un modelo apoyado	169
Figura 66. Comparación entre Cambio de Actividad con .dll y con tabla usando interpolación lineal	171
Figura 67. Comparación entre Cambio de Actividad con .dll y con tabla usando interpolación Spline.....	171
Figura 68. Comparación de trayectorias para los Compradores por Vendedor	172
Figura 69. Comparación de trayectorias para Desempleo Acumulado	173
Figura 70. Representación para FIS seleccionada	182
Figura 71. Icono de Unfuzzy	188
Figura 72. Ventana del entorno de desarrollo de UNfuzzy	189
Figura 73. El menú archivo	189
Figura 74. Opción Abrir del menú archivo	190
Figura 75. El menú Entradas	191
Figura 76. Ventana para la definición de variables de entrada	192
Figura 77. El menú Salidas.....	193

Figura 78. Cuadro de diálogo para definir variables individuales	193
Figura 79. El menú Inferencia.....	194
Figura 80. Cuadro de diálogo para definir y editar reglas.....	194
Figura 81. El menú Analizador	195
Figura 82. El menú Ventana	196
Figura 83. El menú Ayuda	197
Figura 84. Diagrama de influencias para los cultivos de Coca en la Sierra Nevada	219
Figura 85. Sector de Dinámica de Cultivos	223
Figura 86. Sector de Uso de Químicos en el Cultivo	224
Figura 87. Sector de Uso de Químicos en la Producción de Clorhidrato de Cocaína	225
Figura 88. Funciones de membresía para la entrada Oferta	230
Figura 89. Funciones de membresía para la entrada Demanda	230
Figura 90. Funciones de membresía para la salida Factor_Ganancia	230
Figura 91. Funciones de membresía para la entrada Factor_Ganancia	231
Figura 92. Funciones de membresía para la entrada Presion_Estado	231
Figura 93. Funciones de membresía para la salida Prop_Cultivar	232
Figura 94. Presión del Estado Sobre los Cultivos Ilícitos	235
Figura 95. Comportamientos del Área Cultivada sobre variaciones en la Demanda.....	237
Figura 96. Comportamiento de la Proporción a Cultivar sobre variaciones en la Demanda	238
Figura 97. Comportamiento del Área Cultivada de Coca sobre variaciones en la cantidad de Área Cultivada con Coca inicialmente.....	238
Figura 98. Comportamiento de la acumulación de Herbicidas sobre variaciones en la cantidad de Área Cultivada con Coca inicialmente.....	239
Figura 99. Comportamiento de la Proporción a Cultivar sobre variaciones en la cantidad de Área Cultivada con Coca inicialmente.....	240
Figura 100. Tablas de crecimiento y desarrollo para niños entre los 2 y los 20 años (Fuente: NCHS)	256
Figura 101. Diagrama de Influencias para el crecimiento y desarrollo de un niño	266
Figura 102. Diagrama de Flujo-Nivel para el Crecimiento y Desarrollo de un Niño.....	268
Figura 103. Consumo de carbohidratos recomendado.....	273
Figura 104. Crecimiento esperado debido a factores genéticos	273
Figura 105. Consumo de proteínas recomendado.....	275
Figura 106. Ingesta proteínica recomendada por Kilogramo de masa corporal	275
Figura 107. Talla (Estatura) esperada según el peso del infante	276
Figura 108. Funciones de membresía para la entrada Tasa de Crecimiento por Proteínas	277
Figura 109. Funciones de membresía para la entrada Tasa de Crecimiento por Energía	278
Figura 110. Funciones de membresía para la salida Tasa de Crecimiento	278
Figura 111. Comportamiento del Gasto Total frente a variaciones en la Reserva Calórica inicial.....	280
Figura 112. Comportamiento del Peso frente a variaciones en la Reserva Calórica inicial	280
Figura 113. Comportamiento de la Tasa de Crecimiento frente a variaciones en la Reserva Calórica inicial	281
Figura 114. Comportamiento del Gasto Total frente a variaciones en la Masa Magra inicial	282
Figura 115. Comportamiento del Peso frente a variaciones en la Masa Magra inicial	282

Figura 116. Comportamiento de la Tasa de Crecimiento frente a variaciones en la Masa
Magra inicial 283

Figura 117. Comparación de trayectorias entre el peso teórico y el obtenido de la
simulación 286

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Código de variables del modelo modificado de oferta y demanda.....	74
Tabla 2. Tabla de valores para el FIS Efecto Precio.....	93
Tabla 3. Valores para el FIS Efecto Participación.....	94
Tabla 4. Comparación entre los valores obtenidos ántes y después de incluir los FIS	98
Tabla 5. Código de Variables	140
Tabla 6. Matriz de decisión para el FIS Aceptación Piratería	145
Tabla 7. Estimación de Bosque destruido por la acción de los cultivos ilícitos de coca ..	208
Tabla 8. Algunos de los herbicidas, insecticidas y funguicidas más usados en los cultivos ilícitos.....	210
Tabla 9. Cantidades de Plaguicidas usados en los cultivos de coca.	211
Tabla 10. Variables para el modelo de cultivos ilícitos de Coca en la Sierra Nevada	222
Tabla 11. Nivel de Actividad Física y factores correspondientes para cada categoría....	258
Tabla 12. Recomendaciones de Ingesta calórica por grupos de edad (FAO/OMS/UNU- 1985)	259
Tabla 13. Nivel seguro de ingesta de proteínas (NRC, RDA. 1989)	260
Tabla 14. Variables para el modelo del crecimiento y desarrollo de un niño	267
Tabla 15, Matriz de Evaluación para el FIS de Tasa de Crecimiento	271
Tabla 16. Comparación entre los resultados obtenidos del modelo y los teóricos	285

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. EJEMPLO DE CÓDIGO C DE UN DLL PARA EVALUAR UN FIS.....	306
ANEXO B. EJEMPLO DE CÓDIGO DELPHI PARA ENLAZAR UN DLL CREADO EXTERNAMENTE A EVOLUCIÓN.....	321

GLOSARIO

CATEGORIZACIÓN: Puede entenderse como un proceso lógico que tiende a ordenar la realidad basándose en criterios cualitativos, o como el proceso de establecer sistemas de categorías.

COMPILADOR: Aplicación informática que se usa para crear programas en un cierto lenguaje de programación. Convierte los programas creados en el lenguaje de programación a lenguaje interno de computador (código máquina). Todo el programa original (fuente) se convierte a código máquina en bloque, y el programa resultante (programa ejecutable) se puede usar en otro equipo sin necesidad de recurrir otra vez a la compilación.

CONCRESOR: Función o procedimiento usualmente encapsulado en un elemento dentro del sistema de inferencia difusa, que toma los resultados obtenidos de la evaluación del conjunto de reglas y mediante un algoritmo los convierte en un único valor numérico de salida.

CONJUNTO DE REGLAS: Agrupación de reglas que operan sobre variables lingüísticas, constituidas por antecedentes, operaciones lógicas sobre dichos antecedentes y consecuentes resultado de estas operaciones, en el que las reglas contenidas definen la construcción de un sistema de inferencia difusa.

DIFUSOR: Función o procedimiento que permite la transformación de un valor numérico en uno de tipo lingüístico a partir de la evaluación de un conjunto de funciones de membresía correspondientes a una variable cualitativa.

FUNCIONES DE MEMBRESÍA: Curva que define la manera en la que se cuantifica un nivel o valor de membresía o pertenencia a un conjunto difuso para cada uno de los puntos de un espacio de entrada. El grado de pertenencia se especifica usualmente entre 0 y 1.

LIBRERÍA DE ENLACE DINAMICO (DLL): Conjunto de funciones que son cargadas en la memoria física del computador en el momento que alguna aplicación lo solicita, se enlaza con dicho software en tiempo de ejecución y permite la utilización de las funciones que contiene por parte de la aplicación que hace la solicitud.

MODELO DE DINAMICA DE SISTEMAS: Representación de un fenómeno mediante el lenguaje que para tal fin posee la

PERCEPCIÓN: Proceso mediante el cual un ser selecciona, organiza e interpreta la información sensorial, para crear una imagen significativa del entorno.

PROCESO DE MODELADO: Proceso que facilita la creación de un modelo de Dinámica de Sistemas proporcionando pasos detallados que garantizan un nivel alto de organización para la adecuada disposición y entendimiento del mismo.

PROTOTIPADO EVOLUTIVO: Metodología de desarrollo software en la que el concepto del sistema se define a medida que el mismo es desarrollado. Se lleva a cabo una implementación inicial a modo de prototipo que toma las principales características del sistema, y posteriormente se refina y complementa hasta que se consigue un grado satisfactorio de desarrollo. Al finalizar el proceso, el prototipo evolucionado constituye el sistema software deseado.

SIMULACIÓN: Experimentación con un modelo de Dinámica de Sistemas de las hipótesis lógicas contenidas en el mismo mediante la evaluación de los elementos de dicho modelo dentro de un horizonte de tiempo.

SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA (FIS): Sistema que emplea operaciones de conjuntos difusos para transformar valores de entrada en resultados a partir de la evaluación de un conjunto de reglas que operan sobre variables de tipo lingüístico.

SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA NEURO ADAPTATIVO (ANFIS): Sistema de inferencia difusa en el que, mediante técnicas adaptativas desarrolladas a partir de las empleadas en redes neuronales, se consigue el ajuste y adaptación de los parámetros de las funciones de membresía para que la evaluación del FIS sea acorde con un conjunto conocido de valores de entrada y salida.

SISTEMA PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES (DSS): Sistema de información que reúne, organiza y presenta datos de manera que facilita y apoya el proceso de toma de decisiones por parte de un individuo o grupo de personas.

TRAYECTORIA: Representación gráfica de los valores obtenidos del comportamiento de un elemento dentro de un modelo a lo largo del tiempo de simulación.

TITULO:**APLICACIONES DE UN “MODELO CONCEPTUAL GENERALIZADO DE UN SISTEMA PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES”**

Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial*

AUTORES:

RIVERA, César Augusto

SARMIENTO VILLAMIZAR, Freddy**

PALABRAS CLAVES:

Dinámica de Sistemas, Lógica Difusa, integración, Sistemas de Inferencia Difusa, proceso de modelado.

DESCRIPCIÓN:

Este documento presenta el seguimiento y los resultados del proceso investigativo que busca, a partir de una revisión crítica del modelo conceptual integrador entre Dinámica de Sistemas e Inteligencia Artificial, propuesto por el grupo SIMON, profundizar en los aportes del mismo al proceso de modelado mediante la identificación de cambios, y su aplicación a la construcción de modelos de fenómenos y situaciones de diversa naturaleza. Este trabajo de investigación establece relaciones entre la Dinámica de Sistemas y la Lógica Difusa para construir modelos con mayores capacidades de representación del conocimiento en comparación con los existentes gracias al planteamiento de dos perspectivas de integración, el estudio de las implicaciones de cada una en el proceso de modelado y la viabilidad de su aplicación.

Siguiendo la metodología de prototipado evolutivo expandida para abarcar toda la investigación, se crearon cuatro modelos: uno económico-financiero, uno socio-económico, uno ambiental y uno del área de la salud; cuyo propósito era examinar la posibilidad de aplicar los procesos desarrollados en el análisis de diversas situaciones, tanto ya modeladas con Dinámica de Sistemas como sin registro de construcciones previas, e identificar los requerimientos software de un módulo que complemente la herramienta de apoyo al modelado Evolución de manera que de soporte a las dos perspectivas de integración.

* Proyecto de grado en la modalidad de Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática.
ANDRADE SOSA, Hugo Hernando.

TITLE:**APLICATIONS OF A “GENERALIZED CONCEPTUAL MODEL OF A DECISION SUPPORT SYSTEM”**

Integrating approach between System Dynamics and Artificial Intelligence*

AUTHORS:

RIVERA, César Augusto

SARMIENTO VILLAMIZAR, Freddy**

KEY WORDS:

System Dynamics, Fuzzy Logic, integration, Fuzzy inference systems, modeling process.

DESCRIPTION:

This document presents the monitoring and the results of the investigation process that, from a critical revision of the integrating conceptual model between System Dynamics and Artificial Intelligence, proposed by group SIMON, looks to deepen in the contributions of it to the modeling process by the identification of changes, and its application to the construction of models of phenomena and situations of diverse nature. This investigation work establishes relations between the System Dynamics and the Fuzzy Logic to construct models with greater capabilities of knowledge representation in comparison to existing ones due to the formulation of two perspectives of integration, the study of the implications of each one in the modeling process and the viability of its applications.

By following the evolutive prototyping methodology expanded to include all the investigation, four models were created: one economic-financial, one socioeconomic, one environmental and one about human health; Its purpose was to examine the possibility of applying the developed process for the analysis of diverse situations, already modeled with System Dynamics as without registry of previous constructions, and to identify the software requirements for a module that complements the modeling support tool Evolución in order to sustain the two integration perspectives.

* Graduation project in the category of investigation

** Physical – Mechanical Engineering's Department, Systems and Informatics Engineering School, ANDRADE SOSA, Hugo Hernando.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo continua el enfoque investigativo propuesto por el proyecto de grado titulado “Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones”¹ y surge de la necesidad de dar respuesta a una serie de interrogantes generados en dicho proyecto, el cual buscando definir un nuevo modelo para soportar la toma de decisiones en situaciones complejas, aplicó de manera conjunta elementos de la Inteligencia Artificial, como lo son los sistemas de inferencia difusa, con modelos de Dinámica de Sistemas expandiendo el campo de investigación en este sentido. Debido al alcance trazado para su trabajo de investigación, dicha tesis no pudo más que esbozar lineamientos metodológicos propuestos con base en una única experiencia de modelado satisfactoria.

Al reunir todas las dudas generadas por el proyecto anterior, junto con las limitaciones de alcance del mismo, se pudo definir una necesidad de investigación dirigida hacia los cuestionamientos de viabilidad y aplicabilidad de los lineamientos metodológicos planteados en dicho proyecto haciéndose necesario un análisis crítico de los mismos, así como la definición de un nuevo proceso de modelado y una identificación de cambios al empleado actualmente, así como una determinación de las necesidades que la construcción de una futura herramienta que soporte la integración debería satisfacer. Para responder a la necesidad de investigación y a las preguntas que de ella se derivan, se definieron una serie de objetivos específicos, y un objetivo general que los contiene, que buscan ayudar a identificar la mejor manera posible de responder a tales preguntas.

En el desarrollo del trabajo orientado a responder a los objetivos planteados para esta investigación se propone el esquema presentado más adelante en este documento en la parte de metodología. En dicha estructura se lleva a cabo una serie de iteraciones a partir de definiciones iniciales con lo que se busca, en cada una de estos ciclos, responder parcialmente al conjunto de interrogantes planteados inicialmente y, a medida que se logra un mayor refinamiento y evolución de las soluciones obtenidas, acercarse a un punto satisfactorio de correspondencia con la propuesta de investigación.

Este documento busca plasmar el trabajo realizado a lo largo de toda la investigación en un medio accesible y susceptible de revisión por la comunidad académica, es por ello que, como se puede observar tras una breve inspección de la tabla de contenidos, la estructura del libro no corresponde con la construcción clásica de este tipo de documentación, y en lugar de optar por una estructura secuencial, se prefirió plasmar de una forma más directa el proceso de desarrollo de la labor investigativa y en consecuencia elaborar capítulos que reflejan las diversas iteraciones ocasionadas por la metodología propuesta para buscar una solución satisfactoria a los objetivos trazados, esto de manera semejante a la serie de documentos “Road Maps”², tan popularmente empleados en enseñanza de los conceptos básicos y aplicación de la Dinámica de Sistemas.

1 Proyecto de grado: Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones, Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Guillermo Luque y Vladimir Pradilla, 2003.

2 Forrester, Jay. Road Maps. Curso de Autoaprendizaje de Dinámica de Sistemas. Massachusetts Institute of Technology (MIT). 1998.

A causa de la metodología propuesta, en cada uno de los capítulos se examinan todos los objetivos para darles una respuesta satisfactoria, sin embargo, durante el desarrollo de cada uno se da un énfasis especial a uno o dos de los objetivos específicos. Es así como el primer capítulo se aprovecha para presentar un marco teórico básico que ubique a los lectores en el mismo universo de discurso, definiendo de manera precisa el proceso de modelado que se utiliza en la construcción de los modelos del proyecto; además se incluyó una breve y clara explicación acerca de la forma como en el proyecto anterior se empleó el software existente para insertar elementos de Lógica Difusa en modelos de Dinámica de Sistemas, todo esto con el fin de realizar un análisis crítico sobre el modelo y lineamientos metodológicos presentados en el trabajo de investigación antecesor al actual, y buscar un nuevo proceso de modelado acorde con este tipo de construcción sin dejar de lado los demás objetivos perseguidos.

Para la primera iteración representada por el segundo capítulo, se presentó una propuesta surgida de las limitaciones encontradas tanto en la capacidad de representación de la perspectiva integradora inicial como en el software empleado para la misma, la existencia de un segundo nivel de conjunción más elevado que el analizado hasta el momento y que involucra la inserción de los sistemas de inferencia difusa como elementos funcionales dentro del modelo y no como no-linealidades creadas de manera externa que era la forma de incluirlos hasta el momento. Para examinar esta nueva propuesta se empleó la construcción de un modelo de tipo socio-económico que difería notablemente del anterior manteniendo en mente los objetivos, pues uno de ellos implica la identificación de los tipos de modelos susceptibles de ser tratados por medio de la conjunción, o la identificación de límites para la misma. En esta misma línea se realizó un pequeño recuento de la importancia que los modelos han tenido en el estudio de la Ciencia Social, particularmente en los últimos años, gracias a la Dinámica de Sistemas y las ventajas que puede generar la inclusión de elementos de Lógica Difusa en los mismos.

Después de llevar a cabo la primera iteración e identificar diversas modificaciones al proceso de modelado como consecuencia de la aplicación de la perspectiva de integración fuerte, se hizo necesario examinar más detalladamente las implicaciones de esta forma de abordar la conjunción haciendo uso del proceso de modelado modificado en la construcción de un tercer modelo, esta vez, de tipo ambiental, una vez más tratando de diversificar, en la medida de lo posible, el espectro de fenómenos modelados buscando limitaciones en la tipología de los fenómenos abordados. Para este capítulo se hizo necesario además, explicar de manera didáctica el funcionamiento de una nueva herramienta que se empleó para lograr la inserción de los sistemas de inferencia difusa evaluados en tiempo de ejecución dentro de la herramienta de apoyo al modelado Evolución. El énfasis de esta etapa se presentó sobre el software, especialmente sobre los requisitos que un futuro módulo de soporte a la integración en Evolución deba contemplar ya que en este punto se han manipulado varias herramientas para la construcción de FIS y se pueden identificar las características más deseables de las mismas.

Al finalizar la depuración obtenida durante el desarrollo del tercer capítulo, se identificó una posible característica común a los fenómenos tratables mediante las perspectivas de integración, la cual se presenta como una limitante al tipo de situaciones a estudiar, no por la tipología, sino por los actores involucrados en el fenómeno; se aprovechó este último capítulo para confirmar o refutar esta hipótesis por medio de la creación de un

modelo de un fenómeno que se consideró adecuado para tales fines y revisar una vez más el cumplimiento de todos los objetivos trazados al comienzo de la investigación.

Aun desde tempranas etapas del desarrollo de este trabajo, los resultados se presentaban bastante satisfactorios, al punto que se han realizado dos ponencias: una a nivel nacional en el “Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas” realizado a finales del mes de Agosto de 2004 en la ciudad de Santa Marta, y otra en el ámbito internacional en el “Encuentro Latinoamericano de Dinámica de Sistemas” en Noviembre de ese mismo año en Chile. Adicionalmente se realizaron actividades de divulgación y aplicación de los avances parciales alcanzados en este trabajo de investigación en el marco de la asignatura “Sistemas Dinámicos II” desarrollada con los estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander. Tal es el interés del grupo SIMON en esta línea de investigación que ya se han asignado otros proyectos, uno de pre-grado a cargo de César Eduardo Gonzáles Perez y Gesman David Machado Mendoza, titulado “Sistema de inferencia difusa para Evolucion 3.5”; y otro de post-grado a cargo del Ingeniero Oscar Eduardo Rey, titulado “Modelando Dinámica de Sistemas y Otras Herramientas Matemáticas de Modelado y Simulación”, encaminados a continuar con la misma

Uno de estos proyectos consiste en la creación de un módulo software para la herramienta de apoyo al modelado Evolución que permita la integración de modelos de Dinámica de Sistemas con elementos de Lógica Difusa y la interacción de los mismos en tiempo de ejecución, para de esta manera dar soporte a la propuesta de integración fuerte realizada en este documento. Los encargados de dicho desarrollo utilizan la especificación de requisitos del sistema planteada y la experiencia adquirida durante este trabajo. De manera simultánea se adelanta una investigación que busca examinar la posibilidad y las aplicaciones de incluir otros útiles matemáticos diferentes a la Lógica Difusa en la construcción de modelos de Dinámica de Sistemas, buscando expandir su campo de acción. Este trabajo se plantea como una tesis para optar al título de Magíster en Informática ante la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la UIS.

CONCEPTO INICIAL

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La toma de decisiones es un problema complejo que ha sido abordado desde diversas perspectivas a lo largo de los años. La estadística, la economía, la investigación de operaciones, la ciencia de la información, la psicología cognitiva y la inteligencia artificial han tratado de suplir las deficiencias de juicio y la subjetividad de las elecciones humanas.

La toma de una decisión implica responsabilidad con los individuos y en muchas oportunidades con los grupos y organizaciones, por lo tanto se desea que la misma sea la mejor posible (la óptima) dentro de las limitaciones que presenta el medio.

Cuando se presenta una situación que ofrece alternativas de ejecución mutuamente excluyentes, es necesario determinar cuál curso de acción ofrece mejores resultados según criterios derivados del modelo mental que tenga el tomador de decisiones y los requerimientos presentados por el medio en el cual se encuentra ubicada la situación. Para decidir, el ser humano dispone de su raciocinio el cual se alimenta de los datos que puedan recolectarse acerca del “escenario de decisión”, dichos datos pasan por un conjunto de filtros cognitivos constituidos a partir de los paradigmas presentes en el sujeto decisor, que generan múltiples interpretaciones del fenómeno para diferentes individuos. Una vez el tomador de decisiones ha adquirido un cierto nivel de información busca hacer un seguimiento a su modelo mental bajo los posibles cursos de acción que no siempre resultan fáciles de identificar ni de poner en marcha, esta etapa hace uso intensivo de la información recopilada, la cual pocas veces se presenta en forma claramente definida, ésta puede tener diferentes grados de incertidumbre que obliga a recurrir a suposiciones, datos probabilísticos y variables cualitativas para emplearla. En este punto del proceso se encuentra otra limitante que dificulta la toma de una decisión adecuada, la cantidad de relaciones que se afectan de manera directa e indirecta es muy superior a la capacidad natural del ser humano encargado de tomar la decisión. Una vez estudiados los cursos de acción y sus consecuencias probables con el fin de determinar la acción a implementar, ésta es adoptada con cierto grado de incertidumbre, empeorando, manteniendo o mejorando la situación actual en la que se encuentra el individuo, grupo y/u organización. Esta serie de etapas y factores que intervienen en la toma de una decisión hacen de éste un proceso complejo.

Gracias al proyecto “Modelo conceptual generalizado de un sistema para soportar la toma de decisiones” se encontró una forma de integrar los esfuerzos de la Dinámica de sistemas y de la Inteligencia Artificial para facilitar la creación de un Sistema de Soporte a la toma de Decisiones que mejora la representación de los modelos mentales mediante su acercamiento a una implementación más acorde con el **lenguaje natural** como respuesta para el tratamiento de la complejidad involucrada en el proceso de decisión.

Debido a los altos niveles de incertidumbre a los que se está expuesto en el proceso de la toma de decisiones se requiere manipular e inferir variables cualitativas difíciles de utilizar en los sistemas actuales, la posibilidad de trabajar sobre ellas la proporciona la Lógica Difusa (FL por sus siglas en inglés), primer área de la Inteligencia artificial que

se adopta en el proyecto mencionado. Fundada por Lotfi Zadeh, la lógica difusa original ha permanecido por más de 38 años, su definición es increíblemente sencilla, cuando A es un conjunto difuso y x es un objeto relevante, la proposición “x es un miembro de A” no es necesariamente cierta o falsa, como lo requiere la lógica bivaluada, sino que pueden existir grados variables de pertenencia a los mismos, siguiendo patrones de razonamiento similares a los del pensamiento humano.

La Inteligencia Artificial realiza un segundo valioso aporte al proceso de toma de decisiones por medio de las redes neuronales, “un conjunto de redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico”³. Éstas permiten estimar comportamientos de elementos y relaciones de difícil representación o poca estructuración.

En cuanto a la Dinámica de Sistemas, ésta ofrece su lenguaje para el modelado de fenómenos y estudio del comportamiento de los mismos en el tiempo, aportando de esta forma la proyección a mediano y largo plazo de los posibles resultados a obtener con las acciones elegidas. “La dinámica de sistemas usa conceptos del campo del control realimentado para organizar información en un modelo de simulación por ordenador. Un ordenador ejecuta los papeles de los individuos en el mundo real. La simulación resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo”⁴.

El desarrollo y presentación de los lineamientos metodológicos correspondientes al proyecto mencionado constituyen un cambio en el proceso de modelado con Dinámica de Sistemas al integrarlo con las Redes Neuronales y la Lógica Difusa, hecho que ofrece diversas posibilidades en la continuación del trabajo realizado hasta el momento.

La metodología esbozada en el proyecto anterior se centra en el cómo hacer para ayudar a un sujeto tomador de decisiones a minimizar o atenuar la influencia de la incertidumbre en la evaluación y toma de decisiones.

Para que sea viable aplicar estos lineamientos metodológicos es necesario que el fenómeno a estudiar pueda ser representado como un sistema. Los elementos de incertidumbre pueden ser tratados en el modelo mediante variables lingüísticas cuyo significado cualitativo depende del sujeto decisor y pueden llevar a decisiones de tipo cualitativo.

Una situación no estructurada puede ser contemplada como una situación semiestructurada con un elemento adicional de incertidumbre o “ruido” no estructurado. La parte semiestructurada se puede trabajar con variables lingüísticas y lógica difusa mientras que su componente adicional puede ser aproximado por medio de sistemas de inferencia neurodifusos. Cuando se presentan situaciones de decisiones no estructuradas, se requiere efectuar una predicción del comportamiento del fenómeno para luego decidir a partir de dicha estimación.

3T. Kohonen, “An Introduction to neural computing”. Neural Networks, Vol 1, 1988, pags 3-16

4 Jay Forrester, Texto inédito, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, diciembre 1998

Una vez que se ha identificado la manera de tratar la incertidumbre mediante variables lingüísticas y redes neurodifusas se procede a identificar los ciclos de realimentación y construir un modelo de dinámica de sistemas que incluya los sistemas de tratamiento de la incertidumbre como elementos del modelo.

"Una vez construido el modelo se procede con la identificación dentro del mismo de aquellas situaciones inconexas o imprecisas y que de manera extensiva y general son o representan las situaciones de decisión sobre el modelo."⁵

En términos generales el sistema de inferencia recibe información del modelo, la fuzzifica, la somete a un proceso de inferencia a partir de las reglas formuladas por el sujeto tomador de decisiones para luego realizar el proceso inverso y devolverlas al modelo, el modelo recibe la información, y realimenta el subsistema de inferencia difuso, auto ajustándose. Por otro lado, si la situación de decisión involucra la necesidad de predicción y suponiendo la tenencia de conocimiento previo sobre la misma, se procede a la adquisición de dicho conocimiento, normalización de los datos, estructuración de un sistema primigenio de inferencia que en un proceso Neuro-adaptativo generará un nuevo sistema de inferencia que caracteriza de manera aproximada la situación y permite contar con un mecanismo o función de predicción, con base a conocimiento previo. Esto es, implícitamente se hace uso de ANFIS para obtener un sistema de inferencia difusa ajustado y de carácter pronosticador. Este FIS genera información para el sistema en el tiempo y complementa o solventa su desconocimiento sobre una realidad exógena pero influyente.

La propuesta ofrece, mediante la inclusión de técnicas de IA en el modelado con Dinámica de Sistemas, nuevas herramientas para la representación de fenómenos y situaciones. Sin embargo muchas de esas situaciones ya han sido modeladas con anterioridad a través de las técnicas de modelado tradicionales; específicamente, el ejemplo de aplicación del proyecto (importación de llantas) puede representarse, de alguna manera, de la forma tradicional y también con los lineamientos del nuevo proyecto. De ahí surge la inquietud sobre cuáles son las posibilidades de aplicación de la propuesta en situaciones y fenómenos modelados anteriormente con Dinámica de Sistemas, es decir, qué situaciones de las modeladas con anterioridad son susceptibles de ser abordadas desde esta nueva perspectiva y de qué manera se afecta el proceso mediante el cual fueron desarrollados el modelo inicial y el modelo modificado, es decir, determinar si es posible la aplicación del nuevo enfoque a situaciones modeladas con anterioridad en términos generales, lo cual implica la necesidad de encontrar un grupo de situaciones o un conjunto de características comunes a los fenómenos tratables con el nuevo enfoque.

Debido a que una nueva perspectiva en el proceso de modelado puede permitir abordar las situaciones a representar con diferentes herramientas a las que ofrece el enfoque tradicional, aparece el interrogante acerca de cuáles o qué tipo de situaciones, que no

5 Proyecto de grado: Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones, Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Guillermo Luque y Vladimir Pradilla, 2003.

Simultáneamente con la determinación de las situaciones en las que se pueden aplicar los lineamientos metodológicos propuestos, debe hacerse una exploración para determinar la posibilidad de conceptualización y definición de una metodología que a partir de dichos lineamientos presente procedimientos o prácticas de modelado que deben tenerse en cuenta para el estudio de situaciones con el enfoque propuesto.

El diagrama ilustra la relación entre el Modelo Conceptual y la Dinámica de Sistemas Clásica. El Modelo Conceptual está influenciado por Cambios, Implementación, Metodología y Aplicabilidad. La Dinámica de Sistemas Clásica también está influenciada por estos factores. Ambos modelos están conectados por flechas gruesas que representan la interacción entre ellos.

Debido a que tanto la nueva metodología como la metodología tradicional abordan directamente el proceso de modelado, buscando orientarlo mediante un conjunto de procedimientos generales, es necesario determinar, en algún grado, la forma y la medida en que la nueva propuesta ofrece mayor cobertura fenomenológica y/o facilidad o simplicidad en dicho proceso (Figura 1).

30

Del mismo modo se presenta la necesidad de efectuar algún tipo de validación y revisión crítica de la propuesta, para una vez efectuada dicha validación proceder a enriquecer este trabajo en vía de satisfacer los interrogantes así como complementarlo.

Ante la problemática descrita se hace necesaria la elaboración de propuestas de investigación que amplíen lo planteado hasta el momento. Las propuestas deben cumplir una serie de parámetros con el propósito de garantizar, en alguna medida, su calidad y trascendencia en el campo investigativo. Se espera que la propuesta presentada de atención a un alto porcentaje de las preguntas de investigación, ofrezca un aporte al proceso de modelado, mantenga un enfoque integrador entre dinámica de sistemas e inteligencia artificial, permita hacer una crítica al proyecto inicial bien sea en el campo teórico o en el terreno práctico con algún grado de detalle y todo ello de una manera concordante con la misión del grupo de investigación SIMON y el enfoque Dinámico sistémico allí adoptado. Cabe aclarar que la propuesta presentada no tiene que cumplir con todos los parámetros, si cumple con la mayoría de ellos y ofrece ampliación de la perspectiva sobre el tema o muestra una nueva perspectiva del mismo se considerará satisfactoria para el grupo de investigación.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

A partir de una revisión crítica del modelo conceptual integrador entre Dinámica de Sistemas e Inteligencia Artificial, propuesto por el grupo SIMON⁶, profundizar en los aportes del mismo al proceso de modelado y su aplicación a la construcción de modelos de fenómenos y situaciones no abordados por limitaciones de la perspectiva clásica estrictamente cuantitativa y/o a los ya abordados de manera cuantitativa pero que poseen aspectos de orden cualitativo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión y análisis crítico del “Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones”, con el fin de enriquecerlo en lo referente a la metodología de modelado.
- Determinar la aplicabilidad de los lineamientos metodológicos propuestos por el “Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones” en algunas situaciones y fenómenos ya modelados con/por la Dinámica de Sistemas, buscando definir el tipo de realidades que pueden ser abordadas con estos nuevos lineamientos.
- Implementar los lineamientos metodológicos enriquecidos, para mostrar su aplicabilidad en la creación de modelos de situaciones y fenómenos no abordados desde una perspectiva clásica.
- Determinar el cambio en el proceso de modelado generado por la nueva perspectiva ofrecida por la integración entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial.
- Proponer requerimientos para que el software de apoyo al modelado y simulación con dinámica de sistemas, Evolución, dé soporte a la representación y estudio del comportamiento de fenómenos desde un enfoque integrador entre dinámica de sistemas e inteligencia artificial.

⁶ Ibid.

3. JUSTIFICACIÓN

Un proyecto desarrollado en un área particular de la ciencia puede involucrar conocimientos en diferentes grados de varias ramas de investigación y por medio de su trabajo puede modificar voluntaria o involuntariamente los elementos que tomó prestados de éstas, un caso similar se presentó durante el trabajo realizado en el proyecto “Modelo conceptual generalizado de un sistema para soportar la toma de decisiones” que aprovechó los desarrollos en el área de modelado que brinda la dinámica de sistemas por medio de su lenguaje estructurado y su proceso semiestructurado para crear modelos de fenómenos y otras herramientas proporcionadas por la inteligencia artificial y los sistemas de información para generar un modelo conceptual de un DSS (Decision Support System) integrando dichas áreas del conocimiento; durante el trabajo en el proyecto se descubrió que al incorporar los elementos de la inteligencia artificial al proceso de modelado éste sufrió modificaciones sustanciales que permitirían un nuevo enfoque a la hora de crear modelos y abordar situaciones y fenómenos, sin embargo, puesto que los objetivos de dicho proyecto no contemplaban la exploración en este sentido, sólo se realizó una mención bastante centrada en la creación del sistema para soportar la toma de decisiones ignorando en gran medida el impacto de sus desarrollos en el modelado de fenómenos en general. Debido a esto se observa la importancia de realizar una revisión general con una visión de crítica constructiva sobre el proyecto presentado, buscando con esto enfocarlo hacia el proceso de modelado que ofrece la dinámica de sistemas y enriquecerlo en su aporte frente a esta área.

Un avance en un campo investigativo no obliga a que toda la historia conocida se deba reescribir desde esta nueva perspectiva, por otra parte, ello no implica que este nuevo concepto, idea, enfoque, metodología o profundización sea adoptado de manera automática por la comunidad científica y la sociedad en general sin realizar algún tipo de prueba de la manera como influye en la construcción y/o visión de lo ya conocido; los lineamientos metodológicos propuestos por el proyecto anterior aunque preliminares representan un aporte importante que cae dentro de la categoría de avances que deben ser sujetos a pruebas, las cuales deben realizarse sobre modelos construidos previamente para determinar su aplicabilidad en dichos escenarios, puesto que los nuevos desarrollos pueden presentar excelentes posibilidades para trabajar sobre fenómenos nunca antes abordados pero mostrarse inútiles o inefectivos para emplearse en el modelado de situaciones trabajadas previamente con resultados satisfactorios.

Una vez revisados y enriquecidos, una vez probada su aplicabilidad en fenómenos y situaciones ya abordadas desde la perspectiva clásica, es apenas natural que se desee ir un paso más adelante en el desarrollo y trabajo con estos lineamientos metodológicos, es hora entonces de examinar las situaciones por las cuales estos fueron discutidos y generados en un principio, aquellas que han eludido su modelamiento por parte de la perspectiva clásica o en las cuales su modelo final presenta inconsistencias debido a la dificultad para captar los aspectos cualitativos de la situación. Para llevar a cabo esta tarea es indispensable empezar realizando una identificación clara de cuáles son las situaciones que serán abordadas, analizadas y estudiadas, para luego crear un patrón para la tipificación de las mismas, de esta manera facilitar el trabajo a la hora de señalar a los futuros creadores de modelos, cuál de los procedimientos es el más adecuado para su

cuestión particular. Por supuesto el propósito no podría verse satisfecho de no hacerse presente un modelo nuevo creado a partir de los lineamientos y basándose en una situación no abordada desde la perspectiva clásica.

Para ser coherentes con la propuesta del pensamiento sistémico y su característica de autorreferencialidad se hace necesario examinar la forma en la cual el proceso de modelado se vio modificado debido a la perspectiva ofrecida por la integración entre la dinámica de sistemas y la inteligencia artificial, la propiedad autorreflexiva de esta forma de pensamiento hace que éste se vuelque sobre sí para dar cuenta de conocimiento del cual procede y que lo ha hecho posible, en este caso realizar algún tipo de comparación entre procesos empleando para ello sus características comunes, sus procesos o falta de ellos y los productos o resultados obtenidos a partir de su implementación.

El trabajo de investigación se vincula de manera especial con la ingeniería de sistemas puesto que emplea dos de sus áreas más destacadas y que se encuentran incluidas en el pénsum que sirvió de marco para la educación de los investigadores.

Además este proyecto está de acuerdo con los objetivos trazados por la universidad⁷ para la formación de los estudiantes de ingeniería de sistemas, entre los que destacan:

- Examinar, formular, analizar, tratar y resolver problemas, fundamentados en una concepción sistémica del mundo y sus fenómenos.
- Acometer la solución de problemas informándose adecuadamente de la naturaleza de los mismos, diciendo cuales son sus objetivos, planteando o seleccionando un modelo y asegurando una forma de ejecución con base en recursos informáticos.
- Adquirir una formación profesional como agente investigador.

La labor investigativa planteada a través de este proyecto ha sido construida teniendo en cuenta restricciones de tiempo y la disponibilidad horaria de los involucrados, aún utilizando las tres cuartas (3/4) partes de su tiempo los desarrolladores emplearán 7 meses en la elaboración del mismo y esto sólo es posible gracias a la realización de actividades simultáneas (ver cronograma).

La naturaleza misma del proyecto hace que se necesite crear un espacio de discusión y dialogo que evite polarizaciones y/o estancamientos durante su desarrollo; aunque un aporte importante en este sentido es proporcionado por el director, su influencia se ve limitada debido a las dificultades de comunicación que podrían retrasar en horas e incluso en días el trabajo previsto, por esta razón es fundamental contar con dos miembros en el equipo de desarrollo. Además dentro del perfil profesional del ingeniero de sistemas se busca educar personas con capacidades para trabajar en grupo.

3.1 IMPACTO

En términos generales el presente proyecto constituye una exploración teórico-práctica en la integración entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial por lo tanto su impacto directo se da principalmente en tres áreas:

⁷ Estos objetivos pueden ser consultados a través del sitio web institucional de la EISI: <http://cormoran.uis.edu.co/eisi/InfoGeneral/infoGeneralPerfilPregrado.jsp#perfil>

Investigación o frontera del conocimiento: Mediante la posibilidad de integración entre diferentes áreas de conocimiento y la ampliación de los fenómenos tratables desde ellas como consecuencia, se logra expandir las posibilidades de investigación en cuanto a situaciones de estudio y también en cuanto a aportar soluciones a interrogantes que se plantea la comunidad científica respecto al trabajo interdisciplinario de las dos áreas de conocimiento involucradas en la propuesta. Con esto se hace un aporte a la integración de dichas ramas del saber, concepto que planteado en la Teoría General de los Sistemas⁸. Al abrir las puertas para abordar nuevas situaciones, surge la posibilidad de que las experiencias obtenidas a partir de estas exploraciones motiven la formulación de nuevos conceptos o evolución de los ya existentes.

Otro aporte importante que realiza la presente propuesta es el de facilitar, de una manera específica, el tratamiento de aspectos cualitativos que surgen durante la investigación y estudio de fenómenos de diversa índole.

Dinámica de Sistemas: Al avanzar en la integración entre Dinámica de Sistemas e Inteligencia Artificial se presenta la oportunidad de realizar en alguna medida aportes a la base teórica que permite el estudio de fenómenos de diversa índole. Gracias a la identificación de una nueva metodología para la dinámica de sistemas y así mismo del tipo de situaciones que puede abordar, se amplía el dominio de este lenguaje estructurado para la representación de modelos, lo cual lo fortalece.

Como consecuencia del planteamiento de una nueva metodología y de su contraste con aquella preexistente se consigue clarificar, en cierta medida, las bondades y alcances de la misma, con lo cual se aporta sobre el conocimiento tanto de la metodología clásica como de la nueva, conocimiento que se traduce en la posibilidad de aplicar con mayor responsabilidad y robustez la Dinámica de Sistemas.

Al esclarecerse los requerimientos que debe poseer un software que pretenda abarcar los aportes metodológicos realizados por este proyecto, se sientan las bases para la creación o expansión de una herramienta de modelado que incluya los aspectos más relevantes en el tratamiento de problemas desde la visión metodológica planteada a lo largo del proyecto previo⁹ y del actual.

Educación y Aprendizaje: Los resultados obtenidos a través de la exploración planteada en el presente trabajo tienen implicaciones favorables en cuanto al estudio de la Dinámica de Sistemas por parte de los estudiantes del ambiente educativo directamente relacionado con el grupo de investigación SIMON, gracias a la labor de difusión que los miembros de este grupo cumplen en el medio académico con estudiantes tanto de pregrado como de postgrado.

Al plantearse dos metodologías para la Dinámica de Sistemas, una clásica que representa el modo tradicional de emplear éste conocimiento y una nueva que permite emplearlo junto con el conocimiento de algunos aspectos de la Inteligencia Artificial, se ofrece la

⁸ Ludwig Von Bertalanffy, Teoría General de los Sistemas, 1968, Pág. 51

⁹ Proyecto de grado: Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones, Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Guillermo Luque y Vladimir Pradilla, 2003.

posibilidad de diferenciar el marco conceptual o conocimiento de la metodología o lineamientos de aplicación del conocimiento.

Debido a que se facilita el tratamiento de valores cualitativos, se logra un mayor acercamiento al lenguaje natural, con lo que el proceso de asimilación del modelado puede ser más intuitivo.

3.2 VIABILIDAD

La viabilidad de este proyecto está sustentada teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

En primera instancia, está el recurso humano el cual se ve representado por un grupo de investigación con una amplia trayectoria en el área de Dinámica de Sistemas y Pensamiento Sistémico, constituido por personas con diversos grados de escolaridad que aportarán su experiencia en realización de proyectos de investigación, en el campo del modelado y el conocimiento de fuentes de información así como los avances en el estudio del campo.

El director del mencionado grupo es además el director de este proyecto el cual brindará su experiencia y conocimiento en el área adquiridos a través de años de estudio e investigación y por medio de su participación en el proyecto anterior.

En cuanto al recurso tecnológico y del conocimiento, se puede destacar el hecho de que no se requieren equipos de última generación, ni servidores, ni sistemas especiales de difícil adquisición. Otro aspecto es la ventaja de iniciar con una base conceptual representada por el proyecto anterior que ya ha sido evaluado y aprobado por el ente calificador.

La gran disponibilidad de material bibliográfico representa una ventaja en el sentido de que aporta acceso a una importante base de conocimiento relacionado con el área a investigar; sin embargo, ésta también constituye una dificultad debido a las contradicciones generadas por diversos planteamientos de diferentes autores. Esta situación aparentemente contradictoria es, precisamente, uno de los recursos que alimentan el proceso investigativo.

En el aspecto económico se encuentra un escenario favorable debido a que los costos causados por concepto de recurso humano los cuales constituyen una gran proporción del costo total del proyecto, son cubiertos por la universidad en calidad de inversión social.

Debido a que el proceso se desarrolla dentro del grupo de investigación SIMON, sus recursos se encuentran disponibles durante el tiempo de duración del proyecto. Esto implica que la licencia correspondiente a la principal herramienta requerida durante el proyecto, Evolución 3.5¹⁰, sea proporcionada por este grupo, además de contar con personas experimentadas en el uso del software.

10 Cuellar Yemeris, Mario; Lince Mercado, Emiliano; Evolución 3.5: Herramienta Software para el Modelamiento y Simulación en Dinámica de Sistemas, Proyecto de grado, Bucaramanga, 2003.

Los gastos restantes generados por el proyecto son pequeños en proporción al valor total del mismo y se encuentran distribuidos o se pueden distribuir a lo largo del tiempo de trabajo lo cual facilita su manejabilidad por parte de los posibles inversionistas que participen en el mismo.

4. METODOLOGÍA

Para el presente proyecto se adopta el enfoque metodológico empleado en el desarrollo software basado en modelos de ciclos de vida. Dicho concepto puede ser extendido mediante la analogía entre el conocimiento resultante de la labor investigativa, representado por sus planteamientos y el producto software; del mismo modo la labor de producción es semejante al proceso investigativo.

En particular se ha adoptado una extrapolación del modelo de prototipado evolutivo ya que de esta manera se pueden concebir las preguntas de investigación como requisitos en el sentido de que deben ser cubiertas hasta alcanzar cierto grado de satisfacción. Estas preguntas, junto con la formulación del problema, constituyen el concepto inicial y a medida que se logra mayor amplitud, profundidad y precisión en las respuestas se alcanza mayor refinación de los planteamientos formulados.

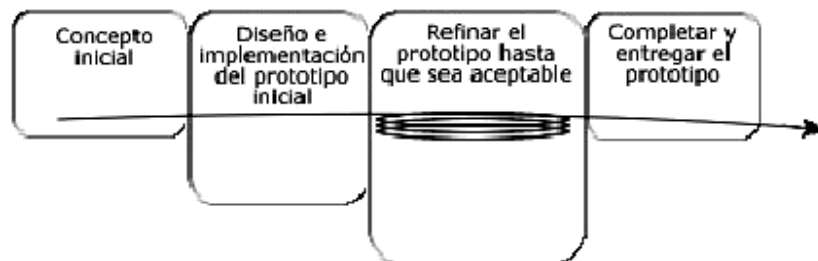


Figura 2. Prototipado Evolutivo

La adopción del prototipado evolutivo permite representar características propias del trabajo investigativo como son su continuidad en el refinamiento y evaluación de los resultados obtenidos y la construcción del nuevo estado refinado a partir del anterior (Figura 2).

Fueron descartados los modelos no evolutivos ya que en un proyecto de investigación como el presente, existe incertidumbre acerca de los resultados finales como consecuencia de su intención exploratoria. Por otra parte las respuestas que son construidas para cubrir las interrogantes deben someterse a revisión y enriquecimiento a medida que el conocimiento producido por la labor investigativa avanza. Este proceso evolutivo se ve representado en los modelos de ciclo de vida evolutivos de una manera más robusta. Otro motivo para adoptar modelos evolutivos es la posibilidad que estos ofrecen para regresar parcialmente en el desarrollo y corregir exploraciones infructuosas que puedan paralizarlo.

El prototipado simple fue omitido debido a que este implica desechar lo construido hasta cierto punto de revisión y esto implicaría, en el presente trabajo, comenzar nuevamente con la labor investigativa lo cual haría imposible mantener una perspectiva propuesta a lo largo de la investigación.

Por otra parte la entrega por etapas y el proceso unificado no resultan adecuados para la extrapolación aquí hecha ya que exigen claridad sobre las diferentes etapas del proceso,

esto haría necesario conocer con exactitud los resultados parciales que se van obteniendo en el desarrollo del proyecto, lo cual resulta impracticable dado el carácter exploratorio del mismo y la incertidumbre asociada con dicha particularidad. Estas mismas razones llevaron a rechazar el modelo de espiral ya que este modelo requiere clara definición de los hitos del proyecto y mayor planificación.

Por las razones anteriormente descritas se adoptó el modelo de ciclo de vida evolutivo con su correspondiente adaptación al proceso investigativo a partir de la analogía entre el desarrollo software y la exploración científica.

PROTOTIPO INICIAL (CAPÍTULO 1)

5. INTRODUCCIÓN

Un buen punto de partida al realizar una investigación es retomar la información previa, adquirida y/o generada para construir una base sólida de conocimiento sobre la cual cimentar la construcción de ideas, metodologías, paradigmas, etc., que se hará durante el transcurso del trabajo o en el momento de su conclusión. Dicho esto, el capítulo inicial del presente proyecto se centra en la explicación de conceptos o métodos necesarios para llevar a buen término la investigación y al mismo tiempo ser críticos sobre las exploraciones anteriores en el mismo campo y los resultados obtenidos por la misma.

En una sociedad tan práctica desde el punto de vista económico es difícil llevar una investigación hasta sus últimas consecuencias. En muchas ocasiones las empresas privadas son las que proveen los fondos para el trabajo sobre un tema específico o incluso tienen grupos internos que realizan esta labor. Sin embargo muchas investigaciones son abandonadas cuando aún no se han completado debido a que los resultados parciales generan ganancias, y sólo se profundiza en las metodologías si esto está ligado a un mejoramiento en la rentabilidad de los procesos. Las universidades, especialmente las públicas como entes académicos deben procurar abrir espacios para continuar con la investigación en direcciones que a pesar de no lucir rentables, pueden traer nuevo conocimiento a la comunidad académica y científica en general. Siguiendo con este orden de ideas, en el presente proyecto se involucra una profundización en cuanto a la metodología involucrada en la representación de fenómenos con Dinámica de Sistemas y dejando de lado las razones económicas e industriales se pretende unificar el proceso de modelado, no para poder crear modelos en masa, sino para reproducirlo coherentemente durante todo el trabajo, modificarlo siendo específicos en cuanto a las etapas o fases que se verán involucradas en el cambio y notar alteraciones involuntarias que se den en el mismo durante el trabajo de integración entre Dinámica de Sistemas y algunas técnicas asociadas a la Inteligencia Artificial.

La técnica de Inteligencia Artificial que se trabajó en el proyecto anterior fue la de Sistemas de Inferencia Difusa (FIS por sus siglas en inglés), la cual es bastante nueva, y el software académico y profesional asociado a ella es, si no escaso, bastante desconocido, especialmente por el ingeniero de sistemas promedio que aún no ha seleccionado un campo de especialización en una carrera con tantos enfoques y que brinda tantas posibilidades de expansión, y que contrario a lo que el mundo empresarial cree, no pretende convertir a sus egresados en expertos manipuladores de software vario. Teniendo en cuenta esta realidad, parte del primer capítulo de este proyecto de grado pretende familiarizar al lector con una de las herramientas software disponibles, buscando proporcionar un universo de discurso común entre el lector y los autores de este documento, facilitar la comprensión del trabajo realizado y, con suerte, proporcionar un punto de partida para la lectura de temas afines.

Al finalizar su trabajo, los autores de “Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones” presentaron un sencillo modelo de un sistema económico basado en los conceptos de oferta y demanda. Por medio del mismo mostraron los resultados obtenidos en su investigación y tras su ejecución pudieron

plantear unos lineamientos metodológicos que servirían para posteriores trabajos sobre el tema. Es apenas lógico que un proyecto que pretende continuar el trabajo realizado por dichos autores retome el modelo allí desarrollado, sin embargo no puede simplemente aceptarse dicha representación como una verdad absoluta, sino que debe ser analizada, evaluada y criticada para, con la información obtenida de este proceso, procurar una mejora del modelo. Adicionalmente, el estudio de esta situación de carácter económico permite la exploración en lo referente a la posibilidad de emplear la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa en fenómenos de ese tipo.

No sólo es necesario recrear el modelo sino también rehacer la conjunción entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa ya que esto requiere de un repaso de los lineamientos metodológicos propuestos a la vez que permite su evaluación y le proporciona a los autores de este trabajo un cierto nivel de familiaridad con el proceso necesario para generar modelos que involucren la integración. Dicha labor permite identificar de manera inicial, la forma en que la conjunción se involucra dentro del proceso de modelado al tiempo que ofrece la posibilidad de evaluar el modelo posterior a los cambios presentados durante su reconstrucción, y crear escenarios con parámetros obtenidos a partir de datos actualizados sobre el fenómeno. Contar con un ejemplo práctico de aplicación invita a examinar las herramientas software disponibles que se emplearon con anterioridad para realizar esta labor, y a su vez nuevos útiles que puedan proporcionar una mayor facilidad de manejo, versatilidad o que ofrezcan un mayor nivel de integración.

6. MODELADO CON DINÁMICA DE SISTEMAS DE LA MANERA TRADICIONAL

Muchos textos y documentos se han escrito a través de los años describiendo el proceso de modelado que llevará a quien lo aplica a obtener resultados óptimos. Sin embargo, el mayor consenso al que se ha llegado es que no existe “receta” alguna para llevar a cabo el proceso de modelado con Dinámica de Sistemas, sólo existen algunas directrices que son aplicables en la mayoría de los casos, pero que son tan generales que se ajustan en buena parte a cualquier tipo de modelado. La mejor manera de aprender a modelar es mediante la práctica de dicho proceso; es a través del trabajo constante que se pueden adquirir habilidades esenciales para aumentar la velocidad en la identificación de problemas, en el desarrollo de modelos y en el calibrado de variables; sin embargo, esta labor no debe ser mecánica ni repetitiva porque a pesar de que muchas organizaciones y sistemas guardan una cantidad considerable de semejanzas entre ellas, el objetivo y mucha información particular pueden generar un modelo ineficiente si se desea “repetir” un trabajo anterior.

Dependiendo del enfoque, pesimista u optimista, de la tercera ola (Andrade y otros, 2001) el proceso de modelado se trabaja de manera diferente enfocándolo desde el punto de vista de los negocios y como soporte para la identificación y solución de problemas, o por otra parte, como herramienta de investigación para la visualización del comportamiento de sistemas. Dependiendo del enfoque, el proceso de modelado puede iniciarse mucho tiempo antes de la construcción del modelo, de la creación de diagramas e incluso de la recopilación de información, en algunas ocasiones se empieza al preguntarse para quién y para qué es el modelo.

6.1 EL CLIENTE:

Hay que identificar al cliente: Hay que identificar al cliente para enfocarse en sus necesidades puesto que el contexto y el problema del mundo real determinan la naturaleza del modelo que debe ser creado y modificado de acuerdo con los objetivos del cliente, con sus capacidades y habilidades. Es inútil realizar propuestas que puedan traer bienestar a la organización o al individuo si éste no cuenta con los medios para implementar las reformas y realizar los cambios, estos medios no son necesariamente económicos como se pudiera llegar a pensar en un principio, sino que incluyen, entre otros, disponibilidad temporal, voluntad para el cambio, buenas relaciones internas, etc.

El cliente no es necesariamente la persona que invita al modelador a la organización, ni la que exalta su trabajo, ni siquiera la persona que desembolsa el dinero para realizar el estudio, aunque es bueno tener este tipo de persona del lado del investigador. El cliente puede ser el gerente, un operador de maquinaria, un grupo de personas o comunidades completas, incluso el modelador mismo.

Hay que entablar una relación con el cliente: Los clientes e incluso otras personas que participan del modelo no viven para él, es decir, su propósito en la organización no es prestar asistencia al modelador, normalmente son individuos que se encuentran ocupados,

que están dentro de la organización y se rigen por sus políticas, buscan constantemente mejorar su nivel de vida y se encuentran preocupados por su carrera. En muchas ocasiones, están conformes de la manera como funcionan las cosas y no les interesa el trabajo que un tercero (el modelador) está realizando en ese momento. En el peor de los casos se mostrarán reacios al cambio porque el mismo puede amenazar sus empleos, si por el contrario son conscientes de la existencia de un problema, su preocupación es enfrentarlo y darle solución en el mundo real, no les importa la elegancia del modelo o lo inteligente de las suposiciones hechas para su construcción.

Si no se consigue una buena relación con el cliente no se logrará plasmar en el modelo la estructura y comportamiento adecuado del sistema, ya que sin un cierto grado de confianza el modelador no podría cumplir con su responsabilidad de requerir a sus clientes que justifiquen sus opiniones, que presenten visiones basadas en datos y que consideren nuevos puntos de vista, muy al estilo empleado por Sócrates en que se cuestionan las ideas y concepciones que se tiene del mundo para tratar de alcanzar la verdad, en este caso los datos y hechos relevantes para el modelo.

Hay que enfrentarse al cliente: El modelador debe luchar contra los problemas del cliente y suplir sus necesidades pero esto no indica que deba estar dispuesto a hacer todo lo que el cliente quiera, no se debe acceder automáticamente a las solicitudes para aumentar el detalle en el modelo o para enfocarse en ciertos aspectos ignorando otros sólo para mantener al cliente a bordo.

Un problema frecuente encontrado en muchas organizaciones por los modeladores es que los clientes no pretenden aprender de los modelos, sino emplearlos para soportar conclusiones a las que han llegado con anterioridad (por otro método) o como instrumentos para ganar poder en sus organizaciones al presentar una versión distorsionada de la importancia de su cargo en la entidad. Como modelador (como ingeniero de sistemas, como consultor y como profesional) se tiene la responsabilidad ética de realizar la labor encomendada con rigor e integridad. Se debe estar dispuesto a permitir que el proceso de modelado cambie la forma de pensar. Se debe “hablar con la verdad al poder”, informándoles a los clientes que sus creencias más arraigadas están mal, si eso es lo que revela el proceso de modelado, aún si esto implica ser despedidos. Si el cliente presiona a generar un resultado que ha seleccionado por adelantado o que no es soportado por el análisis, se debe hacer frente a la presión. Si el/los cliente(s) es(son) de mente cerrada, si no puede convencerse(s) de que use(n) el modelo de manera honesta, es una opción responsable renunciar y conseguir un mejor cliente.

Hay que tener en cuenta que el cliente puede variar: En la práctica, el modelador es llevado a la organización debido a que se piensa que él o sus herramientas pueden ser útiles para el crecimiento, desarrollo y mejoramiento de la entidad. El primer trabajo que es necesario llevar a cabo es determinar cuál es el verdadero problema y quién es el verdadero cliente. Sin embargo una vez identificado aquel cliente, éste no permanece estático puesto que la investigación realizada para la construcción del modelo puede arrojar resultados que modifiquen la visión del modelador en cuanto al impacto que tendrá el mismo sobre los individuos previamente identificados como clientes y puede suceder que una vez evaluado dicho impacto se llegue a la conclusión de que el “cliente” no era en realidad el sujeto o grupo previamente establecido.

6.2 EL MODELADO COMO SOPORTE PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS:

Un modelo no debe crearse para representar un sistema sino para estudiar un problema: “Cualquier modelo es una representación de un sistema – un grupo de elementos interrelacionados funcionales que forman un todo complejo. Pero para que un modelo sea útil debe dirigirse a un problema específico y debe simplificar en lugar de intentar reflejar un sistema entero en detalle”¹¹. Un modelo es útil en la medida que simplifica la realidad ya que crea o expone una representación de la misma que se puede analizar y comprender, en cambio, un modelo “completo” de un sistema que incluya todos los elementos que lo componen sería tan complejo como el sistema mismo y por tanto inescrutable. Se podría comparar el modelo de un sistema con el mapa de un territorio; un mapa tan detallado como el territorio no sería útil para el usuario final.

Existe la posibilidad de que el problema sea comprender un sistema: La utilidad de un modelo se ve reflejada en su capacidad de simplificar una realidad y de esta manera facilitar la búsqueda de soluciones y políticas que puedan ser aplicadas sobre la misma a partir de la evaluación de cursos de acción y escenarios sin necesidad de implementarlos realmente. En el caso de que la problemática a enfrentar sea la comprensión del funcionamiento o comportamiento de un sistema, la creación de un modelo que lo capture por completo, en toda su complejidad, no resulta útil ya que su complejidad misma impide la comprensión del sistema.

El modelo debe ser enfocado al cliente pero no debe ser dirigido por el mismo: Si bien la persona a la que está dirigido todo el proceso de modelado es el cliente, no debe confundirse el papel del mismo ni darle lugar como director de la construcción del modelo. Esto se debe a que en muchos casos, quien solicita la ayuda del modelador, no busca en el modelo una herramienta para comprender mejor una situación y así responder a una problemática presente en ella, sino que desea justificar los juicios que ya ha formulado a priori, o busca conseguir poder dentro de la organización. Esta situación se ve manifiesta en el intenso uso que se hace de los modelos para dar soporte a diversas posiciones, sobre todo en el ámbito legal. Lo anterior desvirtúa el modelado y lo aleja de su verdadero propósito: contribuir en el aprendizaje de su destinatario al someter a prueba sus concepciones previas y, consecuentemente, orientar la solución a un problema.

6.3 ETAPAS PARA ELABORAR UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS:

Una de las ventajas que tienen los modeladores experimentados es que la práctica y el conocimiento derivados del desarrollo de múltiples modelos a lo largo del tiempo les permiten ajustar el proceso de modelado a sus necesidades y en consecuencia manipular unos u otros elementos en diferente grado permitiéndoles enfocarse más en la forma que en la técnica, esto se traduce en un cierto “estilo” personal que se sustenta en una serie de apreciaciones no del todo conscientes algunas de ellas y por ende de difícil expresión, o en algunos casos, de carácter más intuitivo que racional. Por otro lado, los “nuevos” modeladores que poca o ninguna experiencia previa poseen, deben apoyarse en procesos mejor definidos y más rigurosos que les permitan llevar a buen término un

11 Sterman, John D. Business Dynamics: Systems Thinking for a Complex World, Mc Graw Hill, New York, 2000. Página 89, Capítulo 3.

modelo satisfactorio y bien documentado. Esta situación es equivalente con la que se presenta en la culinaria, en la cual los expertos son representados por Chef de cocina que ya no siguen las fórmulas para los platillos, lo que les permite crear cosas nuevas, mientras que los novatos requieren la receta para su preparación.

La importancia de tener claro el proceso de modelado se ve reflejada en la necesidad de reproducir el mismo numerosas veces para crear diferentes modelos en diferentes momentos y para diferentes clientes y, en algunas oportunidades, con diferentes grupos de trabajo, además si el procedimiento es meticuloso puede facilitar a los demás (cualquier agente externo) comprender el mismo desde sus cimientos, presentando una documentación completa que muestre los factores relevantes, las fuentes de información, diagramas, etc. Como se está dejando documentado el proceso, aumenta su robustez y la confianza del cliente en el mismo.

Si se desea realizar un cambio al proceso de modelado, que no es único y se ve fuertemente influenciado por la intencionalidad de sus constructores y el propósito del estudio dentro del cual se emplea, es fundamental poner de manifiesto la caracterización del mismo adoptada en esta investigación, puesto que se debe explicar la manera como surgió el cambio, en qué etapa del mismo se debe llevar a cabo y cuál era el propósito de la modificación o su influencia en etapas posteriores, y si no se es consciente sobre cual proceso se está trabajando es imposible distinguir este cambio.

Sin un proceso claro y hasta cierto nivel riguroso en su proceder, un cambio no planificado en el mismo puede pasar inadvertido para el modelador, y puede perderse conocimiento valioso para la comunidad en general, si dicho cambio representa un avance en la forma de crear modelos o en la forma de abordar los problemas.

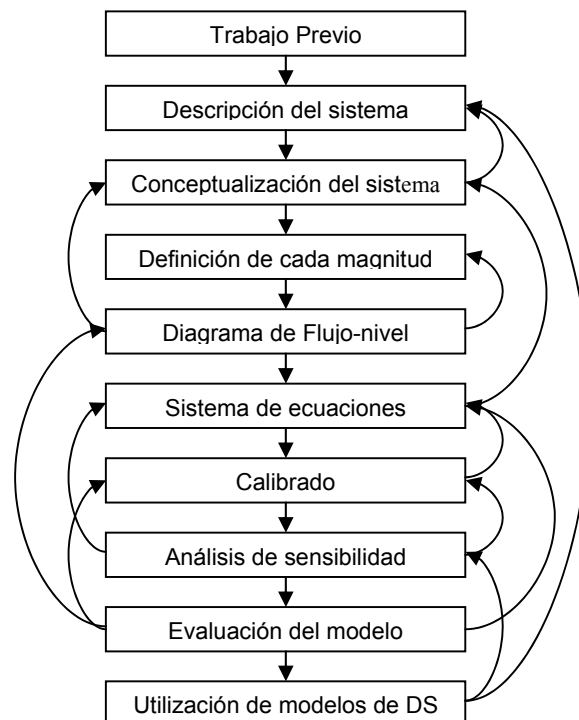


Figura 3. Flujo en las fases de modelado

Dada la gran diversidad de documentación encontrada acerca de las formas de crear modelos usando Dinámica de Sistemas y la importancia de tener claro el proceso, se ha tomado la decisión de unificar el mismo, para propósitos de este proyecto, usando como base la propuesta realizada por Alberto Requena y Silvio Martínez en su libro “Dinámica de Sistemas” que consta de 9 fases no secuenciales, muchas de ellas comunes a cualquier clase de modelo matemático (ver Figura 3), hay que hacer énfasis en que este es sólo uno de los muchos procesos propuestos por los expertos modeladores y que su selección se basó en lo riguroso del mismo, sin embargo no se hace demasiada claridad en los pormenores de cada una de dichas fases debido a que no se desea generar una lista paso a paso de la “formula” para construir modelos. Se puede considerar que el trabajo realizado hasta el momento, consistente en la identificación del cliente y una revisión general de la situación que busca observar el enfoque de DS que se va a emplear, son pasos previos fundamentales para un trabajo ágil a la hora de construir el modelo.

6.3.1 Descripción del Sistema, Selección de Elementos y Relaciones Fundamentales:

De manera inconsciente, empezar el proceso de la creación de un modelo con Dinámica de Sistemas, implica haber seleccionado un tipo de modelo matemático sobre otros muchos posibles para realizar análisis de fenómenos. La finalidad o propósito del modelo debe ser dejado en claro desde el principio de preferencia de manera explícita por medio de un pequeño texto que indique el objetivo perseguido por el grupo de trabajo encargado de la realización del modelo, o de manera implícita a lo largo del texto general explicativo de la situación, mostrando el énfasis que se realiza en algunos aspectos del sistema y el por qué de las exclusiones de otros. Ésta es una de las etapas más delicadas de todo el proceso puesto que su nivel de acierto puede influenciar directamente los resultados finales que se obtendrán. En ella, por medio del texto escrito se deberá tratar de plasmar

un modelo mental de cómo está constituido o de qué manera funciona el sistema y seleccionar los elementos relevantes de los sistemas que se piensan agregar al modelo, de la misma manera al escoger los elementos se establecen las relaciones entre ellos, o al menos aquellas que de acuerdo con la teoría y/o la experiencia empírica sean más evidentes. La etapa de identificación no se cierra completamente después de ser cubierta por primera vez; hay que estar continuamente agregando nuevos elementos y eliminando otros de los ya seleccionados, para mejorar la calidad de los resultados finales.

6.3.2 Conceptualización del Sistema: Diagrama de Influencias

Una vez efectuada, en la fase anterior, una primera identificación de modelos mentales, elementos y relaciones fundamentales que permitieron la adopción del lenguaje sistémico elemental para estudiar el fenómeno, en esta segunda fase se trata de continuar el estudio, definiendo los distintos elementos que integran la descripción, así como las influencias que se producen entre ellos. El resultado de esta fase es el establecimiento del diagrama de influencias, también llamado diagrama causal del sistema.

La construcción del diagrama causal supone un entendimiento superior del sistema, cada elemento debe poseer ya un nombre que lo identifique, se debe conocer las interrelaciones entre elementos y los tipos de ciclos de realimentación que los afectan, su presentación es muy sencilla, tan sólo consta de los nombres de los elementos, unos lazos dirigidos que indican cual elemento es afectado y unos signos (positivo y negativo) que muestran la manera en que se afectan, adicionalmente permite identificar ciclos de realimentación positiva y negativa, es una excelente herramienta para explicar el fenómeno basándose en la influencia que tienen sus diferentes componentes con otros del sistema.

6.3.3 Definición Precisa de Cada Magnitud: Código de Variables

La base para un buen entendimiento surge del empleo de un lenguaje común. Esta etapa es la responsable de proporcionar este idioma común entre el constructor del modelo y los agentes externos (cliente, experto, etc.) además proporciona una base para la creación del diagrama de Flujo-Nivel facilitando el seguimiento a las variables y a sus unidades agregando mayor consistencia al modelo. Las recomendaciones hechas por los textos sugieren una tabla de 4 a 5 columnas que contenga el tipo de variable seleccionando entre nivel, flujo, auxiliar, tabla, etc., el nombre de la variable a usar en el modelo, el cual debe ser lo más nemotécnico posible, la definición o nombre completo que evite las ambigüedades, de ser necesario, se agrega información extra, las unidades de medida de cada magnitud y por último se agregan las observaciones o texto extra que se deba conocer de las mismas, los textos de los que se extrajo la información, en muchas ocasiones es conveniente e incluso necesario trasladar los detalles a anexos.

6.3.4 Diagrama de Flujo-Nivel

Si los pasos anteriores del proceso se han realizado con eficiencia y dedicación, establecer el diagrama de Flujo-Nivel (también conocido como Diagrama de Forrester) no debe plantear ningún tipo de problema distinto a la ubicación de los elementos en el papel para evitar confusiones posteriores y alcanzar un mayor grado de organización. Una de las ventajas de usar un software de apoyo al modelado se debe notar de manera importante en esta etapa del proceso, puesto que debería brindar todas las herramientas para lograr un diagrama ordenado, entre éstas se encuentran el uso de “clones” o copias

inmodificables de otros elementos del modelo, labor que en el papel se realiza por medio del dibujo de los elementos repetidos de manera parcial o con líneas punteadas.

6.3.5 Sistema de Ecuaciones

El diagrama de Forrester suministra casi toda la información necesaria para especificar el sistema de ecuaciones. Sólo las relaciones no lineales entre variables quedan por definir, lo cual puede ser una tarea bastante compleja. Para ello existe una serie de reglas generales obtenidas como corolarios de las conceptualizaciones y definiciones establecidas, estas reglas son:

a) Todas las ecuaciones de nivel son definicionales y tienen la forma general:

$$N(T) = N(T-1) + DT * [FE(T) - FS(T)] \quad \text{o} \quad N = N + DT (FE - FS)$$

Donde:

$N(T)$ es el valor del nivel en el instante T .

$N(T-1)$ es el valor del nivel en el instante $T-1$, o instante anterior

DT es el intervalo de tiempo elegido.

$FE(T)$ es el flujo de entrada en el período T o la sumatoria de flujos de entrada en caso de que sean varios

$FS(T)$ es el flujo de salida en el período T o la sumatoria de flujos de salida en caso de que sean varios

El primer valor que calcula el modelo es para $T = 1$, cuya ecuación sería, suponiendo $DT = 1$.

$N(1) = N(0) + 1 * [FE(1) - FS(1)]$ donde $N(0)$ es el valor inicial del nivel y debe ser conocido.

Es siempre conveniente empezar estableciendo todas las ecuaciones de nivel.

b) Luego se procede a definir las ecuaciones que determinan los flujos. Dichas ecuaciones pueden ser definicionales o de comportamiento, que a su vez pueden ser deterministas o estocásticas.

Se dice que una ecuación es de comportamiento cuando establece una relación de causa a efecto entre dos o más variables.

c) Se procede a definir las ecuaciones de las variables auxiliares, éstas son ayudas que permiten mantener al modelo sencillo y fácil de comprender, algunas pueden ser eliminadas pero el nivel de complejidad se elevaría puesto que los elementos que las involucran se verían llenos de elementos de entrada.

d) Puede darse la posibilidad de que en definitiva no se conozca la ecuación que determina el comportamiento de los elementos; en estos casos en que con posterioridad se definirá la ecuación, se indica cuanta información se posee de la misma, por ejemplo, si se comporta como una función cuadrática, o exponencial, o logística, etc.

$Y =$ función cuadrática (X)

e) Los multiplicadores son una técnica propia de los modelos de Dinámica de sistemas, es un proceso utilizado para modificar el comportamiento normal de las variables por medio de factores que multiplican dicha variable para darle una determinada forma, que se acomode a los datos recogidos para el modelo, también son conocidos como no linealidades, George Sterman hace un planteamiento, en su libro Business Dynamics (2000), trata las relaciones no lineales como multiplicadores y lo hace de una manera más rigurosa generando una serie de pasos a seguir para su completa definición:

1. Normalizar la entrada y la salida. Normalizar la entrada para que sea una tasa adimensional de entrada a una referencia al valor X^* y la salida es un efecto adimensional modificando la referencia del valor Y^* .

La tabla es igual a $f(X/X^*)$ y Y es igual a $Y=Y^*f(X/X^*)$

2. *Identificar los puntos de referencia:* Identificar aquellos puntos donde los valores de la función son determinados por definición. Por ejemplo, en las funciones normalizadas de la forma $Y=Y^*f(X/X^*)$, la función usualmente debe pasar a través del punto (1, 1). Entonces $Y=Y^*$ cuando $X=X^*$.

3. *Identificar las políticas de referencia:* Las políticas de referencia son líneas o curvas correspondientes a políticas estándar o extremas. La política de referencia $f(X/X^*)=1$ representa la política en la que X no tiene efecto sobre Y . La línea de 45° representa la política de que Y varía 1% por cada 1% de cambio en X y es a menudo una política de referencia significativa. Se usan las curvas de políticas de referencia para descartar regiones "improbables".

4. *Considerar condiciones extremas:* ¿Qué valores debe tomar la función en valores extremos como $-\infty$, 0, $+\infty$? Si hay múltiples efectos no-lineales en la formulación, hay que revisar que la formulación tenga sentido para todas las combinaciones posibles y que las pendientes (slopes) correspondan a los efectos en los puntos de operación normal de acuerdo a las políticas y restricciones para la salida en términos generales.

5. *Especificar el dominio para la variable independiente:* Especificar el dominio para la variable independiente de manera que se incluya todo el rango de valores posibles, incorporando las condiciones, no sólo la región normal de operación.

6. *Identificar las curvas factibles:* Identificar las curvas factibles para la función dentro de la región probable definida por las condiciones extremas, los puntos de referencia y las políticas de referencia. El modelador seleccione aquella forma que según su criterio sea la que mejor corresponda a los datos (numéricos y cualitativos). Se debe interpretar las curvas en términos de las restricciones físicas y las políticas del tomador de decisiones.

7. *Especificar los valores para un mejor estimado de la función:* Se debe emplear incrementos lo suficientemente pequeños para obtener la suavidad requerida. Para evitar irregularidades que no se puedan justificar deben examinarse los incrementos entre los valores. Si los datos numéricos están disponibles se puede, con frecuencia, estimar los

valores estadísticamente. Si los datos numéricos no están disponibles, se necesita hacer un estimado a juicio del modelador usando la mejor información que tenga. A menudo, los estimados a juicio proveen suficiente precisión, particularmente, en las etapas iniciales de un proyecto, y ayudan a enfocar subsecuentes modelamientos y esfuerzos de recolección de datos.

8. *Correr el modelo y probar para asegurarse que el comportamiento de la formulación y la función no lineal es razonable:* Revisar que la entrada varíe sobre el rango apropiado (ejemplo: Que la entrada no esté operando fuera de los límites de la función en todo momento).

9. *Probar la sensibilidad de sus resultados para variaciones probables en los valores de la función:* Si el análisis de sensibilidad muestra que los resultados cambian significativamente sobre el rango de incertidumbre en la relación, es necesario reunir más datos para reducir la incertidumbre. Si los resultados no son sensibles a los valores asumidos, entonces no se necesita gastar recursos adicionales para estimar la función más precisamente.

En algunas ocasiones no es ni conveniente ni más sencillo trabajar los multiplicadores como funciones matemáticas estrictas puesto que dificultan la incorporación del cliente en el trabajo con el modelo, además la información conocida del fenómeno puede ser escasa en este punto, y luego en el calibrado los expertos tal vez necesiten “jugar” con los valores del multiplicador, labor casi imposible de llevar a cabo sin pasar de nuevo por todos los pasos del proceso para definir de manera correcta el multiplicador, por tanto en muchas ocasiones es conveniente sólo definir la forma que tendrá el mismo sin concretar una ecuación que lo defina, y trabajarlo con una tabla en la que sus valores pueden ser modificados sin complicaciones.

f) Los retardos son un tipo de variable introducida en algunos programas de apoyo a la simulación de sistemas dinámicos, anteriormente se usaban parámetros que inducían al retardo entregando sólo una porción del material o de la información que se buscaba retardar, como función los retardos trabajan como un conjunto de niveles que mantienen una cierta cantidad del material y lo van entregando de acuerdo con la información proporcionada por el modelador en el orden del retardo que puede ser desde un paso hasta una función suave que maneja flujos constantes. Como un ejemplo específico, en el software de apoyo al modelado Evolución 3.5, las variables independientes que definen la función son: la fuente de datos, el tiempo de ajuste, el orden y el valor inicial.

6.3.6 Calibrado

La etapa de calibrado sobrepasa la construcción del modelo en su sentido más estricto, durante esta etapa el modelador tiene poco espacio para intervenir. Es en esta labor que se destaca la participación de los especialistas y expertos en el fenómeno, o la información recopilada por parte de la organización. En ocasiones determinar el valor de un parámetro requiere el diseño de un experimento que puede ser más costoso y complejo que todo el proceso de modelado hasta este punto, en unas cuantas oportunidades se puede llegar a la conclusión de que la viabilidad de una ecuación que requiera la información de una experiencia es imposible de realizar y si esta ecuación es fundamental para el modelo, es posible que se decida no seguir con el proceso y determinar que no es posible la creación del mismo.

No hay una forma única y predeterminada de describir cómo se fija el valor de una tasa cualquiera en diferentes circunstancias. El proceso que se sigue se vuelve dependiente de la información que se posea y de los métodos de calibrado disponibles. Existen métodos rigurosos como los proporcionados por la estadística (inferencia estadística) hasta los llamados “prueba y error”.

En Dinámica de sistemas es muy común simular el modelo para calibrar algunos parámetros del mismo, este método es conocido como “prueba y repite”, este procedimiento consiste en dar unos valores “arbitrarios”¹² a los parámetros y obtener los valores calculados de la variable dependiente, que se confrontarán con los valores observados, y luego se modifican los parámetros para acercarse más a estos valores. El problema al utilizar este método se ve reflejado en la etapa de evaluación del modelo, ya que el contrastado fue realizado para ajustar los parámetros a los datos que ya existen y no se puede evaluar el modelo con base en los mismos datos puesto que el resultado estaría sesgado.

6.3.7 Análisis de Sensibilidad

El propósito del análisis de sensibilidad es estudiar cómo las variables endógenas varían con respecto a pequeñas modificaciones en los parámetros, es decir, qué tan sensibles son a cambios en los parámetros. Este análisis se puede hacer de manera gráfica comparando las trayectorias obtenidas al realizar la simulación con diferencias en las variables externas. Cuando las trayectorias son muy similares se dirá que el modelo es poco sensible al parámetro θ , y en caso contrario se afirmará que es muy sensible, la importancia de hacer estos análisis se halla en identificar los parámetros que modifican de manera más radical los valores resultantes de la simulación para poder poner especial cuidado en su definición.

Hay un principio general sobre la sensibilidad de los modelos: El comportamiento de sistemas con complejos ciclos de realimentación, por lo general, es poco sensible a variaciones en los parámetros. Esto se debe a que los ciclos de realimentación negativa actúan como reguladores. Las altas sensibilidades se encuentran en modelos con pocos o ningún ciclo de realimentación negativa.

En los modelos de DS el análisis de sensibilidad es la misma prueba de la bondad del modelo; ya que ante la carencia de pruebas de fiabilidad globales y particulares para todos y cada uno de los parámetros, queda la necesidad de conocer las repercusiones que pueden tener en el comportamiento del modelo los errores de medición de aquellos.

A través del análisis de sensibilidad se quieren conocer las siguientes funciones:

$$Y = F(T, \theta)$$

En donde Y es la variable dependiente, T el tiempo y θ un cierto parámetro. La función de sensibilidad es la primera derivada de Y respecto a θ :

12 Estos valores en realidad no son completamente arbitrarios y se acercan más a las suposiciones que los investigadores y modeladores realizan sobre el fenómeno.

$$\eta = (\delta Y / \delta \theta)_T$$

La función muestra cómo la sensibilidad depende de los valores de T y θ . Para evitar problemas de unidades de medida es recomendable calcular la elasticidad de Y respecto de θ ; o dicho de otra forma la derivada logarítmica.

Para actuar rigurosamente, el análisis de sensibilidad debería hacerse para todas las variables endógenas respecto a todos los parámetros. Con lo cual, si es N el número de variables endógenas y M el número de parámetros se tendría una matriz N x M de funciones de sensibilidad. Usualmente es suficiente disponer de tales funciones para las principales variables endógenas (niveles, algunos flujos y algunas auxiliares).

6.3.8 Evaluación del Modelo: Contrastado

La validez del modelo para dar respuestas a los interrogantes para los que fue construido o para representar legítimamente el fenómeno que se desea explicar es uno de los factores más importantes a la hora de evaluar el trabajo realizado y en particular el modelo obtenido del mismo. Una primera prueba de validez del modelo la suministra lo que ordinariamente se conoce como el contraste de las respuestas del modelo con los hechos observados. Se puede afirmar que un adecuado ajuste de los resultados obtenidos con un modelo comparados con los observados de la realidad es condición necesaria (aunque no suficiente) de validez del mismo. La pregunta que surge es, ¿Qué es un adecuado ajuste, o ajuste razonable? Usando un lenguaje matemático, se dirá que los resultados se ajustan a los hechos si cumplen una “norma de convergencia” preestablecida. Analíticamente se expresa:

$$\frac{|Y_c - Y_o|}{Y_o} * 100 \leq E$$

Donde:

Y_c es el valor calculado o vaticinado por el modelo

Y_o es el valor observado del fenómeno real

E es un valor arbitrario predeterminado que representa el máximo error aceptable

Si se verifica esta regla, el modelo cumple la “norma de convergencia”. Esta comprobación se hace para todos los valores de los resultados en el tiempo presentados por el modelo y de los cuales se posea datos de la situación.

Normalmente un modelo presenta resultados de más de una variable. Para realizar un contrastado a estos modelos, hay que analizar los ajustes relativos de todas las variables calculadas y observadas, pero cada una de ellas puede trabajarse con una norma de convergencia diferente, cada variable debe ajustarse de acuerdo con diferentes criterios y niveles de exigencia, estos pueden estar dados por el margen de error de los instrumentos o por causas subjetivas.

6.3.9 Utilización de Modelos de DS

Esta etapa del trabajo con modelo en DS es más una labor conjunta entre el cliente y el modelador que un trabajo exclusivo de este último, puesto que supera las etapas de

construcción del modelo y se considera como parte de la justificación de la creación del mismo.

Como se apuntó con anterioridad uno de los propósitos de este tipo de modelos puede ser la adquisición de conocimiento por medio de la investigación para la posterior construcción del modelo y la comprensión del fenómeno examinado. Sin embargo en muchas oportunidades se desea analizar casos más allá de la información con la cual se trabajó (datos de contrastado) y visualizar posibles escenarios a los que se enfrentará nuestro sistema, las consecuencias a largo plazo de diferentes alternativas de solución a una problemática y su impacto sobre los resultados finales obtenidos. Es por tanto necesario definir algunos conceptos para familiarizarse con los mismos:

Las condiciones iniciales: Incluye entre otros, los valores iniciales de todos los niveles, los valores de las variables predeterminadas (sean flujos o auxiliares) con tantos retardos como contenga la ecuación, y los valores de los parámetros absolutamente invariables.

Los escenarios: Determinar un escenario de simulación, en un sentido estricto, supone determinar valores coherentes de todas las variables exógenas ligadas al tiempo período a período, y los valores fijos de aquellos parámetros que se consideran constantes durante la simulación.

A veces se denomina “escenario” *lato sensu* al conjunto de condiciones iniciales unido al de los valores de lo que se ha denominado “escenario” *stricto sensu*. La razón de proponer una diferenciación entre las dos se establece en tratar de convertir el proceso de modelado en algo lo más definido posible, sin ignorar la posibilidad que para fenómenos que existan supuestos, algunas condiciones iniciales (valores de nivel, flujos, retardos) pueden ser vistas como parte de los escenarios, para propósitos de predicción o si tienen un uso pedagógico.

7. CREACIÓN DE UN SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO (FIS)

- Con codificación en MatLab 6.5 -

7.1 DEFINICIÓN DEL FIS

Un Sistema de Inferencia Difuso (FIS) funciona a partir de reglas que manejan valores cualitativos o variables lingüísticas. Es una estructura que contiene la formulación necesaria para transformar un vector de entrada en un vector de salida a partir de una serie de reglas de decisión de Lógica Difusa.

Aquí se presenta la creación de un FIS por medio del editor gráfico que ofrece para tal fin la “Fuzzy Logic Toolbox” incluida con MatLab 6.5. La información se presenta a manera de tutorial partiendo de un caso de estudio. El problema consiste en determinar el valor que debe darse de propina a un mesero a partir de consideraciones sobre la calidad del servicio y de la comida.

7.1.1 Formulación de Reglas y Método de Inferencia Difusa

Se inicia enunciando las diferentes reglas de inferencia. Una regla de inferencia puede definirse como una expresión a modo de condición que indica un conjunto de valores de salida para una combinación de valores de entrada; la combinación de entradas puede definirse a partir de la conjunción, disyunción y negación sobre los valores que pueden tomar los criterios de decisión. Aún cuando en este momento del proceso no se han definido las entradas y salidas para el FIS, si se hace una identificación de las mismas que se representa mediante valores cualitativos en las reglas.

En este ejemplo se presentan las reglas correspondientes a los valores de la propina dependiendo de la calidad de la comida y de la calidad del servicio, éstas han sido determinadas a partir de la experiencia de un conocedor de restaurantes y son las siguientes:

- Si el servicio es deficiente, o la comida es rancia, entonces la propina es baja.
- Si el servicio es bueno, la propina es un valor promedio.
- Si el servicio es excelente o la comida es deliciosa, la propina es generosa.

También es necesario definir el método de inferencia difusa que empleará el sistema para calcular la salida a partir de las entradas y de las reglas. Las opciones más comunes que se encuentran son Mamdani y Sugeno, cada uno con ventajas que deben ser consideradas a la hora de inclinarse por uno u otro; a continuación se listan las fortalezas de cada uno de ellos.

Ventajas del Método Sugeno:

- Es eficiente computacionalmente
- Trabaja bien con técnicas lineales
- Trabaja bien con técnicas adaptativas y de optimización
- Ha garantizado continuidad en la superficie de salida

- Es afín al análisis matemático

Ventajas del Método Mamdani:

- Es intuitivo
- Tiene amplia aceptación
- Se presta para la participación humana

7.1.2 Definición de Entradas y Salidas

Una vez determinadas las reglas de inferencia que manejará el FIS, es necesario determinar los valores correspondientes a cada uno de los valores cualitativos allí presentes. Se inicia definiendo los rangos dentro de los cuales se mueve cada una de las variables y luego se relacionan las definiciones cualitativas, sobre los que no haya duda de su clasificación (al menos no para el experto), con valores representativos “precisos” dentro de ese rango. Estos valores “claves”, son los puntos alrededor de los cuales se mueve el valor real de la variable dependiendo del grado de membresía respecto a cada uno (recuérdese que en Lógica Difusa se da la múltiple pertenencia).

Para esta situación en particular se asumirá un valor para la propina (salida del FIS) relativo al valor de la cuenta, siendo 0% el mínimo y 30% el máximo. Los valores “claves” de la propina son 5% para “propina baja”, 15% para un valor “promedio” y 25% para una propina “generosa”.

Para la calificación del servicio y de la comida (entradas), se toma una escala de 0 a 10. En el caso de la comida se tienen dos valores cualitativos, “rancia” y “deliciosa”. Se toman entonces dos puntos representativos de cada una de estas valoraciones. En este caso, estos puntos son: entre 0 y 1 se considera “rancia”; y entre 9 y 10 se señala como “deliciosa”. Para el servicio, se tienen tres valores posibles y se toma el 0 como “deficiente”, 5 para “bueno” y 10 para “excelente”.

7.1.3 Definición de Funciones de Membresía

Después de identificados los puntos con pertenencia conocida (usualmente pertenencias 1 o 0). Se sigue con la definición de las funciones de membresía (mf por sus siglas en inglés).

Existe una amplia gama de funciones para representar los grados de pertenencia entre diferentes conjuntos. A continuación se presentan tres de ellas que son la curva “gaussiana”, la “triangular” y la “trapezoidal”.

7.1.3.1. Función Triangular.

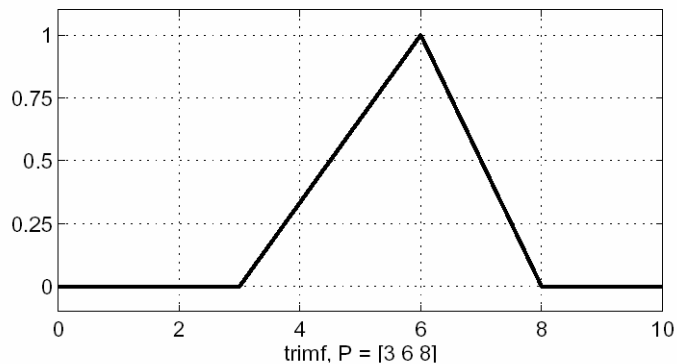


Figura 4. Función de Membresía Triangular

Los parámetros requeridos para definir una función de membresía de este tipo, en MatLab son los puntos en los que se unen las líneas que la conforman. Es decir $[a \ b \ c]$; donde a es primer punto hasta el cual la función es cero (0), b es el punto en que la función vale uno (1) y c es el punto en que vuelve a ser cero (0) (al recorrer la función de izquierda a derecha).

7.1.3.2. Función Trapezoidal.

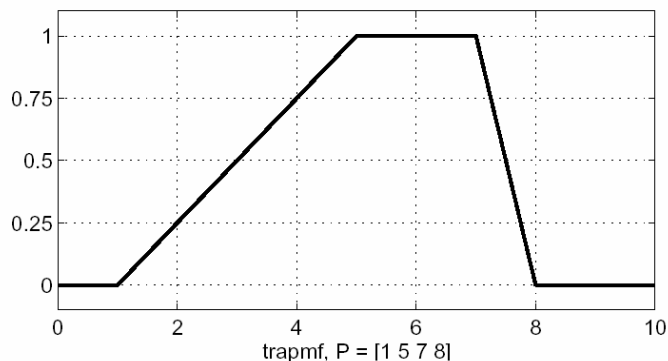


Figura 5. Función de Membresía Trapezoidal

De manera semejante a la de la función triangular, la función trapezoidal recibe como parámetros, en su definición, los puntos en que se unen las líneas rectas que la constituyen. Si se toman sus parámetros como $[a \ b \ c \ d]$ y se recorre la función de izquierda a derecha, se tiene que a es el primer punto hasta el cual vale cero (0), b es el primer punto en que vale uno (1), c es el último punto con valor de uno (1) y d es el punto en el cual la función regresa a cero (0).

7.1.3.3. Curva de Gauss.

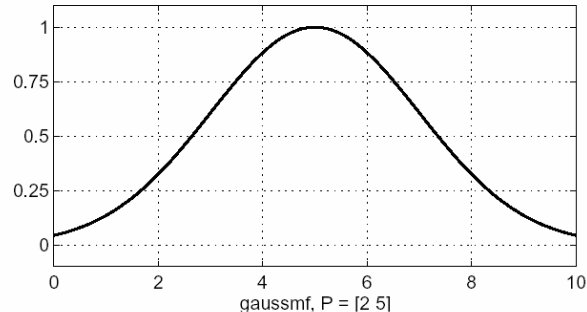


Figura 6. Función de Membresía Gaussiana

La curva gaussiana tiene la ventaja de representar una variación suave de la membresía a lo largo de todo el dominio, esto debido a su continuidad, derivabilidad y a que nunca llega a valer cero (0). Los parámetros que recibe son dos, el primero indica la amplitud o apertura de la curva sobre el eje horizontal y el segundo indica el punto del eje "x" sobre el cual se ubica el centro de la función.

Las variadas formas de las funciones de membresía permiten adoptar aquella que se ajuste mejor a las consideraciones y observaciones derivadas de la experiencia del especialista consultado en cada problema.

Para el particular, se tomaron las siguientes funciones:

- **Propina:** Tres funciones triangulares con parámetros [0 5 10], [10 15 20] y [20 25 30]; que corresponden a "baja", "promedio" y "generosa", respectivamente.
- **Comida:** Dos funciones trapezoidales con parámetros [0 0 1 3] y [7 9 10 10]; asignadas a los valores de "rancia" y "deliciosa", en ese orden.
- **Servicio:** Tres curvas gaussianas para "deficiente", "bueno" y "excelente"; cuyos parámetros son [1.5 0], [1.5 5] y [1.5 10].

7.2 CREACIÓN A PARTIR DEL EDITOR GRÁFICO (GUI)

MatLab dispone de una serie de herramientas gráficas (GUI) para la implementación de FIS. Cada una de ellas permite acceder a las demás a partir de su interfaz. Estas herramientas pueden dividirse entre las de lectura y escritura, y aquellas de sólo lectura.

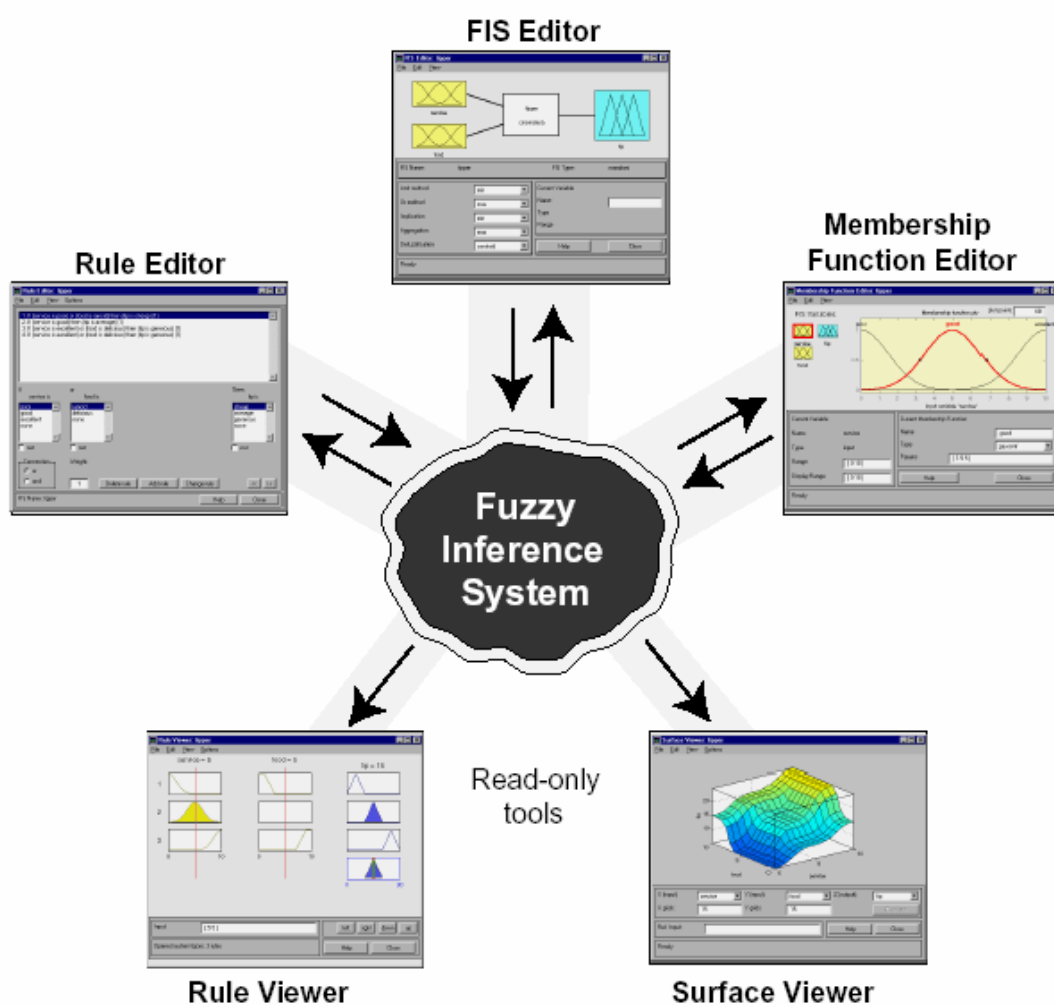


Figura 7. Herramientas GUI para construcción de FIS¹³

El editor de FIS, el editor de Reglas y el editor de Funciones de Membresía constituyen las herramientas de lectura/escritura; permiten lo que concretamente se considera la construcción o implementación del FIS. Por otra parte, el Visor de Reglas y el Visor de Superficie ofrecen los medios para observar el comportamiento del sistema de inferencia, así como las operaciones que realiza sobre todos los valores posibles de todas las entradas posibles para el sistema.

A continuación se presentan, por medio de su participación en el ejemplo aquí tratado (propinas), cada una de las herramientas mencionadas.

7.2.1 Editor de FIS

Debido a la forma en que están dispuestas las herramientas, es posible comenzar la implementación del FIS con cualquiera de ellas, y desde allí avanzar hacia las demás. Sin

¹³ Imagen tomada de: Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, Version 2.1.2. The MathWorks, Inc. MA, 2002.

embargo, para llevar un orden lógico de superior a inferior, primero se va a trabajar con el editor de FIS que permite la configuración general del sistema por medio de parámetros generales.

Al editor de FIS se accede desde la línea de comandos de MatLab con la instrucción:

```
fuzzy
```

Si se proporciona un nombre para el FIS (`fuzzy nombreFIS`), el editor tratará de abrir uno previamente creado y almacenado en un archivo en disco, si no se proporciona un nombre para el FIS, el editor se abrirá para la creación de uno nuevo. En este caso se introduce sin nombre para crear el FIS de propinas.

Una vez abierto el editor de FIS, se observa que por defecto se tiene un FIS de tipo Mandani (un método de representación de reglas) así como una configuración para los métodos empleados en las operaciones lógicas de conjunción, disyunción, implicación, agregación y defuzzificación. Para este caso particular, se dejan todas estas opciones tal como están y se asignan los nombres y cantidades de entradas y salidas del sistema, así como el nombre del mismo.

El sistema por defecto trae una entrada, pero en el caso de las propinas se tienen dos de ellas, el servicio y la comida, así que se procede a agregar una nueva variable de entrada mediante el menú “Edit→Add Variable...→Input”. Ahora se asignan los nombres a cada una de las variables implicadas, para ello se hace clic sobre dichos elementos en el esquema presentado por el editor y en el campo nombre (name), ubicado en la parte inferior derecha, se digita el nuevo nombre para cada uno. Las variables de entrada se llaman (sin importancia de orden) “servicio” y “comida”; y la variable de salida se denomina “propina”.

El nombre para el FIS se asigna únicamente cuando este se exporta como variable en memoria o como archivo en disco, así que para asignar su nombre, se debe guardar el trabajo por primera vez, para ello, se va al menú “File→Export→To Disk...”, en el cuadro de diálogo que aparece se digita el nombre para el FIS, en este caso “fispropinas” y se acepta. Con ello quedan asignados todos los nombres asociados al FIS.

Después de haber nombrado los elementos del sistema, se continúa con la definición de las variables de membresía. Para esto, se hace doble clic sobre cada variable en el editor de FIS, o se puede digitar desde la línea de comandos:

```
mfedit nombre_del_Fis
```

En la ventana del editor de funciones de membresía (membership functions) se sitúan al lado izquierdo, las variables de entrada y salida involucradas en el sistema de inferencia. Cada una de ellas se selecciona haciendo clic sobre el icono correspondiente.

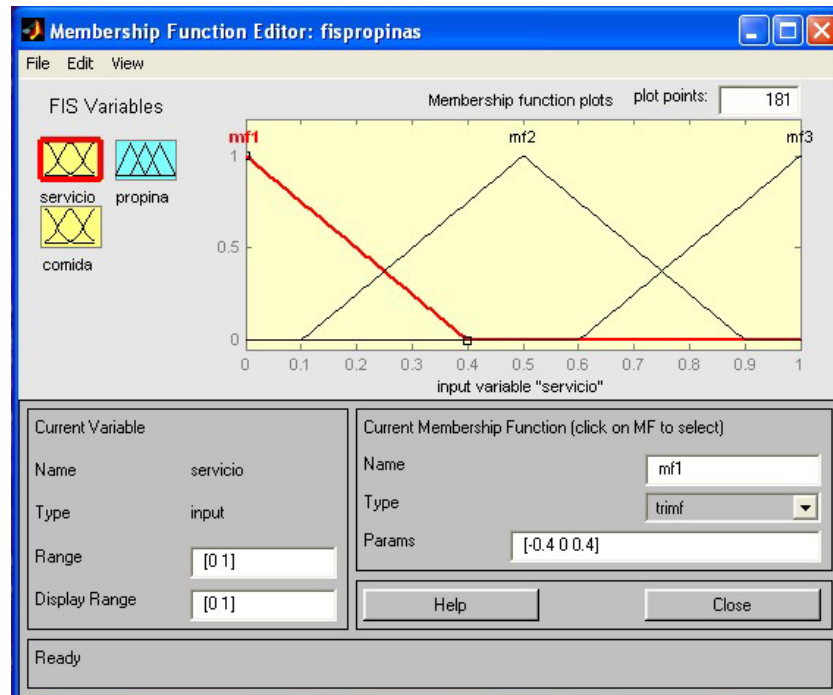


Figura 8. Editor de Funciones de Membresía

La primera variable a definir en este ejemplo es la comida, para ajustar la visualización de la variable a la escala de 0 a 10, se ajusta el rango de la variable y el rango de visualización con valores [0 10], los campos para llevar a cabo dicho ajuste se encuentran en la parte inferior izquierda de la ventana. Por defecto todas las funciones de membresía son triangulares y se tienen tres para cada variable.

En la calificación de la “comida” sólo se requieren dos funciones de membresía, una para “rancia” y otra para “deliciosa”, por lo que se elimina una de las funciones (cualquiera) seleccionándola y accediendo a la opción “Edit→Remove Selected MF”. Para la primera función, que representa la comida “rancia” es de tipo trapezoidal, para hacer la corrección se selecciona la primera función haciendo clic sobre la línea que la representa en la gráfica, se cambia en la pestaña de selección a “trapmf”, se le da como nombre “rancia” y los parámetros [0 0 1 3] cuyo significado se comentó anteriormente dentro de este documento. Luego se repite el mismo procedimiento para la función de “deliciosa” que también es tipo “trapmf”, con parámetros [7 9 10 10].

Para el “servicio”, el rango de la variable también es [0 10], pero se usan las tres funciones, estas son curvas gaussianas, se modifican con la pestaña de selección a “gaussmf” y se cambian los parámetros que se encuentran en la parte inferior de la ventana. Para la calificación de “deficiente”, los parámetros son [1.5 0]; se repite este mismo proceso para las funciones de “bueno” que también es tipo “gaussmf” con parámetros [1.5 5] y para “excelente” que igualmente es “gaussmf” con [1.5 10] como parámetros.

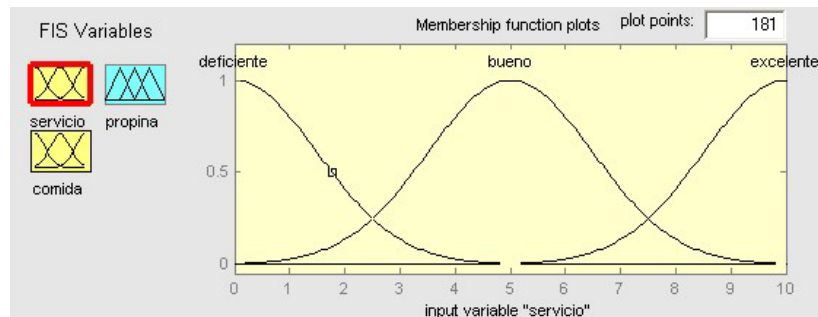


Figura 9. Funciones de Membresía de la Entrada Servicio

La variable de salida “propina” ha sido definida con un rango entre 0% y 30% así que se ajustan sus rangos de representación y visualización a [0 30]. Como ya están presentes las tres funciones triangulares para los valores de “propina”, solamente se necesita cambiar sus nombres y parámetros a “baja” con [0 5 10], “promedio” con [10 15 20] y “generosa” con [20 25 30].

Después de haber definido adecuadamente las variables de entrada y salida con sus respectivas funciones de membresía, se puede llevar a cabo la definición de las reglas de decisión con las que el sistema va a operar sobre las variables de entrada para obtener los valores de las variables de salida. Para ello se recurre al editor de reglas. Al editor se puede acceder desde el editor de funciones o desde el editor de FIS por medio del menú “Edit→Rules...” o desde la línea de comandos con la instrucción:

```
ruleedit nombre_del_Fis
```

La definición de las reglas es bastante intuitiva gracias a su similitud con el lenguaje natural y prácticamente se limita a la transcripción de las reglas enunciadas por el experto. Para la regla número 1 (si el servicio es deficiente, o la comida es rancia, entonces la propina es baja) se seleccionan las variables a relacionar, de la columna “servicio” se señala “deficiente” y de “comida” se toma “rancia”, en la parte conexión (connection) se marca “or” y en “propina” se hace clic sobre “baja”, todo lo demás se deja como está por defecto y se presiona el botón “Add Rule”. Para la segunda regla que sólo toma una variable de entrada (si el servicio es bueno, la propina es un valor promedio), se selecciona “bueno” para “servicio”, para “comida” se toma “none” y para “propina”, “promedio”. En la tercera regla (si el servicio es excelente o la comida es deliciosa, la propina es generosa), se procede tal como se hizo en la primera. Al terminar de definir las reglas, se presiona “close” y se regresa al editor de FIS para guardar el sistema mediante “File→Export→To Disk...”. Con lo que finaliza la creación del FIS.

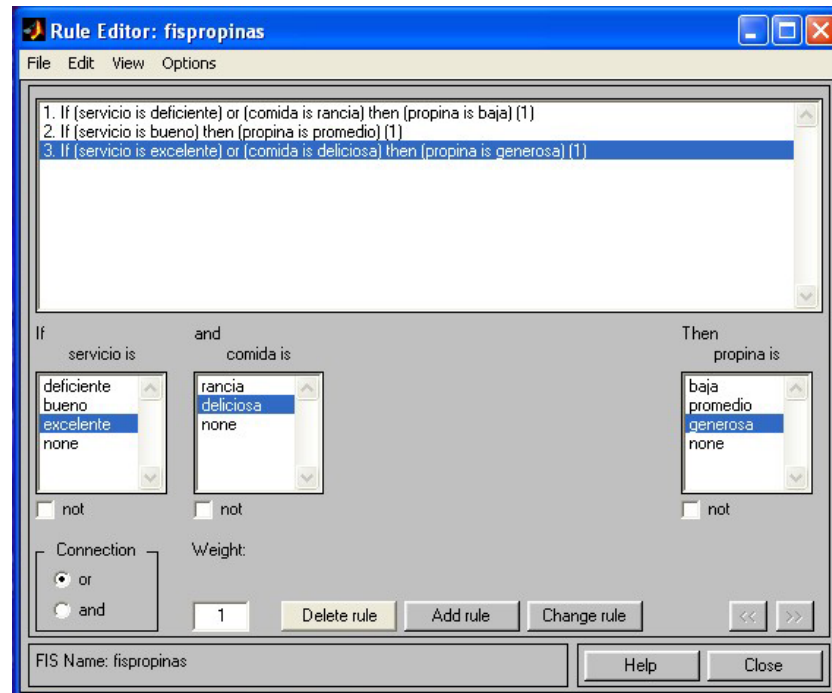


Figura 10. Reglas de inferencia para “fispropinas”

Ahora se puede revisar el funcionamiento del sistema de inferencia desde el “Rule Viewer” o el “Surface Viewer” (ver Figura 4), a los que se accede mediante el menú “View→Rules” y “View→Surface” del “FIS Editor”, respectivamente. También puede llamárseles desde la línea de comandos con las instrucciones:

```
ruleview nombre_del_Fis
surfview nombre_del_Fis
```

Al visualizar las reglas con el “Rule Viewer” se puede manipular de manera directa, los valores para las entradas, ver los resultados parciales para cada una de las reglas y la salida total del FIS.

El “Surface Viewer” ofrece una representación gráfica tridimensional de una salida en función de las entradas seleccionadas del sistema. En este caso, como el sistema recibe únicamente dos entradas y posee una sola salida, se puede apreciar toda la superficie de decisión del FIS.

8. MODELO DINÁMICO DE PRODUCCIÓN Y DEMANDA

Durante el proyecto que sirvió de base para la realización del presente, se planteó un modelo dinámico de producción y demanda sobre el cual se hicieron modificaciones que permitían la introducción de elementos de la rama de la Inteligencia artificial, que buscaba mejorar los resultados del mismo y abrir una ventana para una nueva forma de tratar los problemas con Dinámica de Sistemas realizando un especial énfasis en aquellos que son utilizados como base en la toma de decisiones, a continuación se realizará un recuento del trabajo para posteriormente criticarlo de manera constructiva, especialmente en lo referente al proceso de modelado con el fin de determinar el cambio sufrido por el mismo al realizar la integración entre Dinámica de sistemas e Inteligencia Artificial.

8.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO¹⁴.

El propósito del modelo debe ser bastante claro para el modelador, de esta manera el mismo puede enfocarse en los aspectos relevantes para su construcción e ignorar la información que aunque perteneciente al sistema no será representada debido a que no muestra o agrega algo relevante al resultado final, “Este modelo será utilizado para examinar algunas de las interacciones entre producción, demanda y precio”¹⁵ Parece representar el propósito del modelo.

Dentro de la teoría empleada para obtener conocimiento acerca de la situación a modelar se agrega información proporcionada por la teoría clásica de la economía enseñada en diversos cursos escolares y universitarios, donde se ignoran muchos aspectos para lograr encaminar a los estudiantes y explicarles conceptos básicos acerca de los sistemas de oferta y demanda, así es como se ve que la teoría básica considera que: el inventario no modifica los valores monetarios de los productos, los mercados se consideran perfectamente elásticos¹⁶, el mercado perfectamente competitivo, los consumidores racionales, y la entrada o salida del mercado fácil de realizar por nuevos competidores.

Los economistas además agregan que se puede ignorar factores como los cambios en el gusto de los consumidores, los cambios en el estado de la economía y los cambios a largo plazo de la capacidad de producción, puesto que estas variaciones suceden a mucha menor velocidad que las del precio al consumidor.

8.1.1 Demanda.

“La demanda es la tasa que mide la intención de un consumidor a comprar un producto. La teoría económica sostiene que la demanda depende de dos factores: gusto y

14 Para mayor información sobre el modelo remitirse a “Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones”

15 Proyecto de grado: MODELO CONCEPTUAL GENERALIZADO DE UN SISTEMA PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES, Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Guillermo Luque y Vladimir Pradilla, 2003.

16 Un producto es perfectamente elástico cuando un leve cambio en su necesidad de consumo o en la cantidad en el mercado genera una variación en el precio al consumidor del mismo, en un nivel proporcional al cambio de estado.

capacidad de compra. El gusto, que es el deseo por un bien, determina la voluntad de comprar el producto a un precio específico. La Capacidad de compra significa que para comprar un bien a un precio específico, un individuo debe poseer suficiente dinero o entradas."¹⁷

Si el precio de un producto o servicio es alto, la capacidad de las personas para adquirirlo disminuirá en alguna proporción de acuerdo con el aumento, por tanto la demanda en general disminuirá, en caso contrario si el precio disminuye, más personas podrán obtenerlo, aunque cabe destacar que el mercado se puede saturar, es decir, aunque el costo de adquisición sea cero, no se “venderán” infinitos productos, además el valor no se puede reducir indefinidamente ya que se ignoraría por completo el concepto de negocio, en el cual se busca un margen de utilidad obtenido de la diferencia entre el costo de producir y el precio de venta final al público.

8.1.2 Oferta

“La voluntad y habilidad para proveer bienes determina la acción de los vendedores. Con precios altos, habrá mayor disponibilidad de productos para los compradores. Esto sucede porque los surtidores podrán mantener un beneficio a pesar de los altos costos de producción que pueden resultar de la expansión a corto plazo de su capacidad.”¹⁸

El inventario también modifica el precio al consumidor, puesto que la recuperación del mismo cuando se encuentra en niveles por debajo de lo deseado, ocasiona aumentos en el costo de los artículos, por las diversas políticas empleadas para aumentar la producción, horas extras, contrato de proveedores externos, aumento de la carga sobre la maquinaria existente, etc. El efecto contrario ocurre cuando los inventarios se encuentran en un nivel muy alto, puesto que mantener el producto almacenado cuesta dinero.

8.1.3 La interacción entre la oferta y la demanda.

Las dos fuerzas reguladoras de mercados interactúan de manera directa modificando los precios hasta que se alcance un equilibrio, si existe demasiada oferta los precios caerán, ocasionando mayor demanda, que generara a su vez mas producción, lo que aumentara los precios, que a su vez disminuirá la demanda, y así sucesivamente hasta que se alcance un estado en el cual el suministro y la venta de productos se estabilice (Figura 11) y no sean modificados excepto por un cambio brusco ocasionado por un elemento externo al sistema.

17 Traducción textual de road maps D-4388 Pág. 6.

18 Traducción textual de road maps D-4388 Pág. 8.

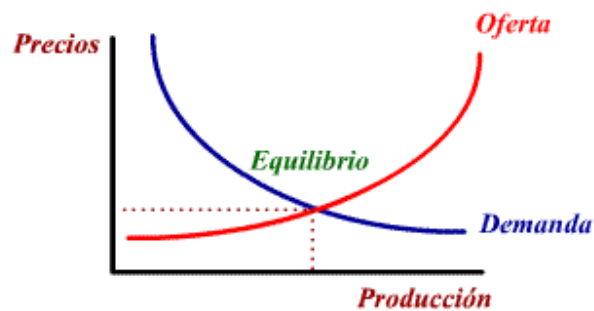


Figura 11. Equilibrio entre oferta y demanda

8.2 EL MODELO

Los economistas definen que el precio determina la producción y la demanda, además de este aspecto, las personas que trabajan con dinámica de sistemas creen que la disponibilidad de un producto, más que su tasa de producción, afecta el precio de mercado y la demanda. Esto significa que el inventario (o la reserva) de un producto es un factor importante al momento de fijar el precio y la regulación de demanda. El modelo construido para el proyecto anterior era un híbrido de estas opiniones, al estar basado en el modelo propuesto por Joseph Whelan y Kamil Msefer en el documento de road maps D-4388, paginas 13 a la 20, con unas modificaciones creadas a partir de la información obtenida de un distribuidor local de repuestos para vehículos y usando la información de un producto en particular, el producto escogido para la construcción del modelo es "llantas para motocicletas marca Bridgestone, referencia 250/17 RS-10".

tiene la expectativa de demanda sobre la demanda real. A su vez, esta expectativa está dada por un efecto en la demanda, cualitativo, ocasionado por la variación del precio de venta en pesos del producto.

Debido a que el interés de las personas se manifiesta sobre el precio en pesos de las llantas y se desea realizar una simulación a lo largo de diferentes meses, no se puede mantener de manera constante un valor tan cambiante como la Tasa Representativa del Mercado, por tanto la misma es construida con base a datos recopilados con anterioridad y se realizó una simulación en un periodo de tiempo pasado.

El precio de venta se maneja como un nivel que representa una acumulación de variaciones. Estos cambios (al precio de venta) están determinados por el precio deseado y por una constante que genera un retardo en la aplicación de la variación sobre el precio de venta.

El precio deseado es modificado por el precio real de venta y el efecto que tiene la razón de inventario sobre este precio, dicha razón es un porcentaje entre el inventario real que se posee y el inventario deseado.

La periodicidad de abastecimiento es de dos meses que es el tiempo que se demora en llegar un pedido, sin embargo se ve que los pedidos se realizan cada mes basados en la política de la empresa de mantener un inventario 300 unidades superior a la demanda, lo que brinda un flujo constante de producto.

8.3 CRÍTICAS

8.3.1 Descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales.

8.3.1.1. Identificación del cliente y propósito. En este aspecto se nota con especial énfasis la debilidad del modelo presentado, revisando el documento del proyecto anterior se encontró que el modelo no tiene propósito estrictamente definido. Se puede decir que posee una finalidad implícita dada por los objetivos mismos del proyecto pero dentro del mismo ítem no se pretende dar solución a ningún tipo de problema y la frase que más se asemeja a un objetivo del modelo, “este modelo será utilizado para examinar algunas de las interacciones entre producción, demanda y precios” deja muchos vacíos a la hora de determinar “cliente”, interesados en el modelo, límites, bases, etc.

La teoría básica presentada es buena, pero carece de enfoque, ocasionado por las deficiencias del punto anterior, además no se muestra de qué manera se crea el modelo a partir de esta información, y de qué manera existen relaciones entre los diferentes elementos, no existe ningún tipo de evolución en este aspecto ya que se dio por finalizado el proceso sin mostrar los diferentes descubrimientos que se hicieron durante el modelado.

No se mostró de qué manera los datos proporcionados por la fuente (el distribuidor) afectan la creación del modelo, puesto que se parten de ciertas suposiciones que aunque

ciertas para los modelos de oferta y demanda puede no aplicarse al producto ofrecido, al tipo de negocio de la empresa o al mercado existente en general, además la inclusión de esta información agrega elementos al modelo y relaciones puesto que factores como la tasa de cambio se observan indispensables al momento de modelar; si por el contrario se buscaron al final de la construcción del modelo para una fase posterior, habría hecho falta determinar cuales eran los productos o empresas que serian ideales para observar el comportamiento sugerido.

Tampoco se indicó el método para la elaboración del modelo, aunque se podría suponer que el empleado es el prototipado evolutivo de acuerdo a lo sugerido por diversos autores en la teoría de sistemas dinámicos, debe hacerse explicito, puesto que en este caso no se mostró el trabajo continuo de mejoramiento o solo se realizo el primer prototipo y no se indicaron posibles mejoras al modelo. En caso que no se haya empleado esa metodología, no se indicó haya sido usada en su reemplazo.

8.3.2 Diagrama causal

Aparentemente influenciados por la literatura seleccionada (Road maps), los autores decidieron ignorar completamente esta etapa del modelado, y no construyeron ningún diagrama causal o decidieron no presentarlo en el documento entregado.

8.3.3 Definición precisa de cada magnitud: código de variables

La descripción de las variables se realizó posterior a la entrega final del modelo, y como información descriptiva para el lector, no se ve como un apoyo al proceso creador del modelo, tampoco se creó una tabla que facilitara la consulta rápida.

8.3.4 Diagrama de Forrester o diagrama MDS

A pesar de que el modelo estaba bien construido, es decir, se incluyeron todos los elementos, es ordenado, está bien distribuido en el espacio de trabajo, y es acorde con las prácticas de la Dinámica de Sistemas en cuanto al lenguaje de modelado; no se aprovecharon todas las herramientas proporcionadas por el software de apoyo pues no se agregó ningún tipo de descripción de las variables que facilitaran su comprensión o las unidades respectivas que hicieran cómoda una verificación de consistencia dimensional.

8.3.5 Sistema de ecuaciones

Fueron agregadas empleando las facilidades proporcionadas por el software utilizado para crear el modelo y correr la simulación, evolución 3.5, pero el mismo rompe el orden implícito propuesto por los textos acerca de la materia y en lugar de mostrar niveles, flujos, variables auxiliares, multiplicadores presenta las ecuaciones en orden alfabético de acuerdo con los nombres dados en el modelo. Al exportar las ecuaciones del modelo con la herramienta de apoyo al modelado, Evolución, los niveles se presentan no como una ecuación definicional basada en los flujos de entrada y salida, sino como un número que indica su valor inicial para la simulación.

Durante esta etapa también se define la forma que presentarán los multiplicadores o las relaciones no lineales, esto se puede observar en los datos usados para los mismos, pero no se muestra la forma como se llegó a estos valores, se puede decir que el proceso intermedio fue omitido.

8.3.6 Calibrado

Este aparte se considera externo a la creación del modelo pero para el propósito de este proyecto de grado se debe incluir de qué manera se consiguió la información aunque el grupo de trabajo no haya participado en dicho proceso o recolección de datos.

8.3.7 Análisis de sensibilidad

No se efectuó ningún tipo de análisis de sensibilidad al modelo, o no se incluyó dentro del documento final, la única variación que se realizó fue la modificación ocasionada por la inclusión de las técnicas de Inteligencia Artificial.

8.3.8 Evaluación del modelo

El contraste entre los resultados de la simulación y datos históricos recopilados, que es el proceso habitual para la evaluación de un modelo de Dinámica de Sistemas, no se encuentra presente en ningún lugar del documento y tal vez haya sido ignorado dada la dificultad de acceder, en el caso de que existiera, a ese tipo de información en un negocio legalmente establecido. Lo más cercano a una evaluación del modelo se llevó a cabo de manera posterior a la inclusión de los sistemas de inferencia difusa y consistió en comparar de manera gráfica el comportamiento del modelo obtenido antes y después de efectuar dicha integración y la respectiva explicación de las causas de las discrepancias encontradas.

8.3.9 Utilización del modelo

No se plantearon usos para el modelo, y esto se ve claramente influido por la falta de un propósito preciso en el mismo. Dada la inexistencia de un uso claro del modelo, no tenían ninguna razón para crear escenarios de simulación diferentes al original, puesto que no se pretendía realizar ningún cambio en la estructura del negocio o evaluar una política diferente para la importación del producto.

8.4 MODIFICACIONES AL MODELO

Dado que el propósito del presente trabajo no consiste en construir un nuevo modelo sino en mejorar el ya existente no se agregará de nuevo toda la teoría necesaria para la construcción del mismo, sino sólo apartes que aclaren los conceptos nuevos que se integrarán al modelo o darán explicación a los cambios implementados. De la misma forma no se recopilarán datos nuevos sino se agregarán las nuevas tasas de cotización del dólar para mejorar la calidad de los datos al tener información de un mayor periodo de tiempo.

8.4.1 Descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales.

Para iniciar, uno de los aspectos que más necesita trabajo es la definición del cliente y el propósito del modelo. Como grupo investigador externo a la empresa que facilitó los datos, lo más adecuado será realizar un análisis de las políticas de inventarios trabajadas en dicha compañía teniendo en cuenta su efectividad a la hora de satisfacer al cliente y el nivel de utilidades arrojadas por las mismas.

A pesar de esto podemos afirmar que el cliente, contrario a lo que se podría suponer, no es la empresa ni los miembros de la misma sino el grupo desarrollador del modelo, puesto que el interés se presenta en ellos al tratar de entender el funcionamiento de un sistema económico general empleando para ello un modelo basado en un caso particular de una organización y más específicamente de un único producto, en un área definida de acción, y luego observar los cambios que se deben incluir en el modelo para introducir los tópicos de inteligencia artificial que permitirán mejorar los resultados en la simulación y, de ser posible, en la manera misma de construir el modelo.

8.4.1.1. La elasticidad del mercado. El mercado de un producto puede considerarse elástico o inelástico basado en los cambios que sufre su precio con respecto a la oferta y la demanda, se puede afirmar que un producto es perfectamente elástico cuando un leve cambio en su necesidad de consumo o en la cantidad en el mercado genera una variación en el precio al consumidor del mismo, en un nivel proporcional al cambio de estado. Un producto como los repuestos de los vehículos no está sujeto a este tipo de variaciones sensibles puesto que su demanda esta ligada a un factor externo que es la cantidad de vehículos que utilizan dicha parte, por lo tanto no se puede afirmar que la demanda del producto seleccionado (llantas para motocicleta), vaya a presentar cambios apreciables en función del precio de venta, por este motivo la demanda debe separarse del modelo y ser agregada como una variable exógena sobre la cual no se tiene ningún control por parte de la empresa.

8.4.1.2. La competencia. Dado que la demanda no juega un papel esencial al momento de proyectar el mercado, ¿Cuáles son los riesgos en los que se incurre al subir de manera exagerada el precio del producto?, la competencia. En un mercado perfectamente competitivo el precio de referencia esta dado por la capacidad de ofrecer a los clientes productos y servicios de una calidad razonable y de preferencia a menor o igual precio que los competidores inmediatos, dada la existencia de un mercado calculable la principal preocupación de una empresa debe ser quedarse con el mayor porcentaje del mismo, este valor conocido como porcentaje de participación es la variable que determina el éxito de una campaña publicitaria, una reducción en los precios al consumidor, una mejora en la atención al cliente, etc. En este caso en particular la única variable que se tuvo en cuenta como punto de comparación fue el precio de venta del distribuidor.

8.4.1.3. Los pedidos y las entregas. Realizar un pedido cuesta dinero, almacenar un producto cuesta aun más, pero no poder satisfacer la necesidad de un cliente de un bien que se espera que se posea, puede que no sólo cueste la venta sino al cliente mismo y sus posibles compras en un futuro, es buscando una relación costo/beneficio aceptable que se determinan las estrategias de inventarios de una organización. A pesar de la gran cantidad de material que se encuentra sobre las políticas JIT(Just In Time), los negocios

en la ciudad de Bucaramanga y Colombia en general, aún no se acercan a los altos estándares que se necesitan para trabajar con una política de inventarios cero, por otro lado, debido a los altos costos de importación de un producto como el seleccionado se hace más sencillo y barato realizar un pedido el día de la entrega de la orden anterior solicitando existencias suficientes para suplir las necesidades del cliente durante las siguientes semanas necesarias para la siguiente entrega, como ya se expuso, los periodos entre entregas dados por el proveedor utilizado en la actualidad son de ocho (8) semanas o dos (2) meses.

Con base en estos datos se debe generar un subsistema que permita la realización de pedidos bimensuales lo suficientemente grandes para satisfacer las necesidades de los clientes, pero no tan amplios que fueren a un encarecimiento de los costos por mantenimiento de inventarios, la solución se presentó al tratar de satisfacer en lo posible a los clientes con los inventarios preventivos, escuchar sus solicitudes y tenerlas en cuenta a la hora de realizar nuevos pedidos, sin importar que estos fueran mayores que las ventas actuales.

8.4.1.4. La metodología. La metodología que se empleará para la creación del modelo es el prototipado evolutivo, que es la más común para este tipo de construcciones y presenta muchas facilidades, siendo la más destacada al permitir la continuidad del trabajo anterior aprovechando los elementos más relevantes del mismo. Por motivos de espacio y sencillez no se presentarán las diferentes evoluciones del prototipo, sólo se mostrará el resultado final y se realizarán sugerencias para futuras mejoras; puesto que el propósito es asimilar conceptos básicos y evaluar políticas, no se pretende ser muy exhaustivo en el modelo final y se deja mucho espacio para la exploración en este campo.

8.4.2 Diagrama Causal

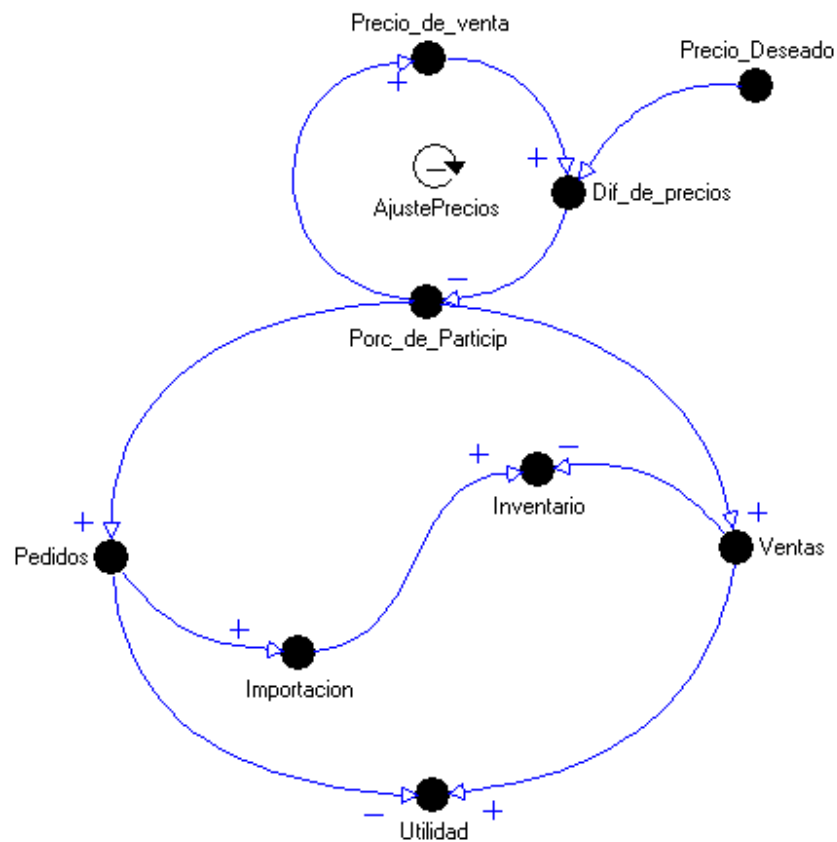


Figura 13. Diagrama causal del modelo modificado de oferta y demanda

8.4.3 Definición de magnitudes:

TIPO	NOMBRE MODELO	EN	EL	DEFINICIÓN O NOMBRE COMPLETO	UNIDADES
N	INVENTARIO			Inventario del producto	Llantas
N	PCOMPRA_US			Precio de Compra en dólares de las Llantas	Dólares
N	PVENTA_US			Precio de venta al consumidor en dólares	Dólares
N	A_PEDIR			Unidades a Pedir cada 8 semanas	Llantas
N	UTILIDAD_AC			Utilidad Acumulada por el negocio	Pesos
F	Importación			Cantidad de Llantas importadas al inventario	Llantas semana /
F	Ventas			Ventas semanales a los clientes	Llantas semana /

F	Var_precio	Variación en el precio de venta	Dólares / semana
F	Var_precio_int	Variación en el precio de compra	Dólares / semana
F	Solicitud	Solicitud de unidades a los proveedores	Llantas / semana
F	Cant_importar	Cantidad a pedir a los proveedores	Llantas / semana
F	Utilidad_semana	Utilidad semanal	Pesos / semana
A	Ingresos	Ingresos	Pesos / semana
A	Egresos	Egresos	Pesos / semana
A	P_deseado_us	Precios deseado en dólares	Dólares
A	Dif_precio_peso	Diferencia de precio entre lo deseado y lo ofrecido	Pesos
A	Porc_particip	Porcentaje de participación	Adimensional
P	Costos_fijos_us	Costos fijos de funcionamiento en dólares	Dólares
P	Inflacion_usa	Inflación de los estados unidos	Adimensional
P	Utilidad	Utilidad deseada	Adimensional
P	Inflacion_col	Inflación colombiana	Adimensional
P	Max_variacion	Máxima variación de precio permitida	Dólares
T	Efecto_precio	Efecto en el precio del cambio en el PP	Adimensional
T	Efecto_particip	Efecto en la participación de la diferencia de precios	Adimensional
E	TRM	Tasa representativa del Mercado	Pesos / dólar
E	Demanda	Demanda de llantas del mercado	Llantas / semana
R	Retardo_import	Retardo de importación	Llantas / semana

Tabla 1. Código de variables del modelo modificado de oferta y demanda

8.4.4 Diagrama de flujo-Nivel

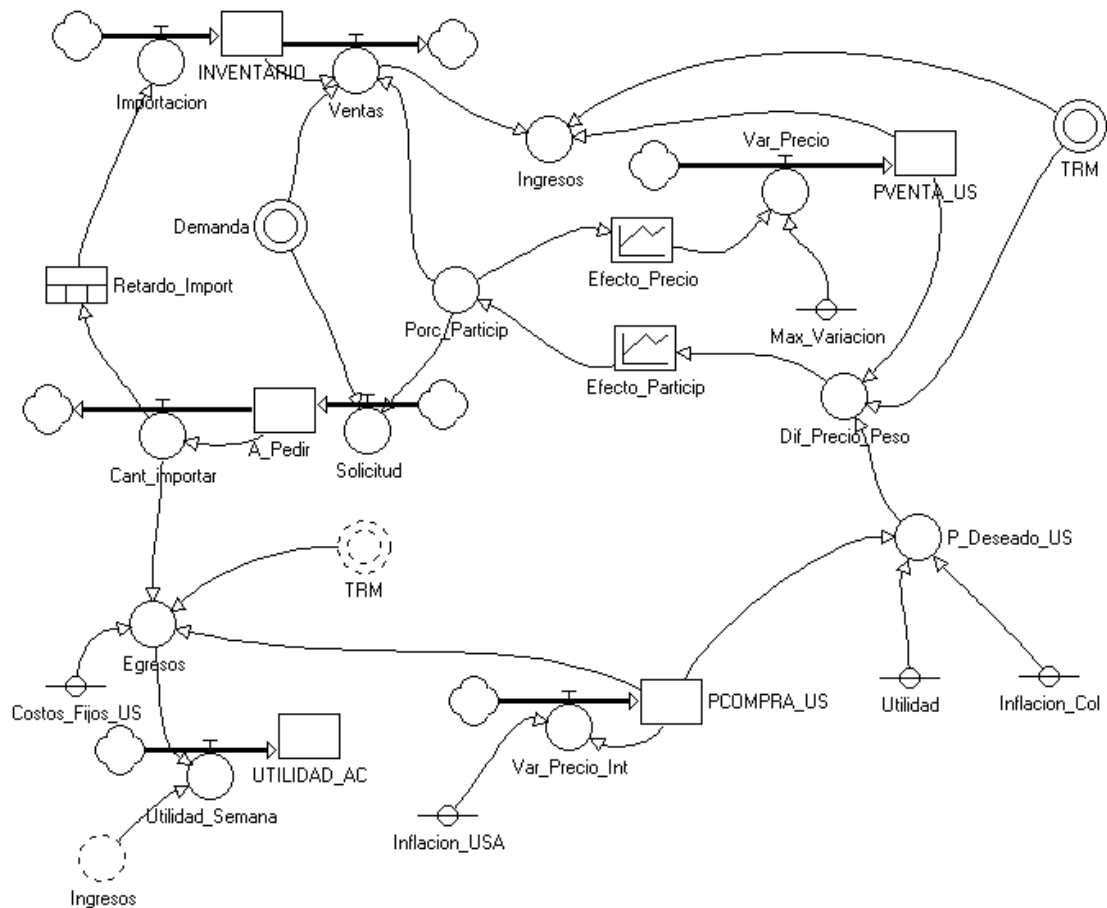


Figura 14. Diagrama de Flujo-Nivel del modelo modificado de oferta y demanda

8.4.5 Sistema de Ecuaciones

8.4.5.1. Niveles.

	Nombre:	INVENTARIO
	Definición:	$INVENTARIO(T) = INVENTARIO(T-1) + DT(Importación - Ventas)$
	Nombre:	PCOMPRA_US
	Definición:	$PCOMPRA_US(T) = PCOMPRA_US(T-1) + DT(Var_Precio_Int)$
	Nombre:	PVENTA_US
	Definición:	$PVENTA_US(T) = PVENTA_US(T-1) + DT(Var_Precio)$
	Nombre:	A_PEDIR
	Definición:	$A_PEDIR(T) = A_PEDIR(T-1) + DT(Solicitud - Cant_Importar)$
	Nombre:	UTILIDAD_AC
	Definición:	$UTILIDAD_AC(T) = UTILIDAD_AC(T-1) + DT(Utilidad_Semana)$

8.4.5.2. Flujos.

→	Nombre:	Importación
	Definición:	Retardo_Import
→	Nombre:	Ventas
	Definición:	IF(DEMANDA * Porc_Particip <= INVENTARIO, DEMANDA * Porc_Particip, INVENTARIO)
→	Nombre:	Var_Precio
	Definición:	Efecto_Precio * Max_Variacion
→	Nombre:	Var_Precio_Int
	Definición:	PCOMPRA_US * Inflacion_USA
→	Nombre:	Solicitud
	Definición:	DEMANDA * Porc_Particip
→	Nombre:	Cant_importar
	Definición:	IF(MOD(t,8)=0, A_Pedir, 0)
→	Nombre:	Utilidad_Semana
	Definición:	Ingresos - Egresos

8.4.5.3. Auxiliares.

○	Nombre:	Ingresos
	Definición:	PVENTA_US * Ventas * TRM
○	Nombre:	Egresos
	Definición:	(PCOMPRA_US * Cant_Importar + Costos_Fijos_US) * TRM
○	Nombre:	P_Deseado_US
	Definición:	(1 + Utilidad + Inflacion_Col) * PCOMPRA_US
○	Nombre:	Dif_Precio_Peso
	Definición:	(PVENTA_US - P_Deseado_US) * TRM
○	Nombre:	Porc_Particip
	Definición:	Efecto_Particip

8.4.5.4. Tablas.

Efecto_Precio. Debido a la falta de datos de la manera como reaccionará el mercado, es imposible definir en este momento los valores exactos de la tabla que representará el concepto de la variación en el precio de venta, sin embargo se puede afirmar sin miedo a equivocarse, que un aumento en el porcentaje de participación del mercado permite a la empresa aumentar los precios de manera moderada para tratar de conseguir más ganancias sin temor a perder un número significativo de clientes. Los datos de salida de esta tabla representan un porcentaje de un valor máximo de cambio en el precio, que mostrará pequeños saltos en los precios que corresponde con la manera en que se realizan los cambios a los precios de los productos.

Efecto_Participación. De la misma manera que una variación en el porcentaje de clientes atendidos por la empresa de un total que representa el mercado, afecta directamente el precio del producto regulándolo; los clientes toman decisiones respecto a qué empresa seleccionar entre la gama de posibilidades, como único criterio de selección

se presenta para este caso la diferencia entre el precio de venta del importador y el de la competencia en pesos, puesto que éste es el valor que el consumidor final percibe, esta tabla se moverá alrededor del punto neutro, cero pesos (\$0), presentando una caída dramática con una diferencia por encima muy alta y viceversa.

8.4.5.5. Retardos. Desde el momento en que se hace la solicitud de nueva mercancía al exterior, hasta el momento en que se recibe en Colombia e ingresa al inventario del importador, transcurre un tiempo de ocho (8) semanas, cumplido este tiempo se lleva a cabo el desembarque de todo el lote de llantas solicitadas.

☐ Nombre: Retardo_Import
Definición: RETARDO(Cant_Importar,8,8,0)

8.4.6 Calibrado

El caso que se esta examinando posee unos parámetros de sencilla definición y unas tablas que se ven muy afectadas por las decisiones humanas que por supuesto agregan mayor complejidad a la situación en si, además tienen en cuenta políticas de la empresa que deben verse expresadas por las mismas.

8.4.6.1. Parámetros

Costos Fijos en Dólares. Para nadie en un secreto que para producir dinero se requiere invertir dinero, esta inversión se ve representada en los costos del negocio, y estos a su vez divididos en fijos y variables, los variables son aquellos ligados directamente con el producto y que se ven afectados por la cantidad del mismo que se desea adquirir o producir, los costos fijos son aquellos que son independientes de la cantidad de mercancía solicitada, entre estos se pueden contar el alquiler del local, el sueldo de los empleados administrativos, los servicios públicos, etc. Para la simulación inicial estos serán considerados cero (0).

☐ Nombre: Costos_Fijos_US
Definición: 0

Inflación en los Estados Unidos. Esta inflación modifica el precio de compra en dólares de las llantas, y es un valor minúsculo puesto que se determina semanalmente y la inflación en los países industrializados es de por si muy pequeña. Se calculó dividiendo la inflación acumulada del año en el número de periodos de la unidad de tiempo a emplear contenidos en un año en este caso la semana.

☐ Nombre: Inflacion_USA
Definición: 0.00048

Utilidad deseada para el negocio. Todo negocio debe generar una cantidad de dinero, este valor medido en porcentaje es conocido como la tasa de retorno de la actividad, y debe superar las demás posibilidades presentadas para el uso del capital invertido, este valor es valido tanto para la empresa como para la competencia, pues valores inferiores del mismo pondrían en riesgo la continuidad del ejercicio de determinada actividad económica

☞ Nombre: Utilidad
Definición: 0.25

Inflación en Colombia. La tendencia inflacional en Colombia, tras muchos años de trabajo, se ha logrado consolidar con un valor “estable” con tendencia a la baja año tras año. Sin perder generalidad se puede examinar el valor semanal de este parámetro como una constante a lo largo de los cinco años en los que se revisará la simulación.

☞ Nombre: Inflacion_Col
Definición: 0.00115

Máxima variación en el precio de venta. El importador manipula el precio de venta de su mercancía para responder a la competencia, sin embargo no se hacen modificaciones de manera muy seguida ni en valores muy pequeños puesto que esto generaría un costo adicional por cuestiones de procedimiento. Dicha modificación se hace en función de un porcentaje de una variación máxima que el comerciante se puede permitir semana tras semana sin alejar al cliente debido a las fluctuaciones en el mercado.

☞ Nombre: Max_Variación
Definición: 1

8.4.6.2. Variables Exógenas

Tasa Representativa del mercado. Esta dada por los valores del dólar a lo largo de un periodo de tiempo, éste varía diariamente al ser determinado por variables macroeconómicas externas, para el uso en este modelo se obtuvieron los valores promedios del dólar para cada semana de un periodo prolongado, de manera que sin mayores complicaciones se pueda simular el sistema ubicado en diversos espacios de tiempo sin agregar por ello mayor dificultad al mismo, de la misma manera se puede modificar realizando proyección estadística a corto plazo para observar la forma como esta variable afecta el problema.

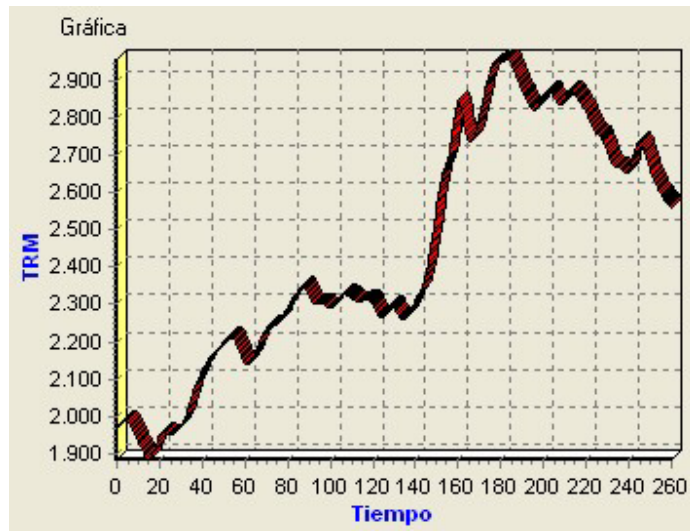


Figura 15. Tasa Representativa del Mercado (TRM)

- ⊙ Nombre: TRM
Definición: INTSPLINE(2,0,4,1967.15,1988.40,1957.72,1906.63,1886.40,1948.80,1951.58,1958.98,1998.99,2069.47,2122.59,2159.68,2182.59,2210.93,2193.90,2141.72,2161.96,2215.82,2244.05,2251.62,2293.64,2330.09,2346.49,2303.46,2304.83,2289.68,2317.43,2325.59,2310.36,2311.82,2300.65,2264.12,2296.66,2271.04,2265.77,2313.27,2361.20,2488.45,2632.85,2715.85,2846.12,2752.24,2762.87,2856.93,2941.68,2952.57,2955.10,2900.98,2852.89,2821.92,2863.85,2868.10,2835.90,2875.30,2854.00,2815.97,2766.24,2741.22,2678.80,2666.42,2660.38,2733.45,2700.11,2631.58,2589.54,2558.89)

La Demanda. La necesidad del producto importado corresponde con los requerimientos de una población de personas que conforman el mercado. Este conjunto de usuarios no tiene un tamaño fijo sino que varía en el tiempo. La tabla Demanda representa la cantidad de llantas que el mercado requiere en cada semana y determina, junto con el porcentaje de participación, la cantidad de llantas que le serán solicitadas al importador.

- ⊙ Nombre: Demanda
Definición: INTSPLINE(0,0,13,1500,1510,1520,1550,1480)

8.4.6.3. Tablas

Efecto_Precio. La entrada es un porcentaje del total del mercado posible que es controlado por el importador, como se dijo previamente, se considera una distribución igualitaria de la demanda entre los cinco distribuidores locales del producto de tal forma que una entrada del 20% generará una modificación en el precio igual a cero (0); una caída sustancial en el porcentaje de participación generará modificaciones extremas en el

precio incluso del doble del máximo establecido, y un aumento en el porcentaje permitirá incrementar el precio hasta el máximo preestablecido; para los extremos de la tabla se considera que se mantienen las políticas pero no se espera que se lleguen a presentar casos fuera de los límites propuestos.

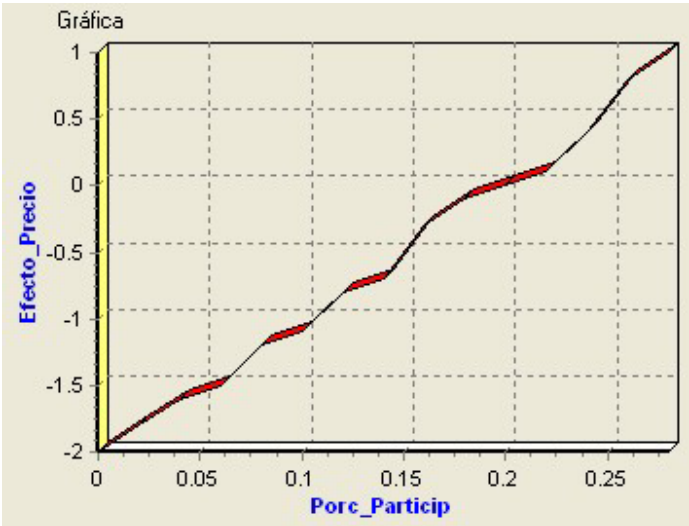


Figura 16. Efecto del porcentaje de participación sobre el precio de venta

Nombre: Efecto_Precio
Definición: INTLINEAL(2,0,0.02,-2,-1.8,-1.6,-1.5,-1.2,-1.1,-0.8,-0.7,-0.3,-0.1,0,0.1,0.4,0.8,1)

Efecto_Participación

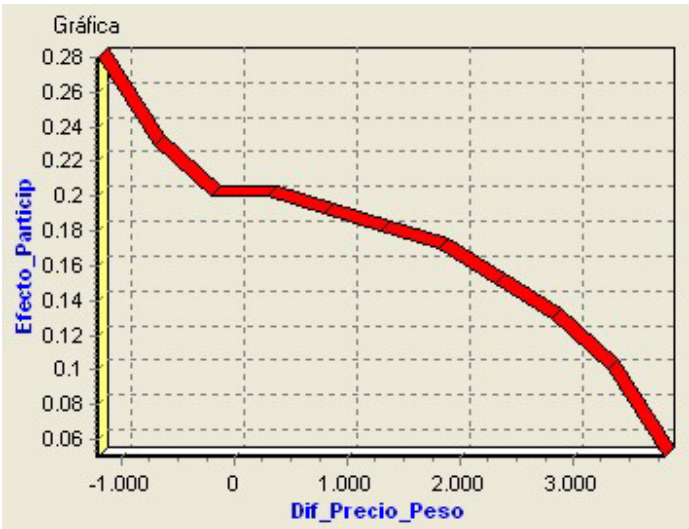


Figura 17. Efecto de la diferencia de precios con la competencia sobre el porcentaje de participación del importador

El rango perceptible por el público es mucho mayor que el que es relevante presentar en la tabla Efecto_Particip puesto que una pequeña diferencia de precios a favor (importador < competencia) genera un aumento en el flujo de clientes, mientras que la diferencia de precios en contra (importador > competencia) debe ser reflejada de manera más minuciosa debido a que esta variación es crítica para el negocio.



Nombre: Efecto_Particip

Definición: INTLINEAL(2,-1200,500,0.28,0.23,0.2,0.2,0.19,0.18,0.17,0.15,0.13,0.1,0.05)

8.4.7 Análisis de Sensibilidad

Realizar un análisis de sensibilidad de acuerdo a como lo plantea la teoría es demasiado dispendioso para los fines de este modelo y aunque se realizaron muchas pruebas a continuación se presentan sólo algunas de ellas, las que a criterio del modelador presentan una mayor relevancia ya sea por la importancia de la variable dentro del modelo o por los resultados obtenidos al realizar la modificación.

Para poder realizar cualquier tipo de comparación se debe tener un punto de referencia el cual se denominará “funcionamiento normal del modelo”, también designado en el conjunto de escenarios como “Por Defecto”, y estará compuesto por la representación gráfica de por lo menos tres (3) de las variables relevantes del sistema estudiado. La simulación se hará para un periodo de 260 semanas lo que representa un total de 5 años de actividades de la empresa. Las modificaciones que se presentan son de carácter unitario, es decir, cada una de ellas corresponde con una variación de un solo parámetro a la vez.

8.4.7.1. Variación del Inventario Inicial. La primera modificación a las variables endógenas del sistema consiste en cambiar el valor inicial del inventario en 1000 unidades por encima del valor “normal” y 1000 unidades por debajo del mismo valor. Esta variación representa un cambio de $\pm 33\%$ lo cual es bastante drástico e irrealista para una alteración en las políticas de inventario de una empresa, pero permite determinar la sensibilidad del modelo a un cambio brusco por encima y por debajo.

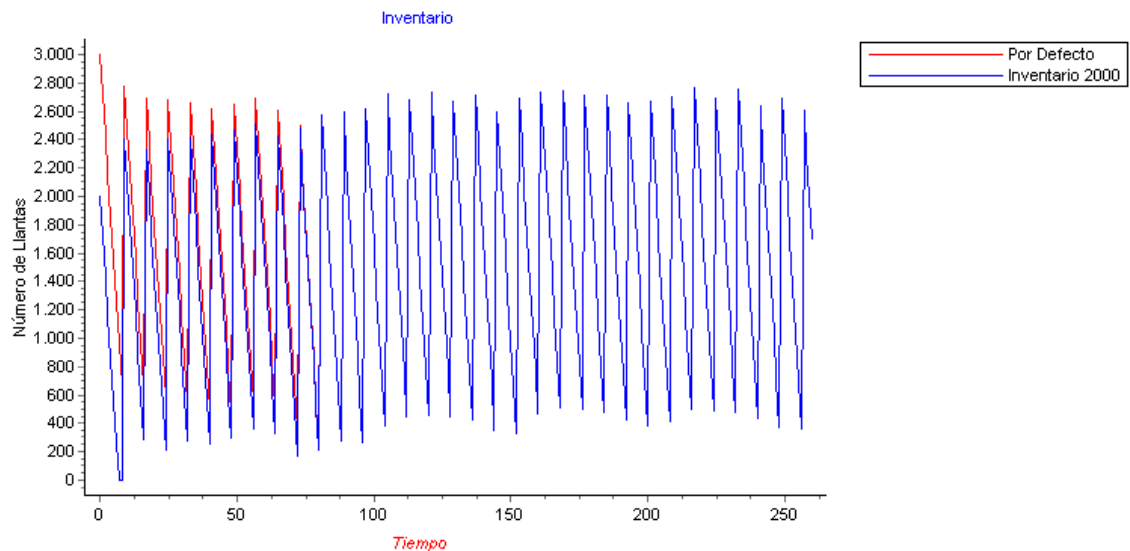


Figura 18. Comportamiento del Inventario con Variación del Inventario (2000)

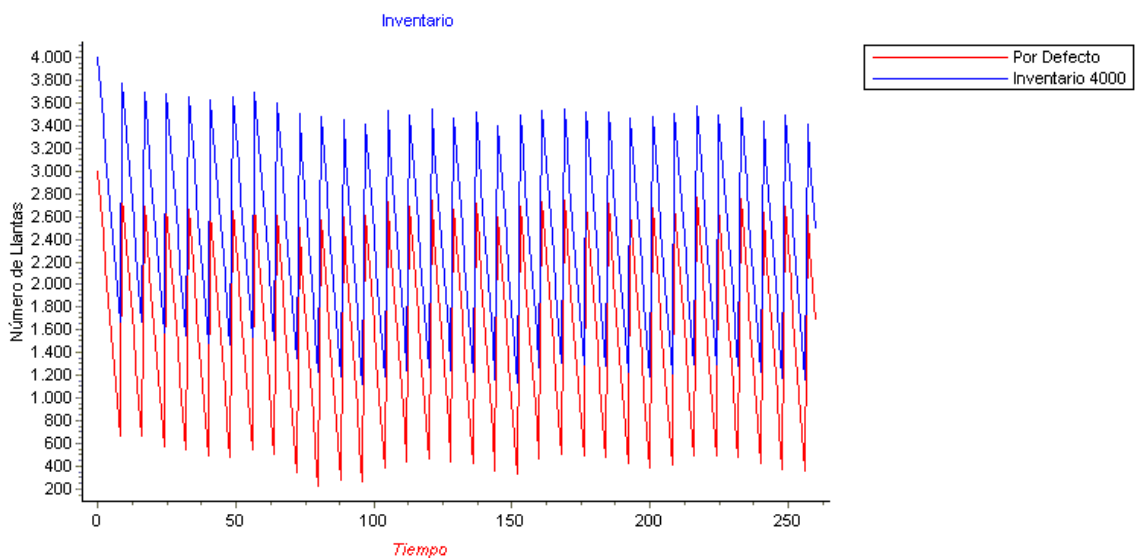


Figura 19. Comportamiento del Inventario con Variación del Inventario (4000)

Como se puede observar en la Figura 18, el sistema es poco sensible a una disminución en la cantidad inicial de inventario porque al tener un menor inventario inicial, se presentan faltantes al comienzo de las actividades que son suplidos gradualmente con los pedidos a proveedores en los que se tiene en cuenta la demanda no satisfecha, esto conlleva a que el sistema se establezca después de un tiempo de una manera semejante a como lo hace con el valor “por defecto” para el inventario inicial. Si embargo, no sucede lo mismo al iniciar con un inventario mayor al “normal” (ver Figura 19) ya que el sistema no posee mecanismos para regular los excesos de inventarios, de tal manera que sin importar el número de existencias se pide lo necesario para suplir las demandas de los clientes realizadas durante las ocho semanas entre pedidos.

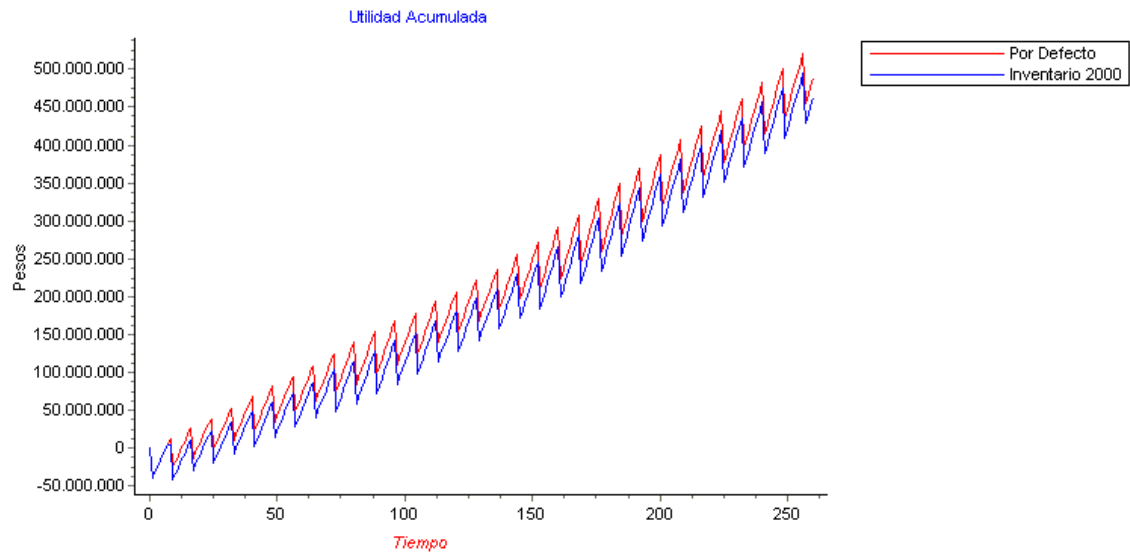


Figura 20. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Inventario (2000)

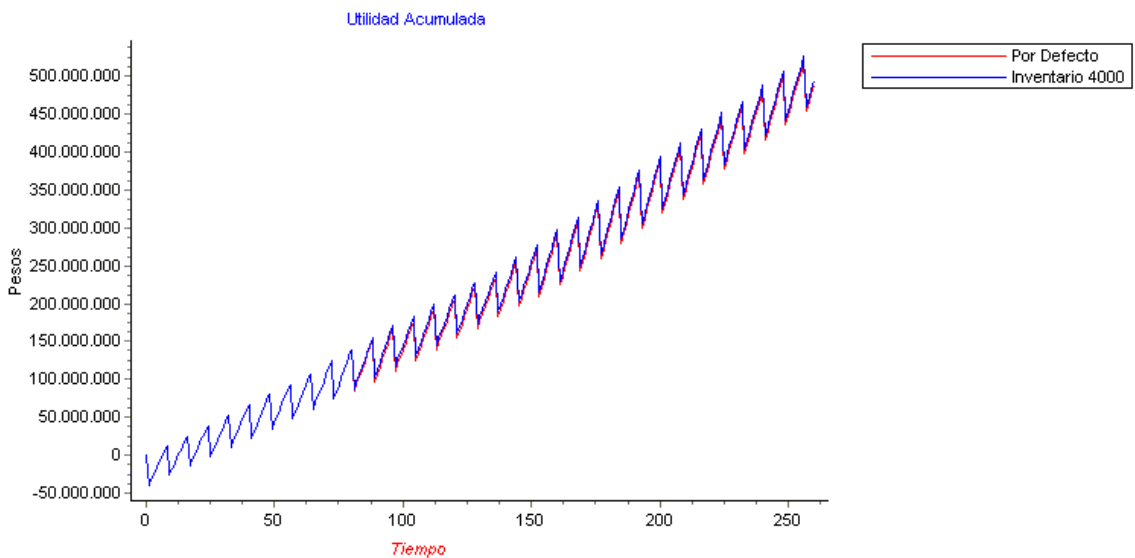


Figura 21. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Inventario (4000)

En lo referente a la otra variable de evaluación (utilidad acumulada), presenta un comportamiento inverso, es decir, se ve una mayor variación en la evolución de la gráfica correspondiente con una disminución en el inventario (ver Figura 20), esto se debe a que al tener un bajo nivel de inventario inicial, se presentan muchos “clientes insatisfechos” que son aquellos que a los que no se les pueden satisfacer sus necesidades del producto lo cual genera menores ventas y a pesar de que las existencias se estabilizan posteriormente, la menor captación de dineros inicial se traduce en una menor acumulación de utilidad en el tiempo. Por otro lado, el sistema es poco sensible a un aumento inicial del inventario (ver Figura 21) y sólo se ven diferencias con el comportamiento “normal” cuando en este último se presentan deficiencias a la hora de

suplir la demanda de los clientes ya que la variación impide que existan este tipo de problemas. Aun así, en un modelo más completo del sistema que incluya los costos por mantenimiento de inventarios se espera una variación mayor para la utilidad acumulada debida al exceso en unidades almacenadas.

8.4.7.2. Variación del Precio de Compra. La segunda modificación efectuada sobre el modelo es la asignación del valor para el precio de compra de las llantas por debajo (8 Dólares) y por encima (12 Dólares) lo que equivale a $\pm 20\%$ del valor “por defecto”. Esta variación, a pesar de que no es endógena se puede decir que es efectuada por la misma empresa al cambiar su proveedor habitual, de la misma manera se supone que existe una competencia perfecta¹⁹ y por tanto los rivales económicos están en la misma capacidad de igualar los precios de compra del importador.

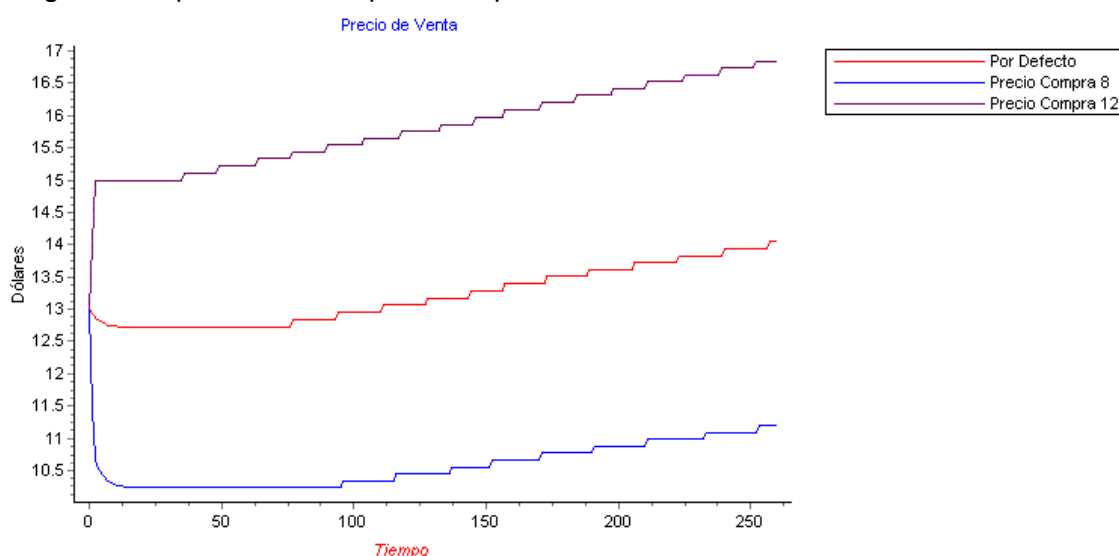


Figura 22. Comportamiento del Precio de Venta con variaciones en Precio Compra (8 y 12)

El modelo se ajusta automáticamente a un precio adecuado para competir, sea subiendo el precio de venta inicial o disminuyéndolo. Una situación como esta se presenta por una deficiente investigación de mercados pero como se observa (Figura #) se soluciona

19 Para que un mercado sea verdaderamente competitivo debe reunir las siguientes condiciones:

1. Número suficiente de compradores y vendedores, para que ninguno pueda ejercer una influencia significativa sobre el precio de determinado bien.
2. Carácter homogéneo del producto o bien (que sean iguales en todo el mercado), por lo cual se asegura la indiferencia de los compradores con relación a la producción de las diversas empresas que participan en el mercado.
3. Libre determinación del precio y amplia libertad de acceso y salida del mercado, sin interferencia alguna resultante de acuerdos entre las empresas o los consumidores, o debido a la intervención del estado.
4. Conocimiento de los precios y de las cantidades por parte de los productos y consumidores. Esto, es para establecer una especie de mecanismo o de regulación interna.
5. No existencia de discriminación.

rápida dependiendo la capacidad de variación del precio de venta que posea el importador.

El precio de venta se relaciona directamente, por medio de un porcentaje, con el precio de compra. El precio de compra varía en el tiempo debido a la inflación de los Estados Unidos, por ello al partir de un mayor valor, se presentan mayores incrementos a lo largo del tiempo y el importador debe efectuar variaciones a su precio de venta con mayor frecuencia, y viceversa.

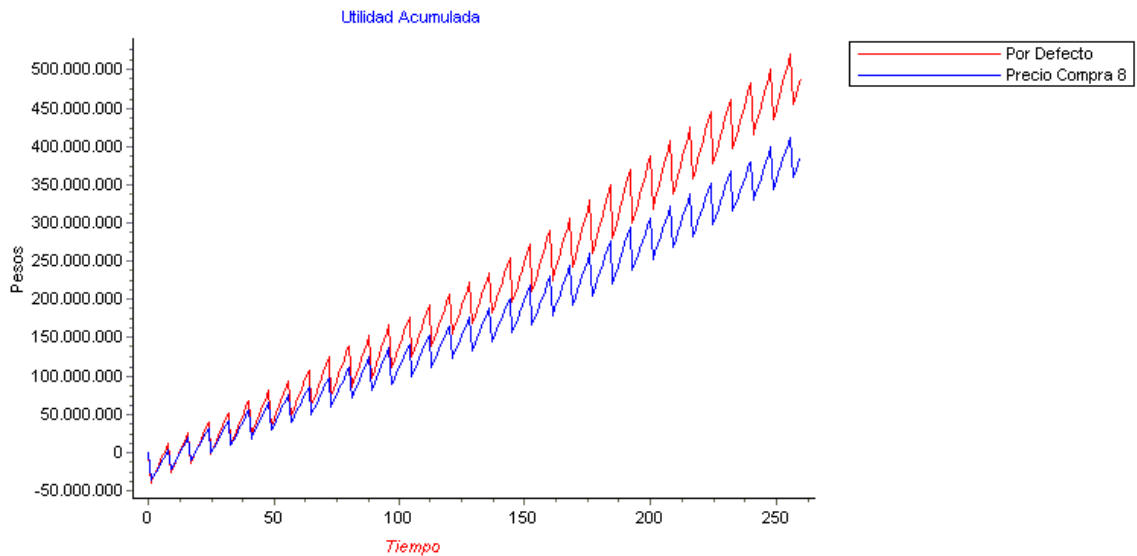


Figura 23. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Precio Compra (8)

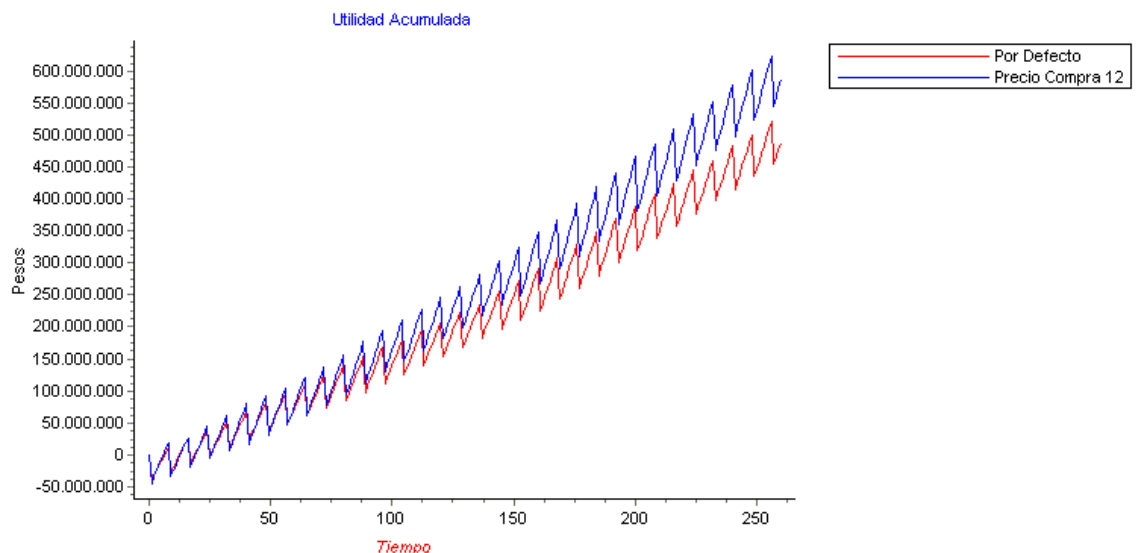


Figura 24. Comportamiento de la Utilidad Acumulada con Variación en Precio Compra (12)

La disminución o incremento en la utilidad acumulada para el negocio dependiendo de el precio de compra obedece a la relación directa que existe entre este y el precio de venta

al público de la competencia sobre la cual se supone un porcentaje de utilidad que se refleja en la captación de ganancias para el importador. A pesar de que el porcentaje de utilidad se mantiene, un mayor precio representa una mayor cantidad de dinero en pesos.

8.4.7.3. Variación de la Cantidad de Llantas a Pedir. La última modificación a la que se somete el modelo es la correspondiente a la cantidad a pedir de los proveedores. Los valores experimentados fueron 2000 y 2800 unidades, lo que representa un $\pm 16.67\%$ alrededor del valor “normal” de 2400 unidades. Esta variable representa las unidades que se pedirán al proveedor en el instante en que se inicia la simulación y es el único momento en el cual no se cuentan con datos del público, lo que lo convierte en una de las variables más dispendiosas de calibrar correctamente.

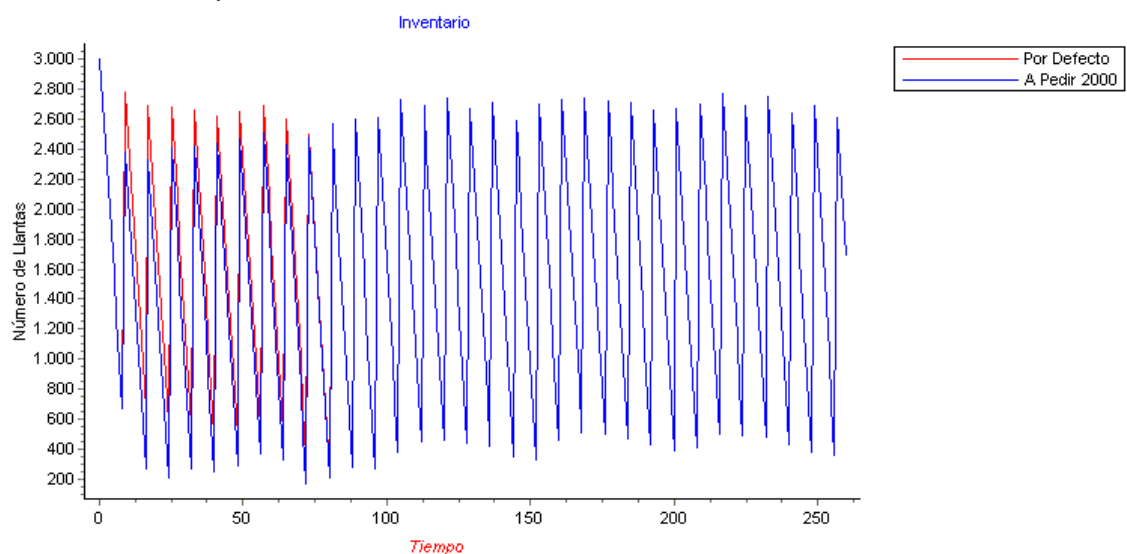


Figura 25. Comportamiento del Inventario con Variación de la Cantidad A Pedir (2000)

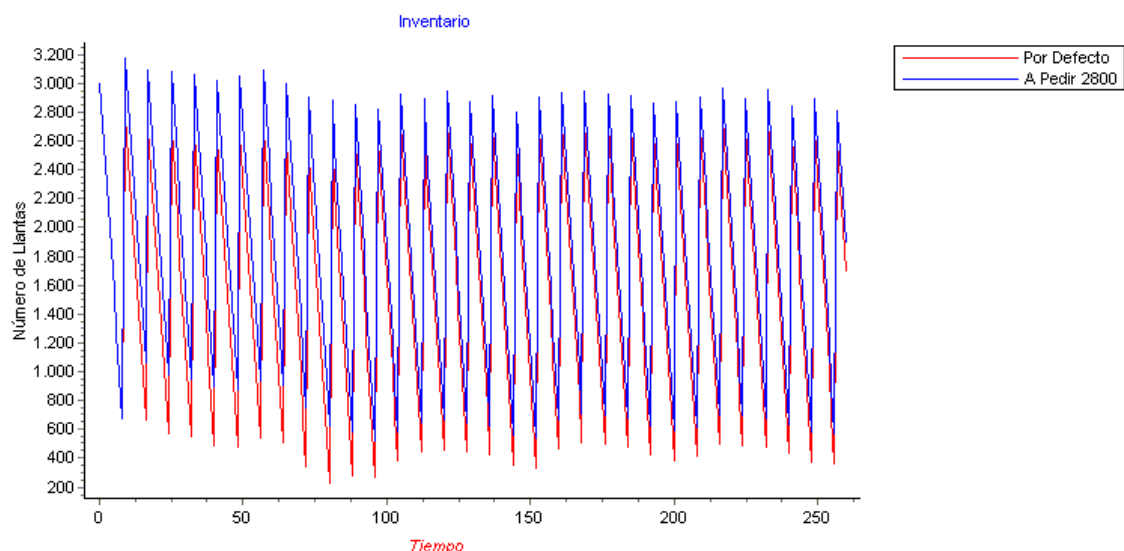


Figura 26. Comportamiento del Inventario con variación de la Cantidad A Pedir (2800)

De manera similar a lo ocurrido con una modificación en el inventario inicial, se puede afirmar que el sistema es poco sensible a una disminución en este valor ya que se autorregula con la información proporcionada por los clientes. Dada la ineficiencia del sistema para eliminar excedentes, un aumento en el pedido inicial generará un superávit de artículos similar al observado en la Figura 20 y Figura 21.

Aunque se realizaron otras pruebas con el modelo involucrando diferentes variables, estos resultados no se presentan aquí debido a que los elementos mencionados exhibieron sensibilidad muy baja o nula respecto a variaciones en los componentes endógenos del modelo, además de no representar suficiente relevancia para los propósitos de este trabajo.

8.4.8 Utilización del Modelo

Para tener consistencia con el propósito ya enunciado para el modelo se debe realizar el proceso de incluir elementos de Inteligencia Artificial dentro del mismo para, por este medio, llevar a cabo un repaso y evaluación de los lineamientos metodológicos propuestos en el proyecto anterior. Además esto permite observar de primera mano en qué consiste esta integración e identificar las facilidades y dificultades que surgen tanto del proceso como del software empleado.

De acuerdo con el documento del proyecto anterior los lineamientos metodológicos son los siguientes:

- Identificar el sistema: Inicialmente se determina el nivel de cualitatividad del sistema es decir el nivel de incertidumbre e imprecisión. En esta fase se lleva a cabo la definición de variables lingüísticas o la definición de elementos por medio de ellas.
- Construcción del modelo.
- Identificación de variables imprecisas o inconexas y que representan situaciones de decisión.
- Construir el sistema de inferencia difusa correspondiente a los elementos detectados en la aplicación del lineamiento anterior.

Pero los mismos son poco específicos en cuanto a los procedimientos involucrados en cada uno, así como en su alcance dentro del proceso de modelado. Cuando se pide determinar el nivel de cualitatividad del sistema no se indica de qué forma se debe hacer, si designando valores o determinando niveles (bajo, medio, alto); además la definición de variables en un proceso normal de modelado se realiza de manera posterior al diagrama de influencias que es una etapa de la construcción del modelo. Con respecto a esto último no se hizo claridad acerca de hasta qué punto del proceso de modelado se extiende, debido a que el proceso no concluye sino hasta su evaluación, y para realizar esta labor se requieren las definiciones completas de ecuaciones y los valores a emplearse en los parámetros, los cuales no han sido definidos aún por estos lineamientos metodológicos; se puede suponer que se hacía referencia a construcción del modelo como creación del diagrama flujo-nivel y que, al final del mismo, aún no se han definido las ecuaciones, no se han generado los experimentos para determinar los parámetros, ni se ha realizado el proceso de calibrado para los parámetros restantes. En lo referente al tercer lineamiento

que trata sobre variables imprecisas o inconexas, se puede decir que más que identificarlas hay que obtener las reglas que las rigen. Por último, se requiere de la construcción del sistema de inferencia difusa, pero no se da ninguna pauta para la creación del mismo.

Para llevar a cabo la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa sobre el modelo aquí reconstruido, se partió de la etapa de definición precisa de cada magnitud, la cual genera el código de variables del proceso de modelado clásico de la Dinámica de Sistemas, en donde al tenerse elementos de carácter poco estructurado y cualitativo se definió la Lógica Difusa, más específicamente a los FIS como herramienta para modelarlas. Este es el caso del efecto que tiene el porcentaje de participación sobre la decisión del importador de aumentar o disminuir su precio de venta, y el del efecto que tiene la diferencia de precios entre el importador y la competencia sobre su preferencia por uno u otro vendedor de llantas, de las cuales ambas representan decisiones: la primera es de carácter interno del negocio y determina la acción que toma el vendedor si pierde o gana clientela; y la segunda es externa, corresponde a la reacción del público ante la diferencia por encima o por debajo del precio que ofrece el importador frente a sus competidores. Ahí mismo se define, ayudados por el diagrama de influencias, los elementos que afectan estas variables inconclusas al mismo tiempo que se observa cuáles son afectados por las mismas, generando un esbozo de las entradas y salidas del sistema de inferencia difusa.

Sin embargo se puede llevar a cabo sin ningún tipo de inconveniente la construcción del diagrama de flujo-nivel y dentro del mismo usar algún código especial para identificar las variables de tipo difuso en caso de que se realice a mano o definir las como no-linealidades o variables auxiliares en caso de que se esté usando un software de apoyo al modelado. Durante la etapa siguiente (definición de ecuaciones), es conveniente contar con el apoyo de un experto para la identificación de las reglas de decisión para los FIS que representarán las variables de tipo difuso y el método de inferencia difusa que operará sobre ellas.

Para este modelo en particular las reglas que se identificaron para los sistemas de inferencia difusa de tipo Mamdani fueron las siguientes:

Para Efecto_Precio:

1. Si la participación es baja, entonces el efecto es reducir el precio
2. Si la participación es normal, entonces el efecto es mantener el precio
3. Si la participación es alta, entonces el efecto es aumentar el precio

Para Efecto_Participación:

1. Si la diferencia de precio es a favor, entonces la participación es alta
2. Si la diferencia de precio es normal, entonces la participación es normal
3. Si la diferencia de precio es en contra, entonces la participación es baja
4. Si la diferencia de precio es muy en contra, entonces la participación es baja

Al integrar Lógica Difusa con Dinámica de Sistemas la etapa de calibrado se convierte en un punto crucial de la construcción del modelo pues ayudará a definir los rangos de las funciones de membresía, su forma y sus parámetros. Es el momento adecuado para hacer la recopilación de datos necesaria para completar la construcción de los FIS, ya sea

utilizando información conocida por los clientes o por los expertos, o creando los experimentos que permitirán determinarla.

Si se parte de la información recopilada durante el proceso de construcción del modelo que no incluye Lógica Difusa, se puede hacer más viable y económica la creación de los sistemas de inferencia ya que el gasto²⁰ se ve reducido drásticamente puesto que no se requiere repetir el trabajo, sólo adecuar la información que se obtuvo previamente a las nuevas necesidades de los FIS. Para el modelo aquí tratado se tomó la información recopilada durante la creación del modelo que no incluía Lógica Difusa y con ella se definieron los rangos, la forma de las funciones de membresía y sus valores correspondientes, así:

Efecto Precio:

Entradas:

Porcentaje de participación en el mercado del importador (participación).

Rango: de 0 a 28%

Funciones de membresía: 3

Baja: Composición Gaussiana (gauss2mf) [0.0381 -0.0112 0.0196

0.1099]

Normal: Composición Gaussiana (gauss2mf) [0.0244 0.1816 0.0244

0.2184]

Alta: Triangular (trimf) [0.2004 0.28 0.392]

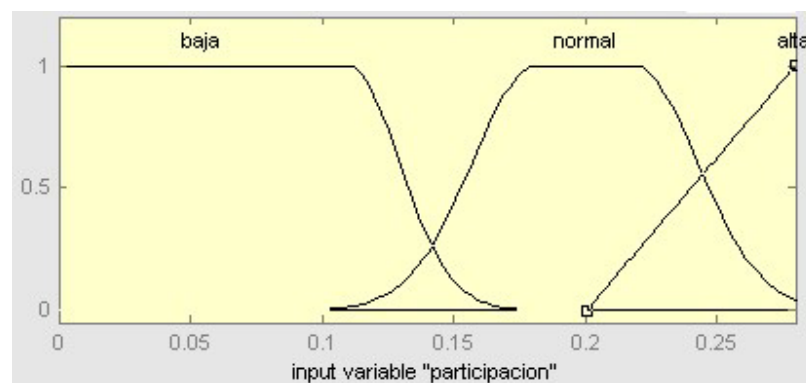


Figura 27. Funciones de membresía para la entrada Participación del FIS Efecto_Precio

Salidas:

Porcentaje de variación del precio de venta respecto al máximo cambio aceptable (efectoprecio).

Rango: de -200% a 100%

Funciones de Membresía: 3

Reducir: Curva Gaussiana (gaussmf) [0.4685 -2]

Mantener: Trapezoidal (trapmf) [-1 -0.5 0.3 0.8]

²⁰ Se refiere a los costos de determinar los datos por medio de experimentos, el tiempo de los investigadores y el impacto de la investigación.

1.12]

Aumentar: Composición Gaussiana (gauss2mf) [0.227 0.7395 0.408

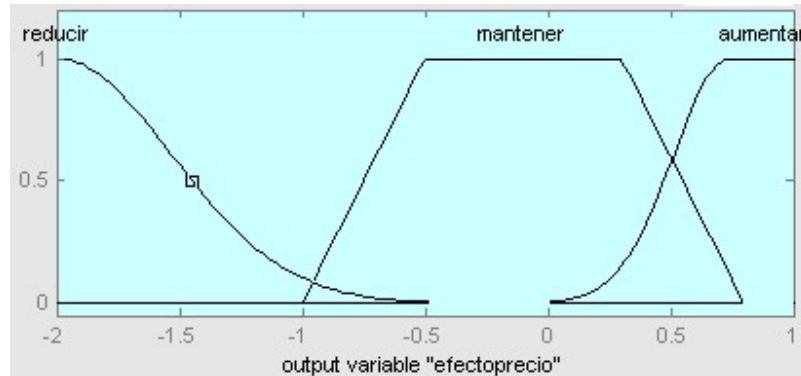


Figura 28. Funciones de membresía para la salida Efectoprecio del FIS Efecto_Precio

Efecto_Participación:

Entradas:

Diferencia de precios entre el importador y la competencia (difprecio)

Rango: de -\$1200 a \$3500

Funciones de membresía: 4

AFavor: Triangular (trimf) [-3550 -1200 -500]

Normal: Composición Gaussiana (gauss2mf) [182 -400 200.6 397.8]

EnContra: Composición Gaussiana (gauss2mf) [336 1560 211 2000]

MuyEnContra: Curva Gaussiana (gaussmf) [493 3500]

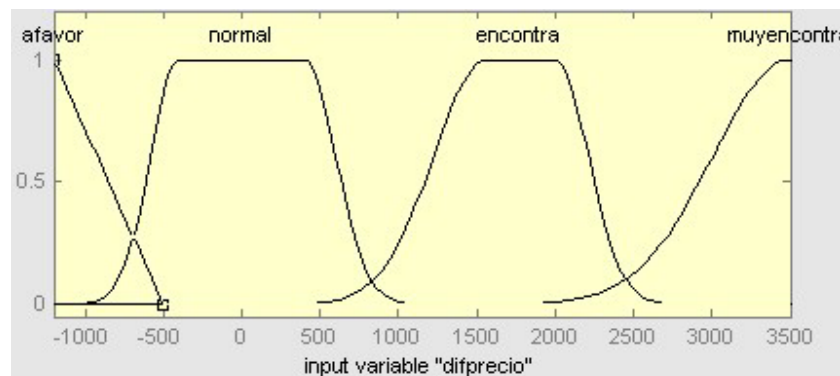


Figura #. Funciones de Membresía para la Entrada DifPrecio del FIS Efecto_Participación

Salidas:

Porcentaje de participación en el mercado del importador (participación).

Rango: de 0 a 40%

Funciones de Membresía: 3

Bajo: Composición Gaussiana (gauss2mf) [0.0544 -0.016 0.0323

0.05]

Normal: Composición Gaussiana (gauss2mf) [0.0463 0.15 0.032
0.1999]
Alto: Trapezoidal (trapmf) [0.2 0.25 0.415 0.543]

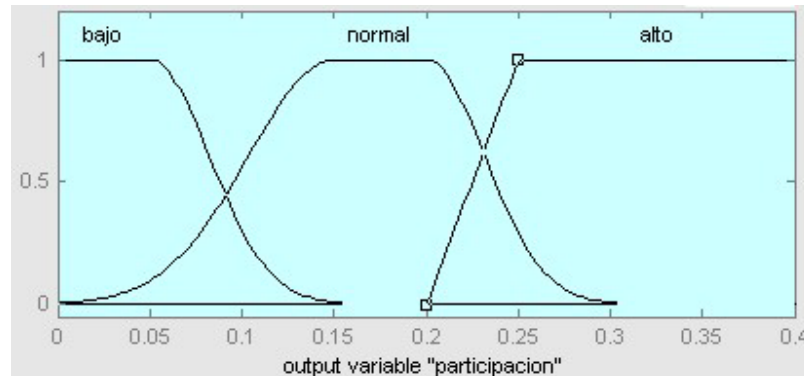


Figura 29. Funciones de membresía para la salida Participación del FIS
Efecto_Participación

Los sistemas de inferencia aquí planteados reciben datos de tipo numérico correspondientes con los posibles valores que se presenten en sus variables de entrada dentro del modelo de Dinámica de Sistemas, esto hace necesaria la presencia de algún tipo de técnica para convertir dichos valores al dominio de las variables difusas, para este propósito se recurre a algún método de fuzzificación. Del mismo modo, los resultados lingüísticos entregados por el FIS deben ser traducidos a números, este proceso de conversión se conoce como defuzzificación y para llevarlo a cabo se escoge alguno de los métodos conocidos. En este caso, se hizo una fuzzificación directa al entregar a las funciones de membresía los valores de entrada y dejar la conversión de los mismos implícita en estas funciones; para la defuzzificación se tomó el método de centroide el cual es el más frecuente y por consiguiente reviste mayor generalidad en su aplicación.

Al revisar los elementos que se relacionan con los FIS dentro del diagrama de flujo-nivel, se puede ver que cada uno de ellos presenta una entrada y una salida, esta estructura de una entrada y una salida es semejante a la que poseen las no-linealidades representadas por medio de tablas. Con el fin de mantener la simplicidad en el proceso de inclusión de los resultados proporcionados por el experto, para el presente modelo se optó por hacer la introducción de los FIS dándoles un tratamiento de no-linealidades y usándolos por medio de tablas. En este punto ambos FIS están completos, están definidos todos sus parámetros, sus métodos de inferencia, de representación de reglas, etc. Es decir, responden como una función matemática cualquiera, de manera similar a una caja negra se convierten en una transformación invisible para el usuario en la que unas entradas generan un producto final. Es necesario pues, determinar la totalidad de dichas entradas para asociarlas con elementos de salida que darán forma final a la tabla que se introducirá dentro del modelo en el software de apoyo al modelado.

Inicialmente se determinan cuántos valores se van a usar para la tabla, ya que una cantidad muy pequeña se alejaría bastante de la forma real del FIS, y una cantidad muy grande resulta de difícil manejo debido a que la construcción de las tablas dentro del software de apoyo al modelado debe hacerse manualmente y se volvería un proceso

excesivamente dispendioso. Posteriormente se genera un vector con la cantidad de valores ya determinada que cubra el rango de entrada definido para cada uno de los FIS de manera uniforme. Con el sistema de inferencia ya creado mediante las herramientas que para ello dispone MatLab, se hace su exportación al espacio de trabajo de dicho software mediante el menú File→Export→To Workspace... y la asignación de un nombre para la variable que lo contendrá. Por último se le da un nombre a las salidas y se les asigna un valor con la función “evalfis”:

```
Salida = evalfis(parametro1, parametro2);
```

Donde “parámetro1” es el vector que contiene los valores para la entrada del FIS y “parametro2” es la variable asociada al sistema de inferencia mismo. Con los datos proporcionados por las entradas y las salidas se construyen las tablas en el software de apoyo al modelado, definiendo además el método de interpolación y el de extrapolación.

Para dar un ejemplo claro, se presenta el proceso para los FIS del modelo trabajado. El primero de ellos es “Efecto_Precio”:

La entrada seleccionada fue entre 0 y 0.28 con un paso de 0.005, lo que generó un vector de 57 valores que es lo suficientemente grande como para permitir observar la forma real del FIS sin dificultar excesivamente su manejo por medio de tablas, este vector recibió el nombre de “entrada”. La salida se almacenó en una variable de nombre “salida” y permitió guardar los valores devueltos por la función de evaluación. El sistema de inferencia se designó como “EfectoPrecio” al momento de su exportación. Con todo esto preparado se siguió con la evaluación del FIS para los valores de entrada previamente seleccionados.

```
salida = evalfis(entrada, EfectoPrecio);
```

Lo que generó la siguiente tabla:

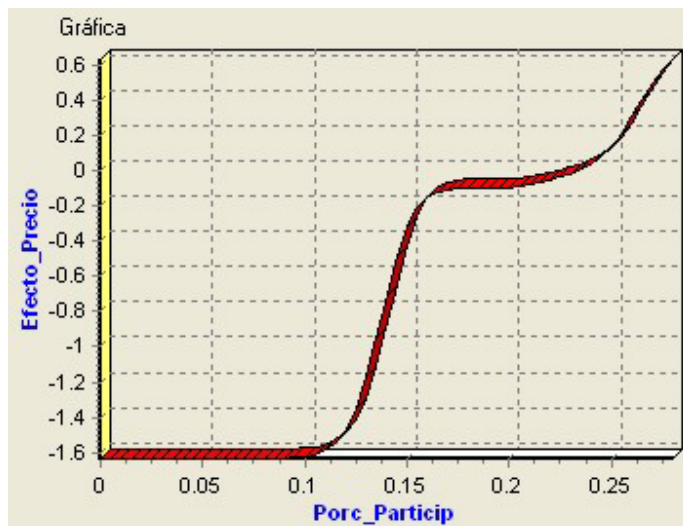


Figura 30. FIS Efecto precio

FIS Efecto Precio		0.0900	-1.6330	0.1900	-0.1003
Porc_Particip	Efecto_Precio	0.0950	-1.6297	0.1950	-0.1001
0.0000	-1.6356	0.1000	-1.6228	0.2000	-0.1001
0.0050	-1.6356	0.1050	-1.6096	0.2050	-0.0899
0.0100	-1.6356	0.1100	-1.5855	0.2100	-0.0780
0.0150	-1.6356	0.1150	-1.5430	0.2150	-0.0651
0.0200	-1.6356	0.1200	-1.4682	0.2200	-0.0515
0.0250	-1.6356	0.1250	-1.3461	0.2250	-0.0359
0.0300	-1.6356	0.1300	-1.1702	0.2300	-0.0173
0.0350	-1.6356	0.1350	-0.9474	0.2350	0.0063
0.0400	-1.6356	0.1400	-0.7052	0.2400	0.0369
0.0450	-1.6356	0.1450	-0.4849	0.2450	0.0776
0.0500	-1.6356	0.1500	-0.3186	0.2500	0.1361
0.0550	-1.6356	0.1550	-0.2116	0.2550	0.2126
0.0600	-1.6356	0.1600	-0.1530	0.2600	0.3040
0.0650	-1.6356	0.1650	-0.1242	0.2650	0.4010
0.0700	-1.6356	0.1700	-0.1107	0.2700	0.4931
0.0750	-1.6355	0.1750	-0.1045	0.2750	0.5709
0.0800	-1.6352	0.1800	-0.1019	0.2800	0.6291
0.0850	-1.6345	0.1850	-0.1008		

Tabla 2. Tabla de valores para el FIS Efecto Precio

De manera análoga se procedió con la exportación y evaluación del FIS “Efecto_Participación”. En este caso se tomó un rango entre \$-1200 y \$3500 para la entrada con un paso de \$100, lo que arrojó 48 valores que fueron evaluados en el FIS generando la siguiente tabla:

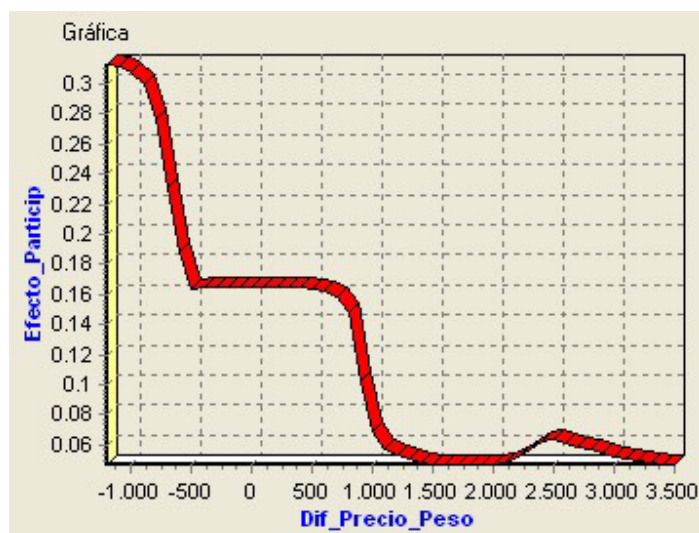


Figura 31. FIS Efecto participación

FIS Efecto Participación	
Dif_Precio_Peso	Porc_Particip
-1200	0.3129
-1100	0.3111
-1000	0.3082
-900	0.3000
-800	0.2763
-700	0.2309
-600	0.1886
-500	0.1638
-400	0.1644
-300	0.1644
-200	0.1644
-100	0.1644
0	0.1644
100	0.1644
200	0.1644
300	0.1644
400	0.1644
500	0.1639
600	0.1622
700	0.1586
800	0.1480
900	0.1027
1000	0.0683
1100	0.0572
1200	0.0529
1300	0.0501
1400	0.0480
1500	0.0469
1600	0.0467
1700	0.0467
1800	0.0467
1900	0.0467
2000	0.0467
2100	0.0480
2200	0.0515
2300	0.0565
2400	0.0623
2500	0.0640
2600	0.0614
2700	0.0589
2800	0.0565
2900	0.0542

3000	0.0522
3100	0.0504
3200	0.0488
3300	0.0477
3400	0.0469
3500	0.0467

Tabla 3. Valores para el FIS Efecto Participación

Con las tablas ya creadas, los valores de los parámetros del modelo definidos, las variables exógenas completamente descritas, se puede dar por concluido la fase de calibrado y con ella el proceso concerniente a la inclusión de elementos de Lógica Difusa, permitiendo continuar con las etapas finales de creación y empleo del modelo.

Con el fin de establecer el impacto de la inclusión de los elementos de Lógica Difusa en el modelo, se hace un paralelo entre el comportamiento normal del modelo construido sin uso de FIS y el comportamiento normal del modelo que involucra los sistemas de inferencia.

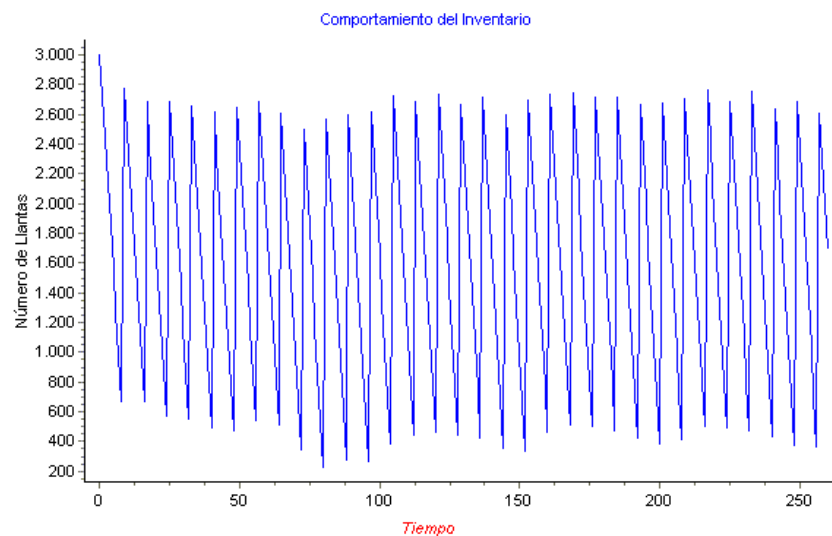


Figura 32. Comportamiento Normal del Inventario sin FIS

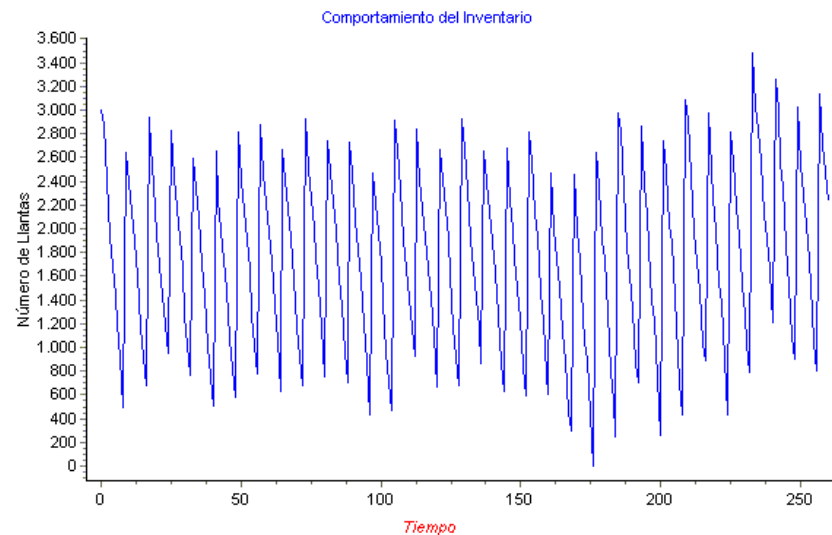


Figura 33. Comportamiento normal del modelo incluyendo FIS

Para lograr una mejor comprensión del proceso mismo, éste se realizó por pasos para poder analizar comportamientos de diversas variables al realizar sólo una de las modificaciones generadas por la inclusión de FIS y así comprender con mayor claridad de que manera afecta cada uno de ellos y de manera independiente los resultados suministrados por el modelo.

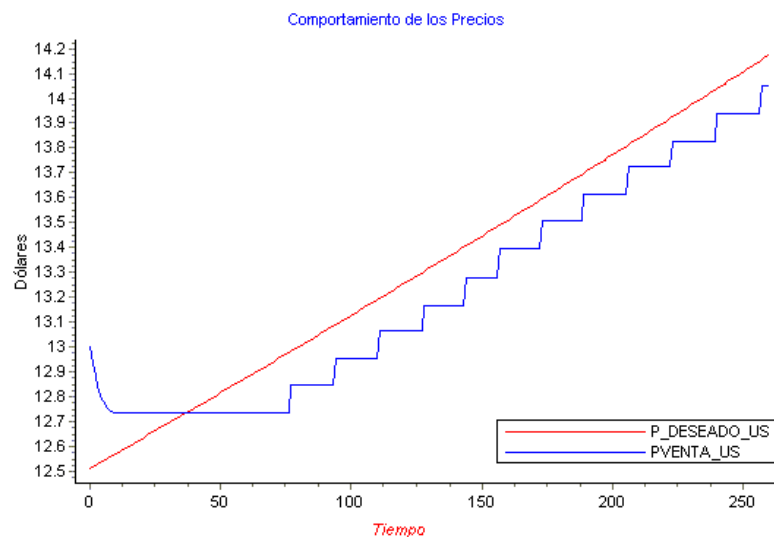


Figura 34. Comportamiento normal de los precios sin FIS

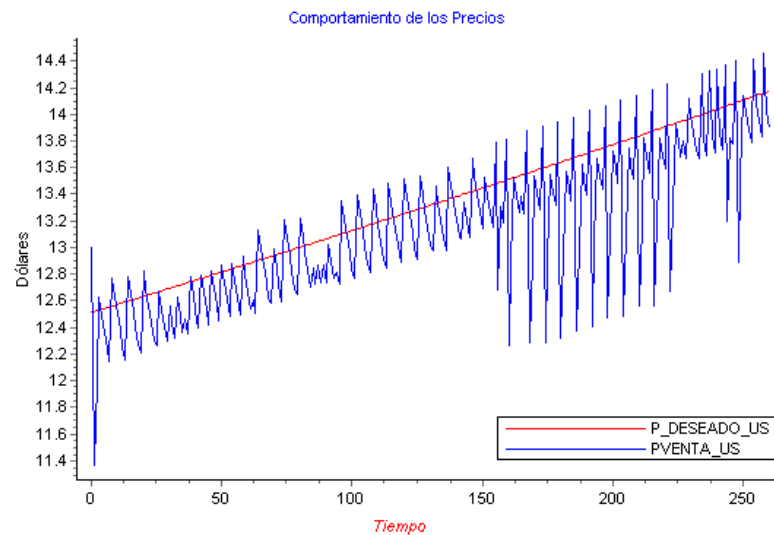


Figura 35. Comportamiento normal de los precios incluyendo FIS

Las gráficas obtenidas por estas simulaciones en las que se hizo la inclusión de los FIS de manera parcial, no fueron agregadas al documento final puesto que servían como una herramienta didáctica para el modelador permitiendo observar resultados parciales que no sirven como una forma de realizar la evaluación general del modelo.

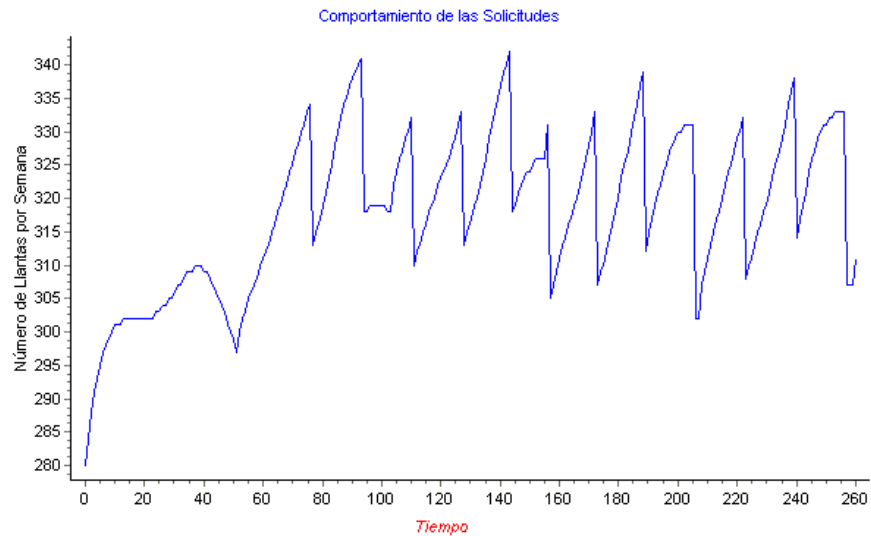


Figura 36. Comportamiento normal de las solicitudes sin FIS

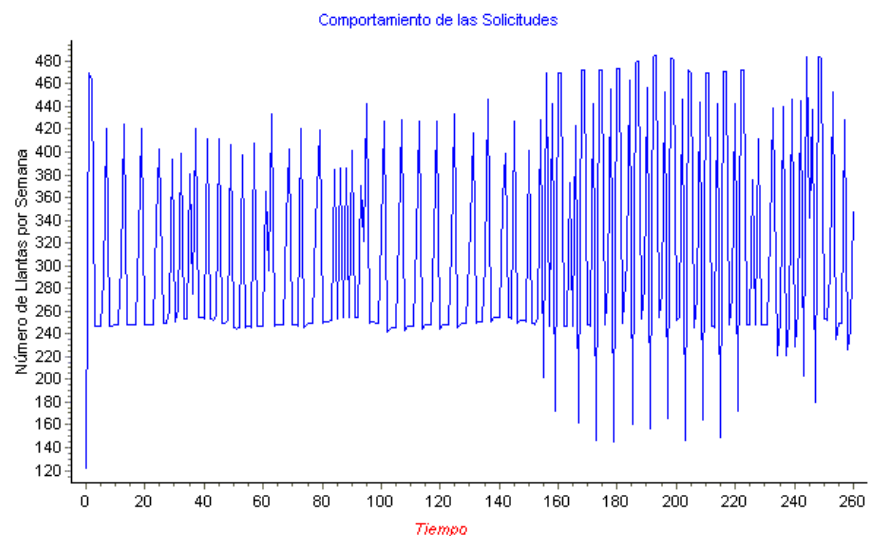


Figura 37. Comportamiento normal de las solicitudes incluyendo FIS

En las gráficas presentadas en las Figura 32, Figura 34 y Figura 36 se observa el comportamiento normal del modelo para las variables de Inventario, Precios (Deseado en Dólares y de Venta en Dólares) y Solicitudes de los clientes, respectivamente. Al comparar estos comportamientos con los mostrados en las Figura 33, Figura 35 y Figura 37, correspondientes con el modelo que incluye los dos sistemas de inferencia, se puede observar que en todos los casos hay una mayor variación y frecuencia de la misma en las respuestas ofrecidas por el importador y por los compradores frente a la propagación de sus interacciones en el modelo. Esto obedece a dos causas, por un lado la mayor cantidad de valores contemplados en las tablas de los FIS permite que los elementos asociados a ellas dentro del modelo tengan una mayor gama de respuestas y que de esta manera sean más reactivos a las variables que les afectan; el segundo motivo de este cambio en el comportamiento es que gracias al trabajo efectuado con Lógica Difusa, las

tablas ofrecen mayor precisión y correspondencia con la realidad del fenómeno, de esta manera se mejoran significativamente la estimación de algunos valores de las mismas. Hay que anotar que curiosamente, esta mayor sensibilidad del importador a los cambios en las ventas y de los clientes a los cambios en el precio es contraproducente en la situación real, ya que ni las personas, ni la empresa pueden soportar variaciones tan frecuentes debido a que da la sensación de inestabilidad y disminuyen el nivel de confianza de los clientes en la misma.

Sin embargo, si se examinan no los valores semana a semana de las variables, sino los valores promedio y los límites en cada modelo, se observa que el cambio no es tan drástico como se podría pensar. En la siguiente tabla se presenta dicha información:

Variable	Inventario		Precio de Venta		Solicitudes	
	Sin FIS	Con FIS	Sin FIS	Con FIS	Sin FIS	Con FIS
Promedio	1576.0345	1738.1801	13.2137	13.1255	318.2031	311.5755
Desv. Est.	738.1555	750.8028	0.4294	0.5586	11.7738	94.5622
Máximo	3000	3481	14.0474	14.4582	342	485
Mínimo	227	0	12.7328	11.3650	280	122

Tabla 4. Comparación entre los valores obtenidos antes y después de incluir los FIS

A lo largo del proceso de inclusión de los elementos de Lógica Difusa en la reconstrucción del modelo se han identificado algunos aspectos limitantes en el trabajo con estos tópicos. Hasta el momento las consideraciones que se han hecho al respecto son las siguientes:

Los sistemas de inferencia difusa deben ser importados al software de apoyo al modelado mediante tablas, esto ocasiona limitaciones en el número de entradas. Las no-linealidades en Evolución se definen como funciones de interpolación en las que se determina el tipo, el cual les da su nombre (ej: INTLINEAL corresponde con una interpolación lineal); el método de extrapolación para valores fuera del rango de entrada definido; el punto de partida para los valores que recibe la tabla; el paso (incremento entre un punto y otro de la entrada) y el conjunto ordenado de valores de salida (el primer valor corresponde al punto inicial y el último, al final). La limitación más importante es tal vez el hecho de que sólo permite manejar una entrada lo que elimina la posibilidad de utilizar una cantidad incalculable de FIS, ya que este tipo de sistemas son capaces de funcionar con n entradas, esto fuerza al experto a compactar o relacionar de manera antinatural los diferentes elementos de entrada que necesita el sistema de inferencia para operar. Otra dificultad que se presenta es la obligatoriedad de un igual espaciado entre los valores de entrada para ajustarse al mecanismo del punto inicial y el paso para representar la no-linealidad, característica deseable en caso que un sector del FIS requiera mayor detalle que otro.

Adicionalmente, las tablas presentan otro inconveniente en la utilización de FIS, el número de sus salidas se encuentra siempre restringido a uno, situación que obligaría al modelador a crear múltiples tablas alimentadas por la misma entrada y que operarían independientemente, complicando de esta manera el proceso de construcción del modelo y generando redundancia de trabajo al emplear múltiples elementos para representar un solo sistema de inferencia.

Frente a las limitaciones percibidas durante el trabajo con FIS para el apoyo en la construcción de modelos de Dinámica de Sistemas se manifiestan también algunos aspectos favorables al llevar a cabo esta integración, los cuales se comentan a continuación:

De manera general, durante la creación de modelos se ha acostumbrado a emplear un método de prueba y error, o prueba y repite, para la estimación de las no-linealidades buscando mediante la iteración continua y por diversas simulaciones, valores adecuados que acerquen el comportamiento del modelo a aquellos observados en la realidad. El problema con ello es que al tratar de estimar los parámetros en función de los comportamientos finales, la etapa de evaluación pierde validez puesto que la misma consiste en comparar los datos recopilados de fenómeno con los valores arrojados por el modelo, si el modelo fue ajustado empíricamente para que estos coincidan, todos los valores van a ser satisfactorios. Si por el contrario, como sucede con esta metodología, se puede formular algunas no-linealidades utilizando un método estructurado que no consista en hacer ajuste, la etapa de evaluación retomará su importancia como criterio de decisión de lo apropiado y/o bien construido del modelo.

Al involucrar en el proceso de modelado a expertos de áreas diferentes a la Dinámica de Sistemas, suele presentarse dificultad al momento de tomar conceptos dados por dichos expertos, esto se debe en parte al carácter altamente cuantitativo de los modelos dinámico-sistémicos que no es afín con la naturaleza cualitativa y basada en reglas de los conceptos expertos. La inclusión de sistemas de inferencia aquí planteada aporta positivamente en esta dirección al permitir el manejo de elementos cualitativos o de comportamiento cualitativo dentro del modelo de Dinámica de Sistemas. De la misma manera mejora la relación cliente modelador ya que permite a ambos hablar en el lenguaje natural y tener un diálogo más enriquecedor que permite mejorar tanto la construcción del modelo como la explicación de los resultados del mismo haciendo más comprensible el fenómeno o la situación, y llevarla de una manera más sencilla a todos los entes involucrados para lograr cambios que mejoren la situación, y desde el punto de vista académico facilitan la explicación dándole una mayor aplicación didáctica a muchos modelos de Dinámica de Sistemas.

9. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha planteado un desarrollo del mismo a partir de una estructura iterativa derivada de la metodología de prototipado evolutivo para el software. Para concordar con esta técnica, las conclusiones que se formulan a lo largo del proyecto, en los diferentes puntos de revisión de la investigación, corresponden no solamente a la última etapa contemplada hasta el momento, sino que en cada ocasión recogen la totalidad de la exploración realizada hasta ese punto. Por consiguiente, las ideas aquí condensadas, a pesar de concernir al prototipo inicial, también recogen toda la labor efectuada hasta este instante desde el inicio mismo de la investigación y posteriormente se someterán a revisión y refinación a medida que surjan nuevos puntos de evaluación durante el trabajo.

Dependiendo del tamaño del grupo encargado de la elaboración del modelo y de su experiencia tanto con Dinámica de Sistemas como en la creación de sistemas de inferencia difusa existen dos posibilidades esenciales para la integración, más específicamente para la creación de los FIS que se van a usar en el modelo; la primera consiste en que el modelador adquiera la responsabilidad de su creación y se apoye en un experto del fenómeno que le ayudará a definir valores, reglas, rangos, etc.; y una segunda en la que el modelador buscará un experto en Lógica Difusa al cual pondrá en contacto con el experto en el fenómeno para que, de manera conjunta, creen las tablas que luego serán incluidas en el modelo, delegando de esta forma, el modelador, la labor de la creación de los FIS.

Previamente se definió una serie de acciones a realizar para llevar a buen término la integración entre Dinámica de Sistemas y sistemas de inferencia difusa, sin embargo se hace necesario sintetizar dicho proceso describiendo de manera muy concisa, de ser posible en una frase, cada una de las etapas que lo componen y el instante dentro del proceso de modelado regular en el cual se incluyen. A continuación se presentarán de manera secuencial dichas etapas desde la perspectiva en la cual los modeladores serán los encargados de la creación de los FIS.

1. Identificación de variables imprecisas o inconexas y que representan situaciones de decisión
Etapas: Definición de magnitudes
Descripción: Se selecciona entre todas las variables que conformarán el modelo, aquellas que representan la toma de una decisión por cualquiera de los entes involucrados en el fenómeno para su posterior representación como sistema de inferencia difusa.
2. Identificación de las variables de tipo difuso mediante una simbología especial dentro del diagrama Flujo-Nivel
Etapas: Diagrama Flujo-Nivel
Descripción: Dependiendo si el diagrama se realiza de forma manual o apoyados en algún software para el modelado las variables previamente identificadas se representan con una simbología especial que, en el primer caso puede ser

seleccionada por el modelador, y en el segundo se recomienda usar las no-linealidades (tablas).

3. Asistencia de un experto en el fenómeno
Etapa: Definición de ecuaciones
Descripción: Se recomienda, y en muchos casos se requiere la asesoría de un experto en el fenómeno que ayude a los modeladores en la etapa de construcción de los sistemas de inferencia difusa.
 - 3.1 Definición de las reglas de inferencia
Etapa: Definición de ecuaciones
Descripción: El comportamiento de los sistemas de inferencia se representa por medio de reglas que responden a la opinión del experto sobre el funcionamiento del fenómeno.
 - 3.2 Definición de la cantidad de las funciones de membresía
Etapa: Definición de ecuaciones
Descripción: Por medio de las reglas definidas por el experto se puede extraer el número de funciones de membresía para cada elemento del FIS, además del número de entradas y salidas.
 - 3.3 Definición de los rangos
Etapa: Calibrado
Descripción: Por medio de información recopilada previamente por el experto o gracias a la obtenida por medio de nuevos “experimentos” se definen los rangos de las entradas y salidas, posteriormente de todas las funciones de membresía.
 - 3.4 Definición de la forma de las funciones de membresía (trabajo conjunto)
Etapa: Calibrado
Descripción: A partir del conocimiento del experto sobre el comportamiento del fenómeno, el modelador determina las pendientes y formas de las funciones de membresía que mejor se ajustan a esa realidad.
- 4 Definición de los valores de las funciones de membresía
Etapa: Calibrado
Descripción: El modelador determina los parámetros necesarios para representar los rangos y forma de cada una de las funciones de membresía para el sistema de inferencia.
- 5 Definición de los métodos de fuzzificación y defuzzificación:
Etapa: Calibrado
Descripción: Se determinan los métodos de fuzzificación y defuzzificación adecuados para alimentar al sistema de inferencia con datos cuantitativos y para traducir sus salidas cualitativas a valores numéricos.
- 6 Evaluación del FIS con las posibles entradas
Etapa: Calibrado
Descripción: Se selecciona un paso adecuado para cubrir todo el rango de una entrada y se genera un vector que se evalúa mediante el FIS, repitiendo esta operación para cada entrada y para cada sistema de inferencia.
- 7 Construcción de la tabla que representa al FIS

Etapas: Calibrado

Descripción: Se reúnen todos los valores de entrada con las respectivas respuestas dadas por la evaluación de dicho conjunto de datos.

8 Inclusión de la tabla en el modelo

Etapas: Calibrado

Descripción: Una vez ha sido creada la tabla se introducen los valores de la misma dentro del software de apoyo al modelado para su utilización durante el proceso de modelado.

Además, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones respecto a particularidades derivadas de la integración misma:

- La determinación de los valores de entrada que serán evaluados mediante el sistema de inferencia debe hacerse de manera que la cantidad de datos cubra el rango de entrada con suficiente precisión para que el método de interpolación empleado entre los puntos de la tabla no represente una pérdida de exactitud significativa.
- Debe tenerse suficiente claridad sobre los máximos y mínimos de las variables de decisión ya que no se dispone de extrapolación para estimar valores del FIS fuera de sus rangos de operación predefinidos.
- Derivado de la misma forma en que se construyen las tablas y se incluyen dentro del modelo, se presenta alta dificultad en la realización de cambios no superficiales sobre los sistemas de inferencia, como lo son las modificaciones en el número de entradas, del método de inferencia, del carácter de las funciones de membresía, etc.

Como se puede observar en la síntesis del nuevo proceso, las únicas etapas en la metodología para creación de modelos con Dinámica de Sistemas que se han visto afectadas son las de: Definición de Variables, Diagrama de Flujo-Nivel y Definición de Ecuaciones, y las dos primeras sólo de manera superficial ya que el desarrollo de las mismas no se ve alterado sino simplemente utiliza notaciones y consideraciones especiales sobre algunos elementos del modelo; en el caso de la Definición de Ecuaciones, el proceso en sí no cambia, sino que se ofrece una herramienta adicional para la definición de la ecuación/tabla correspondiente a los elementos tratados mediante lógica difusa, esto no provoca cambios en el dominio matemático de esta etapa al mantener todo dentro de la representación por medio de ecuaciones diferenciales. La mayor diferencia se percibe en que se presenta una nueva forma de construir las tablas para las no-linealidades, especialmente aquellas que representan toma de decisiones por cualquiera de los involucrados en el fenómeno; esto elimina la necesidad de utilizar el sistema de puntos críticos, pendientes, y prueba y repite para la estimación de las tablas al ofrecer un método formal para determinar dichos valores a partir del conocimiento que un experto posea sobre el fenómeno estudiado.

En el trabajo realizado para la construcción de este primer modelo los elementos modelados con el apoyo de Lógica Difusa tuvieron un funcionamiento de multiplicadores, por esta razón la consistencia dimensional no se vio afectada ya que las salidas de las tablas que representan sistemas de inferencia difusa trabajan como tasas que multiplican valores absolutos y/o de referencia que generan cantidades que afectan directamente al modelo. En caso contrario, si funcionaran como no-lineales en un sentido estricto, se tendrían entradas en un tipo de unidades y salidas, resultantes de transformaciones de la información correspondientes a percepciones y decisiones, que se darían en unidades completamente diferentes. Cuando se trata de una decisión, cada individuo examina la información que posee y con base en ella selecciona entre las posibilidades que se le presentan, lo que en si mismo no es un dato relevante para la construcción del modelo, sin embargo, la recopilación de este tipo de datos, que se obtiene al analizar la decisión tomada por grupos grandes de individuos, genera un nuevo tipo de información de suma importancia para las relaciones estructurales identificables en la situación de estudio y la representación del conocimiento mediante Dinámica de Sistemas.

A partir de la experiencia desarrollada a lo largo de este primer capítulo en el que se emplearon elementos de Lógica Difusa en el modelado mediante Dinámica de Sistemas de un fenómeno económico, se pueden hacer ciertas consideraciones acerca de la viabilidad, conveniencia o inconveniencia de llevar a cabo la integración entre estas dos formas de representación para modelos de tipo económico.

El criterio de selección del modelo fue la necesidad de emplear un fenómeno conocido y previamente trabajado con una metodología similar, no lo didáctico que se puede prestar el mismo para los modeladores o para la identificación de la viabilidad de su realización mediante la integración por cuanto ya había sido tratado. Sin embargo se pueden dar conceptos sobre las ventajas de emplear la metodología aquí descrita. Entre ellos cabe destacar que la metodología permite dar tratamiento a decisiones por parte de clientes, proveedores, competidores, comercializadores, etc. con un aceptable grado de aproximación, de la misma forma que tratar con mucha más precisión decisiones propias del negocio en muchas ocasiones internas a la organización ya que se poseen todos los criterios de decisión de la misma lo que facilita la creación de los sistemas de inferencia difusa. Adicionalmente permite integrar el elemento humano a los negocios dándole una mayor importancia a los estudios de mercados sobre respuestas de las masas a diversas situaciones (ej: descuentos, campañas publicitarias, promociones, entrada de nuevos productos, etc.).

Por otra parte, se pueden identificar algunos aspectos contraproducentes de recurrir al método aquí planteado para el estudio de fenómenos de tipo económico, de los cuales cabe destacar la sensibilización del modelo respecto a cambios en comportamientos o reacciones de elementos del mismo, lo que dentro del ambiente económico es perjudicial porque una variación muy frecuente de los precios convierte al negocio en un actor inestable dentro de la economía y le quita credibilidad frente a los clientes. Este inconveniente podría solucionarse agregando los respectivos retardos de información entre el cliente y el importador y viceversa, pero esto complicaría el modelo de una manera innecesaria en esta etapa de desarrollo del mismo.

No cabe duda que este tipo de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa es aplicable a muchos modelos de tipo económico pero tendría que entrar a competir con

otras técnicas muy arraigadas en el mundo financiero y administrativo como lo son las Cadenas de Markov y la Teoría de la Decisión; se requeriría pues un cambio de mentalidad de parte de las organizaciones encargadas de hacer estudios y/o que desean analizarse para que no sólo acepten a la Dinámica de Sistemas como una herramienta valida para hacer dichos análisis, sino que también permitan el uso de esta última integrada con otras áreas del conocimiento como en este caso en particular con Lógica Difusa.

Habitualmente, cuando se trabaja con Dinámica de Sistemas de la manera convencional se cuenta con software de apoyo al modelado que ofrece diversas herramientas para la representación y análisis de los elementos identificados dentro del modelo. En el caso del proceso de integración desarrollado hasta el momento, se dispone de un herramienta software de apoyo al modelado con Dinámica de Sistemas clásica pero no para apoyar el modelado con la inclusión de los elementos de Lógica Difusa tratados, lo que ha hecho necesario recurrir a otras herramientas con el fin de cubrir las necesidades presentadas por los modeladores a lo largo de esta experiencia. Uno de los propósitos de este modelo es especificar los requisitos de software necesarios para hacer una modificación sustancial al software de apoyo al modelado (Evolución 3.5) de manera que incluya total o parcialmente la integración con Lógica Difusa.

El principal inconveniente al que se enfrentó el grupo de trabajo fue la no existencia de un elemento dentro de los modelos de Dinámica de Sistemas que represente un sistema de inferencia difusa y por tanto dentro del software de apoyo al modelado, esto se vio parcialmente solventado en la utilización de otro componente ya existente como son las no-linealidades para ser usadas como contenedores de la información obtenida de un software externo (MatLab 6.5), sin embargo este elemento dentro del software generó muchas limitaciones siendo las más relevantes:

Sólo admiten una entrada lo que obliga a condensar dentro de ésta las n posibles entradas de un sistema de inferencia difusa lo que podría ocasionar relaciones aberrantes entre las variables que conforman las entradas, además de causar pérdida en la información que alimenta al FIS. Una posible solución a esta dificultad sería que las no-linealidades admitieran más de una entrada, teniéndose de esta manera tablas n -dimensionales.

No sólo existen sistemas de inferencia difusa con n entradas, también los hay con n salidas; sin embargo las no-linealidades actualmente no entregan más de un resultado obligando a manipular el número de tablas de tal manera que por cada salida del sistema se debe crear una no-linealidad que la calcule, lo cual podría generar un error cuando las reglas de inferencia deben seleccionar una salida frente a otra de acuerdo con la importancia dentro del sistema generando así errores al separar todas las respuestas. Para responder a esta necesidad podrían implementarse salidas vectoriales para las no-linealidades de manera que sólo definiendo la posición del vector, se haga referencia a uno u otro resultado de la tabla.

La forma de representar las no-linealidades por medio de tablas que emplea el software de apoyo usado toma un punto de partida y un incremento para los posibles valores de entrada, lo que impone un igual espaciado entre cada valor recibido, sin embargo en muchas ocasiones se requiere dar un mayor detalle a cierto fragmento de la función, en la

actualidad esto obligaría a dar ese mismo nivel de detalle a toda la función generando muchos valores que se introducen manualmente y pueden convertirse en una molestia para el modelador, especialmente si se requiere hacer un cambio pequeño en alguno de los sistemas de inferencia difusa. Para dar tratamiento a este tipo de situaciones especiales sería conveniente disponer de valores de entrada que pudieran estar a cualquier espaciado unos de otros, lo que generaría una malla no cuadrada en la tabla, brindando mayor flexibilidad en su construcción.

En lo referente a la ayuda al usuario, debe tenerse en cuenta que la documentación ofrecida para llevar a cabo modificaciones sobre elementos ya definidos sea lo suficientemente clara como para permitir cambios en las no-linealidades derivados de modificaciones pequeñas en los sistemas de inferencia. Del mismo modo es necesario disponer de un soporte lo suficientemente explícito para las nuevas características que llegaran a aparecer como respuesta a las necesidades aquí manifestadas.

10. BIBLIOGRAFÍA

Andrade, Hugo y otros, Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad, División Editorial y de publicaciones UIS, primera edición, Bucaramanga, 2001.

Aracil, Javier; Máquinas, Sistemas y Modelos: Un Ensayo Sobre Sistémica, Editorial Tecnos S.A., Madrid, 1986.

Aracil, Javier; Publicaciones de Ingeniería de Sistemas: Dinámica de Sistemas, Isdefe, Versión PDF de la primera edición, Madrid, 1995

Cuellar Yemeris, Mario; Lince Mercado, Emiliano; Evolución 3.5: Herramienta Software para el Modelamiento y Simulación en Dinámica de Sistemas, Proyecto de grado, Bucaramanga, 2003.

Gestiopolis.com. Mauricio Lefcovich. "Sistema de Manufactura Just-In-Time - JIT". [en línea]. Dirección URL: < <http://www.gestiopolis.com/recursos3/docs/ger/jitlefconew.htm>> [Última Consulta: Septiembre 15 de 2004].

Luque, Guillermo; Pradilla, Vladimir. Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones: Enfoque Integrador Entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Proyecto de grado, Bucaramanga, 2003.

Manuales de Fuzzy Logic Toolbox de MatLab 6.5 (R13)

Requena, Alberto; Martinez, Silvio. Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial, Madrid, 1986.

Sterman, John D. Business Dynamics: Systems Thinking for a Complex World, Mc Graw Hill, New York, 2000.

Universidad Interamericana de Puerto Rico, Recinto de Ponce. Rafael Balzac. "Competencia Perfecta". [en línea]. Dirección URL: <<http://ponce.inter.edu/cai/reserva/rbalzac/competencia.html>> [Última Consulta: Septiembre 13 de 2004].

Whelan, Joseph; Msefer, Kamil; Road Maps File D-4388: Economic Supply & Demand, MIT, Massachusetts, 1996.

PRIMERA ITERACIÓN (CAPÍTULO 2)

11. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la definición del ciclo de vida de Prototipado Evolutivo, una vez construida una primera versión que trata con las partes más importantes del sistema, este se debe pulir y refinar hasta que satisfaga las necesidades que el software debe suplir. Dado que este proyecto se planteó²¹ como una extrapolación del prototipado evolutivo, ya se ha conseguido un primer acercamiento a la consecución de los objetivos propuestos, sin embargo el grado de satisfacción obtenido sobre los mismos no es suficiente para detener el trabajo; se hace necesaria una primera iteración que aproveche la labor previa que abarca las conclusiones alcanzadas, las ventajas, las dificultades y las limitaciones observadas, es decir, que se beneficie de la identificación total del marco de trabajo realizada en el primer capítulo de la presente investigación.

Como punto de partida para esta nueva etapa de trabajo, se partió de las limitaciones que han surgido a la hora de utilizar sistemas de inferencia difusa con más de una entrada en el software de apoyo al modelado. De esta se han desprendido dos posibilidades de integración relacionadas con la forma de implementación de las mismas, las cuales podrían llamarse preliminarmente “débil” y “fuerte”. Donde si se afirma que la metodología de trabajo propuesta hasta el momento es la “débil”, se requiere definir un planteamiento para el desarrollo de la integración “fuerte” que permita solventar las limitaciones observadas hasta el momento.

El modelo que se va a trabajar para aplicar la nueva aproximación de integración es de carácter social, esto buscando diversificar la tipología de los fenómenos aquí tratados; incidentalmente ésta es una de las clases de situaciones más estudiadas por la Dinámica de Sistemas en la actualidad. Sin embargo se hace mucho énfasis en su aplicación sin examinar la viabilidad y/o conveniencia de la misma. ¿Por qué usar Dinámica de Sistemas y no otra alternativa de estudio y representación? Como en muchas otras cosas, en que el trabajo experimental supera a la teoría, en Dinámica de Sistemas se ha venido desarrollando muchos modelos de sistemas sociales que ayudan a evaluar políticas y a comprender situaciones. Gracias al impulso que la creación del modelo de “Los Límite del Crecimiento”²² (El Modelo del Mundo) generó, se cambió el enfoque industrial que la Dinámica de Sistemas mantenía hasta ese momento. Sin embargo, el nuevo énfasis social, aunque aceptado por muchos y de gran difusión, se ejerce por “costumbre” puesto que los modeladores, en buena parte de las oportunidades, carecen de la base teórica que soporta la utilización de Dinámica de Sistemas en el estudio de este tipo de fenómenos. En este segundo capítulo se pretende no sólo resaltar los motivos por los cuales este tipo de creaciones es válido, y en muchas oportunidades deseable, sino mostrar, además, por qué la Lógica Difusa es una herramienta válida para complementar la representación de este tipo de situaciones.

21 Para mayor detalle respecto a la planificación de este trabajo investigativo, consultar el documento “Plan de Proyecto de Grado” con título: APLICACIONES DE UN “MODELO CONCEPTUAL GENERALIZADO DE UN SISTEMA PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES” presentado ante la escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la UIS.

22 Creado por Dennis Meadows y otros, publicado por primera vez en “World Dynamics” de Jay Forrester en 1971 y reelaborado para el informe presentado al Club de Roma en 1972.

A manera de soporte al capítulo, se incluye un resumen de la información recopilada sobre el fenómeno de la piratería musical. Ésta sirve como una forma de ambientar teóricamente una base sobre la cual se pueda llevar a cabo la conceptualización de la situación en un ámbito global, y posteriormente focalizarla en el contexto Colombiano. Esto ofrece la materia prima necesaria para la identificación en el fenómeno de aquellas relaciones de relevancia para el estudio del mismo desde el enfoque social que se propone, además permite percibir de manera preliminar los aspectos relacionados con el caso de estudio que pueden ser asociados con sistemas de inferencia difusa.

Dentro de este trabajo de investigación, el estudio de la Piratería Musical en Colombia mediante Dinámica de Sistemas adquiere un sentido experimental al ofrecer un ambiente dentro del cual se crean condiciones favorables para identificar y resaltar posibles cambios al proceso de modelado, éstos generados al tomar la conjunción entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa desde un enfoque que se apreció durante la etapa de formalización del presente trabajo investigativo y que provisionalmente ha sido designada como “integración fuerte”. De esta manera se posibilita la identificación de diferencias y modificaciones al proceso de modelado, fortalezas y debilidades, posibilidades de aplicación y demás, derivados de la adopción de alguno de los enfoques identificados: modelado con Dinámica de Sistemas tradicional, modelado con un enfoque integrador “débil” y estudio de situaciones desde una perspectiva integradora “fuerte”.

12. INTEGRACIÓN ENTRE LA DINÁMICA DE SISTEMAS Y OTRAS MATEMÁTICAS PARA LA REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

Durante el trabajo efectuado hasta este punto, se busco realizar una revisión y un análisis crítico a una posibilidad de integración entre Dinámica de Sistemas (D.S.) e Inteligencia artificial, sin embargo durante la investigación se encontraron diversos caminos de trabajo conjunto entre D.S. y otras matemáticas no recorridos, e incluso algunos no previstos, que permiten de alguna manera ampliar el espectro de representación o simplemente mejorar la calidad del mismo.

La dinámica de sistemas, expresión de la diversidad del Pensamiento Sistémico, en su perspectiva matemática se manifiesta por medio de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales, de las cuales se vale para representar el conocimiento. Al buscar integración entre los útiles matemáticos de la D.S y aquellos correspondientes a otras matemáticas, como es el caso de la Lógica Difusa (L.D.) y las Redes Neuronales (R.N.), se llega a una interacción entre elementos que debido a su diferenciación desde los fundamentos de cada uno, operan con distintos lenguajes formales y procedimientos para el modelado. En este sentido, se puede hablar del surgimiento de nuevas construcciones matemáticas que no corresponden del todo con las ecuaciones diferenciales lineales y no lineales empleadas por la D.S, pero que del mismo modo, no pueden ser asociadas completamente a las herramientas matemáticas de los demás medios para el modelado con que se integra. Esta complejidad que se obtiene, se refleja también en los mecanismos y herramientas necesarias para su construcción y tratamiento posterior, así como para el análisis de los resultados obtenidos.

En cuanto a las “otras matemáticas”, representadas tanto por la tesis inicial como por este trabajo a través de la L.D y R.N., se ha preferido emplear esta designación genérica a cambio de términos como “técnicas de Inteligencia Artificial” por cuanto el conjunto de técnicas o alternativas de modelado disponibles por la Inteligencia Artificial puede resultar poco definido a causa de la falta de unificación en cuanto a los límites del mismo. Adicionalmente, al hablar de “otras matemáticas” se deja abierta la posibilidad de incluir alternativas de representación provenientes de otras áreas de conocimiento, como es el caso de la estadística, que se ha encontrado vinculada a la D.S mediante su uso constante en la consecución de datos, definición de parámetros y pronósticos, así como la teoría de agentes y sistemas multiagentes [Montoya, 2004], [Perez, Hoyos, Moreno, Diaz, 2004].

12.1 POSIBILIDADES DE ACERCAMIENTO

La D.S no es una disciplina aislada de las demás, constantemente recurre a herramientas proporcionadas por diversas áreas del conocimiento, durante el proceso de modelado; este hecho se ve reflejado en la puesta a punto del modelo o calibración del mismo que se realiza por medio de la inclusión de los resultados hallados por los expertos en el fenómeno en estudio. En diferentes oportunidades el modelador se ve involucrado directamente en la recopilación de la información que será suministrada al modelo por

medio de variables exógenas, variables auxiliares y tablas; es en este momento que el trabajo conjunto con otras disciplinas se aprecia, lo más común es utilizar la estadística para determinar valores promedios y tasas que se incluirán en el modelo, sin embargo esta inserción no está sujeta sólo a este tipo de elementos, diversos desarrollos se han realizados en los cuales se emplean otras áreas para agregar mayor consistencia al modelo.

Si en la construcción de un modelo de D.S. de la manera tradicional, se trabaja con elementos de la L.D o R.N, por ejemplo, para reemplazar valores en los elementos y reducir así el uso de la prueba y error u otros métodos empíricos en la creación de multiplicadores y relaciones no lineales, así como de variables exógenas, se puede llegar a un nivel de integración ligera que apunta al modelado de elementos de la D.S. o un modelo apoyado por la L.D y las R.N.. Si se pretende incluir otras áreas se pueden usar las distribuciones de probabilidad de la estadística, sistemas multiagentes o algoritmos genéticos. Pero esencialmente se trabaja aún en un contexto de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales donde valores o conjuntos de valores fueron hallados de manera externa al modelo mediante el uso de diferentes técnicas que proporcionan una mayor fiabilidad de los resultados o una posibilidad de acercamiento. En conclusión, esta es una aproximación de la D.S. a otras matemáticas para la construcción de un modelo que conserva la imagen de un modelo tradicional.

Por otra parte se puede iniciar la construcción del modelo desde otra perspectiva y realizar una mayor integración entre las diversas matemáticas que proporcionan ayuda, en este tipo de construcción algunos elementos del modelo de D.S son reemplazados en el modelo por funciones de otra matemática que se comportan como lo harían al estar usándose de manera independiente, con la diferencia que al estar integrados en el modelo de D.S sus entradas están sujetas a las variaciones de los demás elementos. Este tipo de integración fuerte da como resultado un modelo diferente al común de D.S, puesto que en su creación se incluyen elementos diferentes a las ecuaciones diferenciales lineales y no lineales que definen este tipo de construcción. Para facilitar la denotación del mismo este nuevo modelo será referenciado con el nombre de "modelo integrado".

12.2 EL MODELO APOYADO

La metodología para la creación de este tipo de modelos no ha sido aún formalizada pero se han realizado varias aproximaciones por diferentes grupos de trabajo, entre ellas la propuesta del grupo SIMON de Investigaciones [Luque y Pradilla, 2003], la cual se centra en el cómo ayudar a un sujeto que debe tomar decisiones a minimizar o atenuar la influencia de la incertidumbre en la evaluación y el proceso de decisión, y la realizada previamente por el presente trabajo de grado. Para que sea viable aplicar estos lineamientos metodológicos es necesario que el fenómeno a estudiar pueda ser representado como un sistema. Los elementos de incertidumbre son tratados en el modelo mediante variables lingüísticas cuyo significado depende del experto en el fenómeno y conducen a decisiones de tipo cualitativo.

Una situación no estructurada puede ser contemplada como una situación semiestructurada con un elemento adicional de incertidumbre o "ruido" no estructurado.

La parte semiestructurada se trabaja con variables lingüísticas y L.D mientras que su componente adicional no-estructurado se convierte en el nuevo aspecto no contemplado dentro del estudio del fenómeno, o se deja implícito dentro de los demás componentes del modelo. Una situación no estructurada puede serlo de varias maneras: una de ellas es por causa una naturaleza cualitativa poco definible de los elementos que contempla; otra caso es cuando se tiene incertidumbre acerca de las funciones de membresía y las reglas involucradas en la decisión; y un tercer escenario es en el que el carácter no estructurado se adquiere del amplio desconocimiento acerca del comportamiento futuro del fenómeno que se estudia.

En términos generales se crea un sistema de inferencia que recibe los posibles valores que generará el modelo de D.S, los somete a un proceso de inferencia a partir de las reglas formuladas por el sujeto experto en el fenómeno para luego realizar un proceso inverso que permitirá incluirlas en el modelo por medio de la inserción de tablas que responden a las entradas de acuerdo con las salidas previamente generadas de manera externa por el FIS. Por otro lado, si la situación sobre la que se hace necesario construir un sistema de inferencia presenta no estructuración derivada de la incertidumbre acerca de la forma y valores de las funciones de membresía, así como de las reglas de inferencia que la rigen, una opción es adquirir una cantidad significativa de datos ordenados de entrada y salida para el sistema de inferencia a partir del fenómeno para luego plantear un FIS primigenio que por medio de un proceso Neuro-Adaptativo dará origen a un nuevo sistema que caracteriza de manera aproximada la situación y funciona como una estimación del elemento del fenómeno que se desea representar, esto se conoce como uso de ANFIS (Adaptative Neuro Fuzzy Inference System) y permite la obtención de un sistema basado en reglas de Lógica Difusa a partir del conjunto de entradas y salidas para el FIS.

En este tipo de integración, como se analizó en el capítulo anterior, el mayor impacto sobre el modelado se ve en las etapas de definición del sistema de ecuaciones y de calibrado, ya que al incluir “otras matemáticas”, trabajándolas de manera externa al modelo por medio de la importación de los resultados obtenidos de la ejecución de los sistemas de inferencia difusa en herramientas especializadas para este fin, es posible llevar a cabo el planteamiento del modelo prácticamente sin cambios, mientras que en la creación de las ecuaciones surgen elementos que difieren, en su tratamiento, de aquellos habituales en el cálculo diferencial.

Otro trabajo que emplea este tipo de integración, en el ámbito Colombiano [Pérez y Dyner 2003], hace una adaptación de la Teoría de la Presión Lateral, al caso de la oferta-demanda de recurso humano competente dentro del panorama nacional Colombiano. En este trabajo se recurre a la L.D para modelar los criterios de evaluación involucrados en la decisión de determinar, de un grupo de personas, los individuos que únicamente requieren una certificación y aquellos que deben reforzar sus competencias, esto frente a las exigencias de recurso humano calificado del sector productivo y a la oferta del sector educativo.

12.3 MODELO INTEGRADO

Otra opción de integración entre D.S y “otras matemáticas”, surge al tratar de evitar las limitaciones presentes en el proceso de conjunción anterior. En la elaboración de modelos bajo esta perspectiva, los elementos de proveniencia diferente a las ecuaciones diferenciales propias del modelado de D.S., mantienen su representación original, es decir, mantienen el carácter propio de sus fundamentos matemáticos mientras que se involucran de manera directa en el modelo. En este caso, aquellos aspectos de la situación de estudio que han sido tratados por “otras matemáticas”, pueden ser vistos como sub-modelos cuya ejecución en tiempo de simulación da paso a la interacción de sus construcciones con aquellas de D.S. De esta forma, el modelo obtenido, no corresponde del todo con un modelo de D.S, y de la misma manera, tampoco se puede asociar por completo a un modelo de cualquiera de las otras áreas de conocimiento involucradas en su construcción.

El desarrollo de este tipo de modelos se lleva a cabo seleccionando de manera previa a la construcción del diagrama de influencias, los elementos que serán representados por la L.D (u otra matemática según sea el caso), cuáles son las variables que los afectan y las que se verán afectadas por los mismos. Posteriormente se seleccionan las funciones de pertenencia que determinan los niveles de las entradas y convierten la información de entrada cuantitativa en cualitativa, más cercana a la percibida por un individuo u organización, estas son evaluadas por una serie de reglas proporcionadas por los expertos en el fenómeno y luego, por medio de un sistema defuzzificador, son regresados al modelo como un valor numérico que es usado por el mismo, todo esto en tiempo de simulación. En el caso aquí presentado se aprovechan las posibilidades del software de apoyo al modelado Evolución 3.5 [Cuellar y Lince 2003] para usar librerías dll y de esta manera importar, en este caso, los sistemas de inferencia difusa implementados una herramienta especializada para tal fin.

Esta nueva forma de acercamiento entre Dinámica de Sistemas y “otras matemáticas” obliga a generar una metodología para el modelado de manera que se disponga de estrategias y medios para facilitar la comprensión por parte del cliente de su papel dentro del modelado y para ofrecer claridad al momento de presentar los resultados de dicho proceso, también para mantener la continuidad con trabajos anteriores e incluso la reutilización de elementos propios del prototipado evolutivo el cual es característico en la creación de modelos dinámico-sistémicos.

Esta innovación, en concordancia con muchas otras, da lugar a una serie de preguntas, las cuales deben resolverse para brindar la mayor cantidad posible de información acerca de la misma, esclarecer la nueva metodología y tratar de determinar la utilidad de los enfoques integradores, además de facilitar un proceso de transición que le dé acogida; entre más información se le brinde a los futuros modeladores o usuarios de la integración, se encontrará más disposición de los mismos para aceptarla y emplearla.

Es difícil asignar la paternidad de este tipo de integración a cualquiera de las áreas de conocimiento involucradas en el proceso, se podría afirmar que se está realizando una integración entre D.S y otras matemáticas, puesto que se parte del proceso para generar un modelo de la primera, pero se debe recordar que este método guarda muchas similitudes con la construcción de modelos matemáticos en general. Si se afirma

entonces, que la mayor parte del trabajo sigue siendo una manipulación de ecuaciones diferenciales lineales y no Lineales, se puede objetar que al verse desde otra perspectiva sería un trabajo de “otra matemática” apoyado por la D.S., es por tanto complejo aún seleccionar una “paternidad” para los modelos así contruidos y un título que los identifique sin eliminar posibilidades.

Esta nueva alternativa integradora aborda las situaciones de diferente manera y puede requerir diversos útiles para la representación. Esto lleva a plantear un interrogante sobre las herramientas software para apoyo al proceso de modelado que serían necesarias, ya que podrían surgir nuevos componentes en los modelos a simular, nuevos procesos y mecanismos para llevar a cabo la ejecución del modelo, lo que implicaría la necesidad de nuevos elementos para la representación de los tipos de variables que puedan surgir y facilidades para exportar los resultados, obtenidos a través de herramientas ya existentes o nuevas, para su posterior importación a otros útiles que continúen con el apoyo al proceso de modelado.

13. LA CIENCIA SOCIAL

Para el observador casual la ciencia social no posee reglamentos completos, ni objetivos adecuadamente definidos ya que estos últimos pueden ser tan variados como la simple curiosidad o la necesidad de descubrir soluciones a problemas políticos y de acción social que se consideran urgentes. El fin de sus “reglas” no es proporcionar un entorno agradable y prolífico para el trabajo futuro, sino proporcionar medios para hallar soluciones efectivas a grandes problemas sociales.

Si se toma como guía las numerosas experiencias investigativas realizadas a lo largo de cientos de años de trabajo de las ciencias naturales y biológicas, se puede afirmar que las técnicas tienden a perdurar más que las teorías que les dieron origen. Por ejemplo, se sabe que los alquimistas estaban bastante equivocados acerca de la naturaleza de la materia, pero las técnicas experimentales que emplearon en su búsqueda de la meta de la transmutación y el conocimiento incidental que obtuvieron sobre el comportamiento de la materia, aun tienen gran importancia para la química. Aunque las modernas técnicas químicas se perfeccionaron y refinaron muchísimo, aun es posible reconocer sus orígenes en la alquimia.

Dada la inmadurez de la ciencia social no se puede condenar ningún método que evite el conflicto con las reglas y orientaciones básicas de toda ciencia, y que en cualquier sentido aumente la comprensión y la visión del hombre acerca de los asuntos sociales. Sin embargo no se impide realizar un análisis crítico de diversos modelos generales que se han usado a través de la historia de la ciencia social para estudiar las organizaciones y las sociedades de acuerdo con la mentalidad de la época.

Los modelos mecánicos y orgánicos que sirvieron de base para la especulación teórica en las etapas iniciales de la sociología, son vistos con grandes dudas por los nuevos científicos sociales, y calificados por algunos incluso como retrógrados, a causa de la gran cantidad de progresos que se han alcanzado en sociología en los últimos veinte o treinta años.

13.1 LA FÍSICA SOCIAL

Durante el siglo XVII la física, la mecánica y la matemática obtuvieron progresos a una velocidad asombrosa, por ello los numerosos estudiosos de la época se volcaron a interpretar al hombre, la mente y la sociedad humana, según los conceptos, supuestos y métodos de aquellas disciplinas, en un afán de conseguir resultados con la misma efectividad y al mismo ritmo. Surgió entonces la física social del siglo XVII, doctrina según la cual el hombre es un objeto físico, una especie de compleja maquinaria cuyas acciones y cuyos procesos psíquicos podían ser analizados de conformidad con los principios de la mecánica.

La sociedad fue vista por la “mecánica social” como un “sistema astronómico”, en el cual los seres humanos eran elementos unidos por la atracción mutua o separados por la

repulsión; los sistemas sociales eran sistemas de oposición en equilibrio. Muchas de las definiciones de la física fueron aplicadas al hombre y la sociedad dentro de un marco de connotaciones por completo diferentes. Así pudo llegarse a la noción de “espacio social” o “moral” en el que ocurren los hechos, y se habló también de la “posición” dentro del espacio social. Un “sistema de coordenadas sociales” definía el lugar del hombre dentro de dicho “espacio”. Los procesos sociales resultaban de la “gravitación”, o de la “atracción” e “inercia” que obraban sobre individuos y grupos, organizados estos últimos en “sistemas en equilibrio de fuerzas centrífugas y centrípetas”. La organización social, la autoridad y el poder no eran sino consecuencias de las “presiones” originadas en los “átomos” y “moléculas” sociales; no debe, pues, extrañar la aparición de una “estática” y “dinámica” sociales.

Esta visión de la sociedad como un sistema físico que responde a elementos externos para poder cambiar, no lograba explicar el comportamiento humano en términos causales. Aunque el telos o propósito de las cosas había sido declarado ilusorio a razón del experimento de Galileo que demostraba que los objetos no seguían su telos como lo propuso Aristóteles muchos años atrás, la conducta humana se hallaba más allá de la simple interacción de fuerzas que modifica los sistemas mecánicos, es difícil desconocer que la acción humana es acción con sentido, con propósito. Frecuentemente se actúa porque lo que se hace es significativo, no porque se responda a un estímulo, esto implica hacer cosas contradictorias, que van en contra de los deseos y las necesidades del momento, ingresar en un edificio en llamas a rescatar una persona contradice el sentido de supervivencia en ese instante, este tipo de actos heroicos o aun tareas más sencillas como hacer los deberes antes de satisfacer los deseos, son de gran significado para la vida de los humanos. Con la visión mecanicista estas acciones quedaban fuera del ámbito científico, temas tan importantes para la humanidad como el trasfondo ético y los fines trascendentes que deben orientar la acción humana.

13.2 LA SOCIEDAD BIOLÓGICA

La analogía organísmica es muy conocida por la comunidad científica y consiste en comparar las sociedades con organismos vivos. Esta analogía data de mucho tiempo atrás, pero su uso científico, con propósitos serios, no suele remontarse más allá del siglo XIX; de la misma forma que el modelo mecánico correspondió a una época de adelantos en física, el modelo orgánico de la sociedad se inspiró en los adelantos de la biología.

Es importante hacer una distinción entre “analogía organísmica” y “modelo orgánico”, siendo este último más general. “Los sistemas biológicos se dan, por supuesto, en más de un nivel: la organización y la dinámica de un organismo aislado, individual, son distintas de las que pueden observarse cuando la unión de muchos organismos conforman especies o sistemas ecológicos.” Sin embargo la mayoría de los científicos sociales de la época tomaron una decisión desafortunada y hasta cierto punto ilógica, pues en una era dominada por las teorías darwinianas, se inclinaron por usar la analogía organísmica al comparar los sistemas sociales con organismos individuales, ignorando la teoría de Darwin que hace clara referencia a las especies y la filogenia, y no a los individuos y la fisiología.

Si se comparan las dos analogías, tendría más sentido afirmar, por ejemplo, que las sociedades son como las especies, ya que tanto la conservación como el cambio de estructura son rasgos característicos de ambas; Que ni las especies ni las sociedades “mueren” como lo hacen los organismos; y que en la evolución, la lucha no se libra por la “supervivencia” de los organismos individuales, sino que se trata de una lucha por la estructura.

Para tratar el sistema sociocultural, se requiere una expresión diferente a la de equilibrio ya que esta ha llegado a tener un significado mas o menos exacto en su aplicación a estados fisicoquímicos relativamente simples, a sistemas cerrados, donde las fuerzas conocidas están contrapesadas, y a “homeostasis”, que fue acuñado para evitar las connotaciones estáticas de la palabra equilibrio, y destacar, al mismo tiempo, las cualidades dinámicas, procesales y de mantenimiento del potencial de los sistemas fisiológicos, básicamente inestables, que refleje no sólo el rasgo de mantenimiento de la estructura sino también de la elaboración estructural y el rasgo cambiante de un sistema intrínsecamente inestable; es decir, un concepto de morfogénesis. La idea de estado constante, utilizada ahora con frecuencia, se aproxima a esta concepción, o la permite, esto si se entiende que el “estado” que tiende a permanecer constante no debe ser identificado con la estructura particular del sistema. Es decir: para mantener un estado constante, es posible que el sistema deba modificar su estructura particular.

Los funcionalistas recurren a la analogía organísmica, y ello los conduce a hacer particular hincapié en los aspectos del sistema social más estables, sobredeterminados, y más fundamentados normativamente, a expensas de otros aspectos de igual importancia, prescindiendo de los cuales se vuelve imposible el análisis dinámico. Esto responde, en parte, a la búsqueda del equivalente social de la estructura relativamente fija que el organismo posee, en relación con la cual los funcionalistas biológicos pueden estimar la normalidad y la anormalidad, la salud y la enfermedad, y buscar los mecanismos de mantenimiento automáticos y homeostáticos.

13.3 EL MODELO PROCESAL

Fue predominante en la sociología norteamericana de principios del siglo XX, especialmente bajo el liderazgo de la “escuela de Chicago”. Quizá no pueda afirmarse que esta perspectiva se desarrolló sistemáticamente hasta alcanzar un estado que justificara el rótulo de modelo; asimismo, gran parte de la inspiración del movimiento provino de ciertos aspectos de la analogía orgánica, y aún a veces, halló espacio para el concepto de equilibrio, si bien en principio se opuso a él. No obstante, interesa particularmente destacar que el concepto de proceso ha contribuido mucho a revelar los defectos de los modelos mecánicos y organísmicos de la sociedad; dicho concepto armoniza en grado considerable con los principios básicos de la cibernética, e incluso los anticipa.

En esencia, la forma típica del modelo procesal concibe a la sociedad como una interacción compleja, multifacética y fluida, de muy variables grados e intensidades de asociación y disociación. La “estructura” es una construcción abstracta; no es diferenciable del proceso interactivo en desarrollo, sino que constituye, más bien, una representación temporal y complaciente de éste en un momento dado. Estas

consideraciones llevan a una idea fundamental: los sistemas socioculturales son intrínsecamente elaboradores de su estructura y cambiantes. Dicho en otros términos, las sociedades y los grupos modifican constantemente sus estructuras adaptándose a las condiciones internas o externas. Por lo tanto, el proceso concentra la atención en los actos y las interacciones de los elementos integrantes de un sistema en desarrollo, de modo que diversos grados de estructuración de éstos surgen, persisten, se disuelven o cambian.

“La experiencia humana crea un proceso de asociación... la asociación deviene en proceso acelerado de diferenciación o de permuta de intereses dentro del individuo, y de contactos entre los individuos y grupos en que aquellos se combinan. Como elemento incidental de esta persecución de propósitos, y del proceso de adaptación interpersonal resultante de aquella, los individuos entran en relaciones estructurales mutuas más o menos persistentes, denominadas en general “instituciones”, y en ciertas orientaciones más o menos permanentes de esfuerzo, a las que podríamos llamar funciones sociales. Estas estructuras y funciones sociales son, en primer lugar, resultado del precedente proceso de asociación; pero no bien superan el estado de fluidez y pasan a una condición relativamente estable, se convierten a su vez en causas de etapas posteriores del proceso de asociación”²³

Usualmente en los estudios de la ciencia social se concibe falsamente a la estructura como estática, y al cambio como patológico, cuando sería más conveniente establecer la primacía del cambio, considerando a la estructura como el modo en que la móvil realidad se traduce, para el observador, en observación artificial de un instante. Las estructuras sociales son pues, solo secciones del proceso, que está cambiando y desarrollándose en el tiempo y en el espacio.

Para complementar se puede agregar la posición de los teóricos de la personalidad, que repudian la noción estática de la misma, ya que al concebirla como un sistema abierto, se define como un sistema incompleto, que manifiesta diversos grados de orden y desorden, que posee estructura y función, pero también inestructura y disfunción, y a pesar de todo, se aprecia que la personalidad está bastante bien trabada, por lo cual merece la denominación de sistema. Concepciones como estas constituyen un criterio que ahora desarrollan otros bajo el rotulo de “teoría de la decisión”.

13.4 LA PERSPECTIVA DEL PENSAMIENTO SISTÉMICO.

Aunque a simple vista la Teoría General de los Sistemas es un concepto “nuevo” se puede observar que es en realidad es la culminación de un amplio desplazamiento de la perspectiva científica, que se aleja poco a poco de las visiones mecánicas y organísmicas del mundo que ponen demasiado énfasis en los principios de organización, ignorando en muchas oportunidades la sustancia de lo que se organiza. Los modelos previamente expuestos aunque útiles se han visto en muchos predicamentos a la hora de ser aplicados en los sistemas socio-culturales y han sido duramente criticados por los expertos de la ciencia social. La Dinámica de Sistemas, expresión de la diversidad del Pensamiento

23 Albion W. Small, General Sociology, Chicago: University of Chicago Press, 1905, Págs. 619-620

Sistémico, en su perspectiva matemática ha logrado un acercamiento a la ciencia social y trata de prestar sus herramientas de modelado para brindar una mejor comprensión de los complejos sistemas sociales.

Probablemente el factor que ha determinado un diferente desarrollo para las ciencias físico-matemáticas que para las ciencias sociales reside en la habilidad del especialista en las primeras para realizar experimentos controlados. Trabajar bajo condiciones controladas es de gran conveniencia para el científico estudioso de las ciencias naturales, puesto que la mayor parte de los hechos no artificiales en el campo de las ciencias naturales ocurren ante un número considerable de influencias simultáneas y además tienden a presentarse de forma esporádica. El precio que se paga por trabajar en condiciones controladas es imponer a los resultados una simplicidad que les resta legitimidad y autenticidad.

Un ejemplo concreto en otra ciencia se describe en “Las herramientas de la ciencia social” de John Madge, “Es posible que una reacción química solo ocurra en presencia de elementos específicos, y a una temperatura y presión determinadas; la reacción misma puede generar calor, pero sólo continuará si es posible alejar este calor de modo que no exceda la temperatura adecuada. Aunque las circunstancias que se requieren puedan “mantenerse” por separado, al reunirlos constituyen un sistema de interacción, y ya no es posible tratarlos como elementos aislados”.

El especialista de las ciencias sociales rara vez es capaz de descomponer su sistema en partes ni de experimentar con los componentes independientemente, por esto el concepto de holismo se encuentra más diversificado en éstas, para sus investigadores es más aconsejable tratar lo que sucede como una situación o proceso complejo y no como una cantidad de cosas diferentes que reaccionan entre sí para producir otro conjunto de cosas. Como lo expresara Lewin: “En el campo social, como en el físico, las propiedades estructurales de un todo dinámico son diferentes de las propiedades estructurales de sus subpartes. Es preciso investigar ambos conjuntos de propiedades. La importancia que se otorgue a uno u otro en determinado momento depende de la pregunta a la cual deba responderse. Pero entre ambos no existe una diferencia de realidad”

Hasta ahora el progreso de la ciencia estuvo a cargo de los trabajos especializados, aquellos que permitían la capacidad mental para concentrarse en algún aspecto particular del ambiente y considerarlo como aislado. Si bien esta tendencia continua manifestándose, muestra signos de desgaste, incluso es posible que termine siendo desplazada por las necesidades de unificación del conocimiento. En el campo de las ciencias sociales, el desarrollo de un enfoque integrado fue más notable en el caso de la antropología. La especialización no se adecua a las situaciones en que los antropólogos efectúan sus trabajos de campo. Todo estudioso profesional se vio obligado a adquirir cierto conocimiento de los medios disponibles para conocer diferentes aspectos del ambiente del hombre. Su trabajo se vio facilitado por el relativo aislamiento y el escaso tamaño de las poblaciones estudiadas, menos de dos mil habitantes. De esta necesidad / oportunidad nació la antropología cultural, cuyos miembros se dedicaron a estudiar la pauta social total de la conducta social y el ambiente hecho por el hombre. Además existen amplias pruebas de que quienes enfocan el estudio de las relaciones desde el punto de vista global aumentan la riqueza de su comprensión.

Un inconveniente extra que posee el científico social sobre los de otras ramas de la ciencia, es que está obligado a lograr y conservar la cooperación de sus sujetos de estudio, y esto demanda una sensibilidad y una capacidad social que en ciertas circunstancias puede hacer que el procedimiento de obtener resultados sea aún más importante que el registro “científico” de éstos. La visión holista de las sociedades, como la antropología cultural, responde a las necesidades de la ciencia social de manejar hechos complejos, pero se ha puesto en duda su capacidad para transmitir el conocimiento adquirido. La dificultad básica parece estar en el hecho de que, a pesar de que el observador cuenta tanto con su experiencia directa como con su preparación conceptual para comprender en su conjunto la cultura que estudia, sólo puede comunicar esta comprensión en forma organizada mediante la presentación ordenada de los rasgos seleccionados como significativos. A menos que el lector al leer el informe del observador pueda experimentar la vivencia exacta de éste en la comunidad, la comprensión sólo se transmitirá en forma imperfecta.

Esta preocupación también se encuentra presente en el trabajo con Dinámica de sistemas en especial por la forma en que son contruidos los modelos dada la necesidad de trabajar con diversos expertos en el tipo de situación a estudiar. Para la construcción de un modelo el especialista en dinámica de sistemas interroga a especialistas en el sistema que se trata de modelar. A partir de la información que éstos le suministran, se constituye la estructura del modelo, que no es única y su establecimiento, depende en gran medida, de la capacidad y experiencia del constructor del mismo. Por suerte, una de las ventajas de la metodología de la Dinámica de Sistemas para la construcción de modelos de sistemas sociales radica en la sencillez de su proceso de modelado, que produce resultados esencialmente honestos al poner de manifiesto, por medio de diagramas comprensibles por parte de los clientes y de los expertos en el fenómeno, la estructura de éste, lo que les permite criticar de manera efectiva y constructiva los falseamientos que se puedan presentar en la construcción del modelo, al tiempo que busca un vocabulario común que facilite la transmisión del conocimiento adquirido durante la creación del modelo y mejore la comprensión del fenómeno analizado.

En resumen el enfoque moderno de los sistemas es atractivo para la sociología porque busca:

1. Un vocabulario común, unificador de las diversas disciplinas de la conducta.
2. Una técnica del tratamiento de la organización amplia y compleja
3. Un enfoque sintético que no tolera el análisis fragmentario, en razón de la imposibilidad de tratar, fuera del concepto total, las complicadas interrelaciones de las partes
4. Un punto de vista que refleja la esencia de la sociología, porque concibe el sistema sociocultural con referencia a redes de información y comunicación
5. El estudio de las relaciones antes que de las “entidades”, atribuyendo especial importancia al proceso y a las probabilidades de transición en cuanto bases de una estructura flexible, con muchos grados de libertad
6. Un estudio definible operacionalmente objetivo y no antropomórfico de la intencionalidad, la conducta sistémica persecutoria de metas, los procesos cognoscitivos simbólicos, la conciencia y la autoreferencialidad, y la emergencia y la dinámica socioculturales, en general.

13.5 EL CARÁCTER IMPREDECIBLE DE LA CONDUCTA HUMANA

Un punto que hasta el momento se encuentra libre de deliberación por parte de la ciencia social es el carácter impredecible de la conducta humana. Sin embargo su razón no esta del todo alejada de la controversia, algunos proponen que la conducta humana no esta sometida, en su totalidad, a factores determinantes, sino que todo individuo tiene posibilidad de elección (libre albedrío), lo que permite modificar su comportamiento independientemente de las fuerzas que actúan sobre el; Por otro lado, otro grupo se inclina por la perspectiva que enseña que la conducta humana está completamente determinada por las circunstancias, pero éstas son tantas y tan incognoscibles en todas sus ramificaciones, que jamás podrá predecirse como responderá cualquier individuo o grupo a una situación determinada.

No existe en realidad una necesidad en determinar cuál de las propuestas posee una mayor validez mas que la curiosidad y la sed de conocimiento, pues en este contexto la importancia radica en el aspecto no determinístico de la conducta humana. El científico social se dedica a distinguir y reconocer asociaciones causales cuando éstas aparecen, su conocimiento permite, en cierta medida, efectuar predicciones y controlar la conducta. Sin embargo no existe forma alguna de lograr el conocimiento completo de todas las circunstancias para hacer predicciones exactas de las conductas de los individuos o los grupos.

Ciertos aspectos de los sistemas sociales pueden ser convenientemente estudiados con ayuda de modelos matemáticos. Estos aspectos son aquellos en los que se encuentran involucrados elementos que son fácilmente caracterizables con ayuda de variables cuantitativas; por ejemplo, aspectos demográficos en los que la población es claramente cuantificable, sin embargo existe una gran cantidad de elementos para los cuales se dificulta el trabajo de hallar valores numéricos que los representen adecuadamente. Aunque esta objeción es valida para algunas variables, no es suficiente para anular el intento de obtener modelos formales de los sistemas sociales. En los inicios históricos del estudio de aplicaciones de las matemáticas a campos nuevos, siempre parece haber una pérdida de terreno por las necesarias formalizaciones y las consiguientes restricciones, en distintos aspectos, del objeto estudiado; sin embargo la historia de la ciencia muestra cuán fructíferos son, a largo plazo, estos intentos.

Diversos trabajos han logrado acercar los modelos matemáticos con ayuda de la simulación por computador al estudio de los sistemas sociales, pero los métodos investigativos creados para la ciencia social por las restricciones y formalizaciones demandadas por la matemática, deben ser observados con sumo cuidado, ya que algunos crean una simplicidad mayor que la requerida para aislar el problema que se desea resolver o el tema sobre el cual se esta investigando, las conclusiones que se alcanzan limitando la atención a los factores fáciles de enumerar o medir son triviales o insignificantes. Es muy común utilizar el estudio de individuos mediante la observación empírica puesto que se obtiene mayor información por medio de la entrevista o el cuestionamiento conductivo, pero la selección de individuos presenta una dificultad mayor a la hora de probar hipótesis para las sociedades o grupos de diversa índole, sin embargo no impide la realización de una forma de análisis en la cual los datos atomizados vuelvan a combinarse para obtener una imagen total de una situación de grupos.

El uso de las estadísticas, y en especial de las muestras estadísticas, tiene la ventaja de que permite al investigador hacer afirmaciones generales sobre las bases de observaciones representativas. Sin embargo surge una lucha a causa de las restricciones en el uso de los materiales. En muchas ocasiones se presenta un conflicto entre el ideal estadístico del material, que puede analizarse con facilidad en los elementos simples y manejables que lo componen, y el descriptivo del material que presenta precisamente, pero sin pérdida de la unidad, las características esenciales y únicas de cada individuo o grupo; en el primer extremo se encuentran el tipo de datos obtenidos por los cuestionarios masivos, en gran cantidad y con respuestas claras (si, no, no se), y en el otro extremo la biografía espontánea, que proporciona bastante información sobre el individuo, pero en si misma es sumamente difícil de utilizar en forma “objetiva”.

Usualmente al realizar un análisis estadístico se obtienen datos que apuntan a comportamientos generales de individuos o grupos similares en una situación particular, si estos son utilizados para realizar predicciones y los resultados numéricos obtenidos de este proceso a su vez son empleados para tomar decisiones, se obtienen sistemas rígidos que en muchas oportunidades ignoran completamente el carácter impredecible de la conducta humana y que requieren una modificación completa del sistema para obtener valores de acuerdo con cada escenario en particular. Por simplicidad al incorporar la estadística a los modelos creados para dinámica de sistemas se emplean tasas y valores promedios que distan de ser el ideal para el análisis social de fenómenos.

Es en este punto que la lógica difusa con su capacidad de analizar diversos matices de una misma situación facilita el trabajo de los investigadores al ofrecerles un lenguaje común que los acerca a la información obtenida por medio de métodos menos estrictos que el cuestionario masivo y más cercanos a la biografía espontánea, al darle valores numéricos intermedios a los datos eliminando la necesidad de la certeza absoluta y permitiendo la inclusión de una “escala de grises” que acerca el análisis matemático de los modeladores sociales a las realidades encontradas por los mismos, y que con suerte ayudará a encontrar un punto medio entre las conclusiones insatisfactorias a causa de su incertidumbre producto de ser alcanzadas sin métodos exactos de validación, y aquellas que se consideran insignificantes, triviales, o ambas puesto que se limitó la atención a los factores fáciles de enumerar o medir.

Además, se puede afirmar, que algunas conductas o reacciones específicas humanas se pueden representar por medio de una colección de reglas que operan sobre un conjunto de variables cualitativas percibidas por el ente a representar, si bien los seres humanos no funcionan como un sistema basado en reglas, sus predisposiciones habituales sobre una situación en particular en la que se tiene cierto grado de experticia, admite en muchos casos, una representación de ese tipo.

Una situación afín, es la reacción esperada de un grupo grande de personas en el que el comportamiento de la masa, en términos generales, sigue unas pautas mucho más sencillas e identificables que las correspondientes a cada individuo, lo que permite un mejor nivel de predicción sobre su comportamiento, y por lo tanto susceptibilidad de ser caracterizado por medio de sistemas de inferencia difusa, que ciñéndose a las reglas de comportamiento suministradas por un experto ayudarán a predecir de manera satisfactoria las decisiones que tomará un conjunto grande de individuos, ya que el factor cultural determina en una comunidad una serie de preconcepciones y lineamientos de

conducta que pueden ser definidos empleando reglas que luego se convertirán en FIS, para períodos en los cuales estas estructuras de comportamiento y de pensamiento no sean modificadas por factores internos o externos.

14. LA PIRATERIA MUSICAL

Piratar: Cometer acciones delictivas contra la propiedad, como hacer ediciones sin permiso del autor o propietario, contrabando, etc.

La piratería musical es un tema que ha ido cobrando importancia a medida que las empresas encargadas de mover el negocio discográfico se han ido pronunciando cada vez más en contra de ella y llegando incluso a tomar medidas legales en contra de aquellos que a su parecer la promueven y también, empleando recursos tecnológicos para dificultar al máximo la copia del material discográfico original. Sin embargo, las expresiones en contra de la piratería musical emitidas por la industria discográfica mundial no son las únicas voces que se pronuncian sobre este tema, diferentes asociaciones y expertos han asegurado que la piratería no afecta realmente el volumen de ventas de las empresas disqueras, lo cual es el principal argumento de la industria para estar en contra de esta práctica.

Se trata de un tema que en términos globales suscita mucha controversia ya que por un lado se sostiene que el fenómeno de la piratería musical es el responsable por la caída de ventas que ha experimentado la industria musical en los últimos años, mientras que por otra parte se afirma que dicha reducción en la captación de recursos mediante las ventas de material discográfico se debe a otros factores encabezados por la impasibilidad de la industria ante los reclamos de los consumidores por los excesivos precios impuestos por estas empresas a su material musical legal. Adicionalmente, se sostiene que la distribución no autorizada de música, hasta cierta medida, favorece al mercado legal al despertar el interés de los consumidores que pueden dar una mirada previa al producto antes de adquirirlo, lo que constituiría un nuevo canal de promoción.

En consecuencia, para estudiar el fenómeno de la piratería es necesario tener en cuenta cada una de las posiciones y perspectivas manifestadas al respecto con el ánimo de obtener complemento entre unas y otras para así permitir el estudio del fenómeno desde un enfoque sistémico apoyado en la dinámica de sistemas como lenguaje de representación.

14.1 LA PERSPECTIVA DE LA INDUSTRIA DISCOGRÁFICA

La posición oficial de la industria discográfica se encuentra recogida por la RIAA²⁴ y parece manifestar un principio sencillo como punto de partida para contemplar la piratería como un problema que afecta su economía: *Nadie paga por algo que ya está recibiendo de manera gratuita*. Esta idea fundamental lleva a pensar que la piratería es el principal, si no el único, causante de la reducción en ventas que ha experimentado la industria discográfica en los últimos años²⁵. A causa de ello la RIAA ha efectuado diversas

24 Recording Industry Association of America. Recording Industry Association of America. [en línea]. Dirección URL:<<http://www.riaa.com>> [Consulta: 3 Oct 2004]

25 Press Room of the Recording Industry Association of America. RIAA Releases 2001 Physical Anti-Piracy Figures. [en línea]. Dirección URL:<<http://www.riaa.com/news/newsletter/040502.asp>> [Consulta: 3 Oct 2004]

campañas publicitarias que fomentan la adquisición de música legal y animan a los consumidores a evitar cualquier contacto con material ilegal. Para probar su punto, han realizado numerosos estudios y análisis que muestran la elevada reducción en sus ventas y el gran mercado que tiene la piratería en el mundo, sin embargo, la mayoría de ellos, si no todos, parten de una premisa que les hace suponer que si las personas no compraran piratería se volcarían a adquirir los productos de la industria legal, es decir, que todas las ventas ilegales se transformarían en ventas propias ignorando la correspondiente pérdida de compradores ocasionada por la migración y variación de precios.

Además de las campañas publicitarias, la industria musical ha llevado a cabo otras acciones de carácter más directo. Este es el caso de la exhortación a la persecución por parte de las autoridades contra las redes de distribución de copias ilegales de material protegido por derechos de autor, operaciones que han permitido la incautación de significativas cantidades de material no autorizado, acciones que se han presentado por todo el mundo y se repiten cada vez que es posible para la fuerza pública hacerlo; estos operativos han permitido, además de impedir la distribución del material decomisado, un mayor conocimiento acerca de las operaciones y estructura que poseen las organizaciones al margen de la ley que se encargan de manejar este negocio ilegal, aspecto que se retomará más adelante dentro de este mismo documento. Adicionalmente, dependiendo del lugar del mundo en el que se esté observando el fenómeno, las incautaciones y detenciones se extienden también a los vendedores ambulantes que distribuyen los cd's al detal y que los adquieren de las mencionadas organizaciones ilegales; dicha persecución a los vendedores callejeros depende del país en donde se den los hechos porque en la gran mayoría de los casos quienes desempeñan esta labor son personas de escasos recursos económicos, inmigrantes, desempleados y demás, lo que hace a veces difícil para los gobiernos su persecución ya que eliminarles esa fuente de ingresos puede representar un aumento en los índices de criminalidad, ya no por cuenta de la piratería, sino por cuenta de la delincuencia común al verse forzadas estas personas a buscar un sustento para sus familias mediante otras actividades tal vez más perjudiciales para la comunidad.

Las acciones de tipo legal en contra de la piratería, además de haberse dado frente a las redes de distribución de cd's no autorizados las cuales son estructuras con carácter lucrativo, también se han dado como represalias dirigidas a los usuarios de Internet que comparten de manera gratuita la música en formato digital que poseen dentro de sus equipos. Estas personas, aunque no obtienen ganancia alguna, están llevando a cabo la distribución por la red de material protegido por los derechos de autor y que pertenece a las respectivas casas disqueras que representan a los artistas. Es así como la RIAA ha iniciado en Estados Unidos una campaña legal orientada a instaurar demandas civiles contra los usuarios de los servicios de intercambio de archivos P2P²⁶ (Peer to Peer) que comparten una cantidad significativa de canciones protegidas por copyright. Esta medida, sin embargo no es aplicable a cada usuario de las redes de intercambio de archivos, en lugar de ello se desea conseguir una cierta cantidad de sanciones ejemplares que

26 Valbuena Delgado, Diana Carolina. Redes Peer-to-Peer. Revista ConeXXion EISI de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática Universidad Industrial de Santander, Tercera Edición. [en línea] Dirección URL: <<http://cormoran.uis.edu.co/conexxion/infoYsisistemas/RedesPeer.htm>> [Consulta: 25 Oct 2004]

desalienten a los usuarios de este tipo de servicios, de esta manera se han planteado millonarias demandas amparadas en los derechos de autor, que en la mayoría de los casos llevan a acuerdos extrajudiciales por menores montos.

En cuanto a medidas de protección sobre el medio físico de distribución, el CD, se han presentado dos principales tipos de medidas. La primera de ellas consiste en las protecciones de carácter técnico diseñadas para impedir la acopia parcial o total del medio original. El problema que se ha presentado con este tipo de medidas es por un lado su efectividad solamente temporal debida a que después de un corto periodo de tiempo suelen aparecer mecanismos para estas protecciones, y por otro lado el incremento en los costos de producción del material discográfico que la implementación de estas barreras de seguridad supone.

Otra medida tomada sobre el medio físico de distribución, puede ser vista más como una compensación, como una acción *a posteriori* en contra de la copia ilegal de música. Dicha medida se conoce como el “Canon a los CD’s vírgenes” y consiste en un sobre-costeo gravado en el precio de venta de cada CD virgen que se venda en el mundo y es vigente desde Septiembre del año 2003. Este Canon surgió como una medida económica para subsanar, en parte, los perjuicios causados por la copia no autorizada del material discográfico. La gran polémica suscitada a partir de este gravamen se deriva mayoritariamente de un aspecto fundamental del uso de los CD’s vírgenes y las unidades que los emplean. El uso de CD’s vírgenes va más allá de la simple reproducción musical, estos medios de almacenamiento son empleados con frecuencia por las empresas para realizar copias de seguridad de información y software de su propiedad/autoría; y por otra parte está el conocido derecho a la copia privada bajo el cual cualquier persona puede crear copias de seguridad de cualquier material de su propiedad única y exclusivamente con fines personales, precisamente se busca que el canon compense las pérdidas por el ejercicio de este derecho, sin embargo, así como sucede con el uso empresarial de el medio de almacenamiento óptico, en la copia privada también se reproduce otro tipo de material como software, documentos, fotografías, videos no-musicales, datos y demás tipos de material adquirido o producido de manera privada y no empresarial.

El otro tipo de acciones orientadas a proteger el medio de distribución físico consiste en las medidas desde la parte de mercadeo, las cuales han llevado a la creación de diferentes versiones de una misma producción musical, lo cual consiste en ofrecer tres alternativas de presentación y precios: Una opción de lujo que ofrece el CD de la producción más una serie de elementos adicionales como DVD, colecciones de fotos, booklets más elaborados y una caja de lujo. La alternativa intermedia es igual a lo que se distribuye actualmente, no es tan costosa como la edición de lujo, pero tiene una buena presentación y sigue ofreciendo el booklet habitual y la carátula. La tercera forma de distribución es una versión simplificada que no tiene ni carátula, ni booklet y que lleva los contenidos impresos directamente sobre el CD. Esta última alternativa es denominada como CD anti-piratería y a pesar de no disponer de protección digital contra copia, busca ofrecer una copia legal del producto musical a un costo bastante reducido que aunque es más alto que el de una copia ilegal, es bastante reducido y permite que el consumidor disponga de una copia legal a bajo costo. Cabe aclarar que en muchas ocasiones, las copias ilegales carecen de carátula o poseen una muy sencilla, y no incluyen booklets, lo que hace que las versiones de CD anti-piratería puedan competir con el material no

autorizado. Esta medida en particular ha sido implementada por el consorcio BMG en Alemania y ha gozado de una significativa acogida entre los consumidores.

14.2 PERSPECTIVAS DESDE OTROS SECTORES

Cuando se trata el tema de la piratería en la industria discográfica suele considerársele sin hacer distinción entre la copia y comercialización del medio físico de distribución (CD) con fines lucrativos, y la copia y publicación por medios de intercambio de archivos Peer to Peer de manera gratuita. Por consiguiente las asociaciones de usuarios de sistemas P2P han realizado estudios acerca del impacto que tiene su actividad sobre la industria musical. Uno de dichos estudios () realizado por () en el año de () tomó un grupo de personas que compartían música en la red e identificó sus hábitos de descarga de archivos así como los de compra de material original. Se encontró que en muchas ocasiones el conocimiento parcial o total de una obra musical, previa a su adquisición, favorecía la decisión de compra y funcionaba como un medio de promoción natural y no convencional.

Al verse los sistemas P2P como medios de difusión y promoción artística, el papel que éstos desempeñan en el medio musical se invierte con respecto a la visión de la industria, y en consecuencia se convierten en un factor favorable para la comercialización del material discográfico original, permitiendo a personas de todo el mundo entrar en contacto con los artistas de manera gratuita y sin ningún costo para las partes involucradas.

Al considerar el papel que desempeña la tecnología Peer to Peer en la industria de la música, y las acciones legales que se han tomado en contra de quienes la soportan, es importante indagar por el futuro de estos servicios de intercambio. Es así como Microsoft contrató un estudio al respecto con la compañía () del cual se desprende el siguiente concepto: El perfeccionamiento de la tecnología de intercambio de archivos y su rápida proliferación hacen cada vez más difícil, incluso imposible, ejercer controles de algún tipo sobre los archivos y tráfico que manejan. Este panorama llevó a plantear que la industria discográfica debería cesar en su lucha, ya perdida de antemano, contra estos sistemas, y buscar mecanismos que le permitieran aprovecharlos como medio de distribución.

El principal motivo de los altos costos de la música en CD es el peso de toda la cadena de distribución que recae sobre el producto final y por ende, sobre su comprador. Es así como artistas, disqueras, distribuidores y tiendas, quieren obtener una buena “tajada” de un “pastel” que no da para tanto, y en consecuencia se causan excesivos sobre-costos al medio de distribución. Se podría entonces aprovechar la red mundial para llevar a cabo dicha distribución a costos muy inferiores a los actuales.

Una mirada más audaz sobre este orden de ideas propone que la distribución fuese totalmente gratuita y el negocio se sostuviera a partir de publicidad de terceros y de espectáculos; esto de manera semejante al modo de operación del negocio del fútbol, en el que el dinero proviene de las taquillas y de las campañas publicitarias. Una dificultad que se presenta con esta iniciativa es el alto riesgo de boicot hacia las disqueras por parte de las tiendas al ver amenazada su posición en el mercado, acción que sería devastadora para las compañías discográficas dada su alta dependencia actual del medio físico de distribución.

Otro importante sector en el fenómeno de la venta callejera de copias no autorizadas del material protegido por derechos de autor. Estas personas aunque no se encuentran vinculadas directamente a la estructura que da soporte al “negocio” de la piratería musical, basan su participación en esta actividad en la compra de los CD’s “piratas” a distribuidores regionales o nacionales y la posterior comercialización del material fonográfico en las calles mediante la venta ambulante. Para estos individuos la piratería musical, como ellos la conocen, no puede ser un delito, por cuanto una actividad que les permite llevar el sustento a sus hogares mediante el trabajo diario de recorrer las ciudades ofreciendo un producto, no es perceptible como delito. Cabe anotar que estas personas suelen ser de muy bajos recursos, o inmigrantes desempleados que no tienen otra alternativa de ingresos; esto ha dificultado la intervención de algunos gobiernos sobre este sector, ya que eliminar esta forma de “trabajo” para este sector de la población podría provocar un incremento en otras actividades ilegales de carácter más destructivo, al menos a corto plazo, para la comunidad.

14.3 CONSIDERACIONES ACERCA DEL CASO COLOMBIANO

En Colombia la problemática de la piratería mantiene ciertas generalidades en común con las manifestaciones de esta actividad en el mundo. Sin embargo existen particularidades que deben tenerse en cuenta para identificar el escenario nacional.

En Colombia los grandes centros de producción y administración de la infraestructura del negocio de la copia y venta ilegal de material discográfico se encuentran instalados en la región Antioqueña²⁷. Una vez terminado el producto, éste se lleva a bodegas o centros de acopio, y desde allí, a través de la red de distribución, se envía, previa solicitud por el catálogo de productos, hacia los distintos centros urbanos en donde se distribuye el material a los vendedores de a pie quienes comercializan los CD’s entre los consumidores finales.

Lo anterior lleva a considerar la problemática social asociada a los vendedores ambulantes que recurren a la comercialización de material fonográfico ilegal, como medio para conseguir el ingreso necesario para su supervivencia y la de sus familias. Estas personas suelen ser desempleados que no han podido obtener ingresos por otros medios; dichos vendedores resultan fundamentales para el desarrollo del negocio de la piratería, sin embargo, derivado de la misma estructura y funcionamiento de esta “industria” se ven forzados a competir unos con otros en condiciones cada vez más complicadas. Debido a que estas personas no hacen parte, de manera formal del “negocio pirata”, no tienen ningún tipo de zonas asignadas o de estructura para la distribución, cada uno de ellos debe buscar por sus propios medios a sus compradores los cuales con frecuencia se “concentran” en zonas concurridas de las ciudades, por lo general cerca de centros comerciales, como es de esperarse la porción de clientes que corresponde a cada vendedor es muy reducido forzando de esta manera las condiciones cada vez más dificultosas de la competencia y generando con ello la reducción en los precios de venta del material. Esto se traduce en un nivel de ingresos en constante reducción.

27 La página web correspondiente con esta noticia no se encuentra disponible para su consulta dadas las políticas de administración de espacio en el servidor del sitio de El Tiempo.

Otro grupo de personas que participan en la actividad sin estar vinculadas directamente a las redes de piratería, son algunas litografías que producen las carátulas y demás papelería que les encargan los piratas. Estos sitios con frecuencia se dedican a la fabricación de folletos, volantes y demás trabajos de carácter más bien temporal y ocasional, ya que por el mismo carácter de las campañas publicitarias que les dan trabajo en los centros urbanos, los contratos que estas microempresas litográficas reciben suele ser a corto plazo por uno o dos pedidos; otra fuente de ingresos para estas personas, son las campañas políticas para postular a cargos públicos dentro de las diferentes corporaciones del estado, situación que se presenta también por temporadas. De esta manera, la participación en la producción de carátulas y envolturas para material fonográfico no autorizado les ofrece un tipo de “contrato” de mayor permanencia y estabilidad al ser un producto que se requiere durante todo el año, de manera permanente.

En cuanto a las personas que viven de la venta de música legal, muchos establecimientos de venta de música han cerrado sus puertas debido la caída en la demanda de material discográfico original. Otros han tenido que ofrecer bienes y servicios alternativos para proporcionar ingresos a sus propietarios y empleados; esta situación ha sido denominada por el sector como el fenómeno “miscelánea”. Esa situación es bastante particular y obedece a las mismas particularidades de la economía Colombiana que no posee la suficiente robustez como para soportar las reducciones de ingresos que le provoca el negocio de la piratería musical.

Por otra parte, debido a la reducción de la comercialización de las copias legales del material fonográfico, muchos artistas han visto reducidas sus fuentes de ingresos a la realización de espectáculos en vivo, esto dificulta el surgimiento de los artistas en el ámbito nacional y fuerza a las disqueras a buscar los mercados internacionales con aquellos músicos que les representan menor riesgo en la inversión, de esta manera se cierran muchas puertas para los artistas de propuestas no tan comerciales o que no poseen una trayectoria tan sólida como las de quienes ya se encuentran dentro del negocio.

15. MODELO DE LA PIRATERÍA MUSICAL EN COLOMBIA

- Una Visión Social -

A la luz de los nuevos hallazgos de posibilidades de integración entre la Dinámica de Sistemas y otras matemáticas en general, y la Lógica Difusa en este caso particular, se hace necesario estudiar alguna situación de manera tal que en el proceso de modelado correspondiente se pueda plasmar de cierta manera las implicaciones que dichos hallazgos tienen en cuanto a la representación de fenómenos integrando la Dinámica de Sistemas convencional con aspectos de Lógica Difusa y en consecuencia, identificar tanto los cambios provocados al proceso de modelado, como los aspectos favorables o limitantes de llevar a cabo la integración desde esta perspectiva.

De la misma manera como se creó una “técnica” soportada en una metodología para la creación de modelos que integren la Lógica Difusa con la Dinámica de Sistemas, que en lo sucesivo serán denominados “apoyados”, por medio de la creación de este segundo modelo se desea dar pie para plantear un primer acercamiento a una metodología para crear modelos en los cuales se consideran elementos dentro de los mismos que pertenecen a la Lógica Difusa ejecutándose de manera simultánea a la simulación del modelo de Dinámica de Sistemas, a este tipo de construcción, como previamente se dijo, se le denominó “modelo integrado”.

A pesar de que se va a trabajar otro enfoque de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa, no se pretende, ni se puede permitir el abandono total del trabajo realizado hasta el momento, ya que éste no se encuentra de ninguna manera finiquitado, y de acuerdo con la metodología propuesta se mantiene en permanente proceso de refinamiento sin olvidar las necesidades previamente expuestas de determinar su viabilidad en diversos tipos de fenómenos, y la determinación de unos criterios de selección basados en las ventajas que su aplicación pueda presentar en la creación de modelos.

Para disponer de un punto de convergencia que permita avanzar en la exploración de la conjunción entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa en lo referente a las necesidades ya mencionadas, se propone la identificación de un caso de estudio que permita, durante el proceso de modelado asociado al mismo, la aplicación del enfoque de investigación basado en experimentos como herramienta para avanzar en el presente trabajo.

15.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA, IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y RELACIONES FUNDAMENTALES

Dado el enfoque y alcance definido en el presente trabajo de investigación, los principales destinatarios y clientes del modelo aquí elaborado, son los constructores de éste y la comunidad académica en general representada por el grupo de investigación SIMON y la Universidad Industrial de Santander. Lo cual, como se puede observar, se mantiene en concordancia con los correspondientes al modelo anterior.

La piratería musical es un fenómeno muy común en la sociedad Colombiana a tal punto que muchos almacenes de música se han visto en la necesidad de cerrar sus puertas, convertirse en misceláneas e incluso distribuir copias ilegales del material discográfico. Del mismo modo la situación de los intérpretes se ha visto tan comprometida que sus ingresos se restringen prácticamente a lo obtenido por presentaciones públicas; algunos se han visto en la necesidad de efectuar copias caseras de su trabajo y distribuirlas informalmente.

Por otra parte se encuentra la problemática del desempleo que ha llevado a que muchas personas encuentren en la venta de copias discográficas ilegales, el medio para sostener a su familia diariamente. Si bien estas personas reconocen la ilegalidad de su labor, sostienen que si se trata de algo que les permite responder a las necesidades básicas de su hogar, no puede estar del todo mal hacerlo. La actividad de la venta de “música pirata”, se ha convertido así en el modo de vida de muchos colombianos que abastecen sus existencias por medio de unos cuantos copiadores a gran escala que nutren el mercado nacional, e incluso ofrecen catálogo de productos. Además se ven apoyados por miles de compradores a lo largo del país que no están conformes con pagar los elevados precios de la música legal, teniendo en cuenta sus bajos ingresos económicos, que convierten a este producto en un bien de lujo.

Con el propósito de comprender de una mejor manera la dinámica de esta problemática se pretende construir un modelo con Dinámica de Sistemas que muestre los aspectos más relevantes de esta, sus interacciones y sus implicaciones sociales, dejando a un lado el análisis económico de la misma que es realizado constantemente por investigadores y entidades involucradas.

Se conocen muy pocos modelos que hayan utilizado cualquier metodología para fusión entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa, uno de ellos es el del fenómeno propuesto previamente por este trabajo, que como se pudo observar es de un notable carácter económico. Como se plasmó en los objetivos de este proyecto, se desea explorar la posibilidad de llevar a cabo la conjunción entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa en el estudio de situaciones de diferentes tipos, esta es la razón por la cual, como se mencionó anteriormente, para el estudio del nuevo fenómeno de adopta un enfoque social. De esta manera se crean condiciones favorables para la identificación de aspectos relacionados con la viabilidad de la aplicación de la integración en fenómenos de carácter social.

El último propósito con el cual se desarrolla este modelo es el de observar diferencias en la creación de no-linealidades de la manera tradicional, mediante el apoyo con FIS y a través del enfoque de modelo integrado; con apoyo en la metodología trazada en el plan de proyecto y posteriormente modificada para su mayor eficiencia, y que emplea grupos diferentes al principal creador del modelo para determinar la forma y los valores de estas no-linealidades.

15.1.1 El Desempleo.

En Colombia los altos índices de desempleo y la insuficiencia de las estrategias gubernamentales para reducirlos han provocado que muchos ciudadanos que afrontan serias dificultades para cubrir las necesidades básicas en sus hogares busquen todo tipo de actividades informales que les permitan obtener algún ingreso. Dado el amplio gusto

entre los colombianos por la música, muchas de estas personas desempleadas ven una oportunidad para conseguir dinero en la venta de discografía reproducida ilegalmente, más conocida como “música pirata”, especialmente ante la conocida aceptación de esta actividad dentro de los nacionales que en muchos casos consideran la adquisición de discografía original como un lujo fuera del alcance de sus economías personales. La acogida del material fonográfico no autorizado conlleva la pérdida de mercado para la industria musical legal colombiana y provoca de esta manera desempleo en dicha industria que prescinde de recursos humanos como respuesta a la reducción de sus ingresos.

Una de las obligaciones del gobierno es combatir la violación de los derechos de propiedad intelectual siendo esta última afectada directamente por la producción y comercialización de discografía ilegal. Sin embargo los esfuerzos del estado se enfocan en los productores masivos del material pirata y en el decomiso de éste último de las manos de los distribuidores finales. La severidad de dichos esfuerzos no llega a ser mayor por cuanto el gobierno debe también evitar una situación en la que al reprimir tajantemente una actividad no-lícita como la piratería musical, las personas que se dedicaban a este negocio se vuelquen sobre otros medios delictivos de mayor peligrosidad y nocividad para la comunidad en general. Eso no implica que la presión del gobierno no sea uno de los causales de retiro de vendedores de piratería más comunes.

15.1.2 Los Precios

Los vendedores piratas se pueden mantener en el mercado dada la gran diferencia que existe entre el material que distribuyen y el legal, diferencia que se ha mantenido e incluso aumentado con el tiempo, por lo mismo éstos no consideran la industria musical legal como competencia, no por ello están libres de la mecánica que involucra éste concepto. Si se parte de que el número de compradores es limitado la cantidad de compradores que cada vendedor consigue mes a mes es la que determinará el precio final que debe ofrecer puesto que la aparición de “compañeros piratas” puede afectar significativamente sus ventas y tal vez se vea en la necesidad de disminuir los precios para mantenerlas, o por el contrario, la inexistencia de los competidores le permita manejar márgenes de ganancia más altos. Esto a su vez afecta su decisión de permanecer o retirarse de esta actividad ya que si el dinero recaudado no es el suficiente para su manutención, existe la posibilidad del retiro buscando otras fuentes de ingresos.

15.1.3 La Publicidad

El principal objetivo que persigue la publicidad es el de obtener más mercado al divulgar públicamente las ventajas de un producto y en el caso de la música, su reproducción parcial por medio de radiodifusoras que buscan aumentar el gusto²⁸ por las producciones discográficas correspondientes, y con suerte convertirlo en una necesidad para el usuario final.

Un síntoma generalizado de la buena salud empresarial de una industria, en este caso la musical, se ve reflejada en la cantidad de recursos que puede dedicar a la publicidad, lo

²⁸ El gusto es el deseo por un bien, determina la voluntad de comprar el producto a un precio específico.

cual se relaciona también con la cantidad de personal presente en dichas compañías; de esta forma se puede establecer una relación entre estos dos indicadores: la cantidad de empleo generado por la industria discográfica que correspondería con una cantidad de publicidad empleada por la misma a modo de inversión.

15.1.4 La Aceptación de la piratería

La generación de publicidad por parte de la industria musical legal, provoca atracción del público por los productos discográficos, esto aumenta la cantidad normal de compradores potenciales de música. Sin embargo, cuando esta atracción que se traduce en una necesidad de consumo no puede ser satisfecha debido a los elevados precios a los que la industria legal ofrece estos productos, los interesados desechan la posibilidad de adquirir música legal y empiezan a examinar si los precios actuales de la piratería están acordes con su capacidad adquisitiva, esto estimula la compra de material ilegal de mucho menor costo. Dicha tendencia también se ve impulsada por la moral permisiva hacia las imitaciones que se encuentra generalizada entre la población colombiana. Si no existiera ningún tipo de publicidad, aunque los precios que ofreciere el mercado ilegal fueran muy inferiores, el consumo en ambas industrias se vería seriamente afectado puesto que la cantidad de consumidores finales que está examinando ambas opciones se vería drásticamente reducido.

15.1.5 Los Compradores

Se puede afirmar que para todo producto hay una base permanente de compradores o personas que lo desean adquirir, éstas son las que buscan información del producto, comentan acerca del mismo, y en general son activas hacia la adquisición de éste, pero además existen los compradores casuales a los que se llega por medio de la publicidad o de una rebaja de precios tal que un gasto hacia el producto no represente un impacto en su economía. La industria musical ha fallado a la hora de ofrecer precios asequibles para la mayoría y se apoya exclusivamente en la publicidad para captar clientes, lamentablemente esto no solamente eleva las ventas de su producto sino también las ventas de la piratería, afectando pues el número de compradores legales y el de compradores de piratería. Sin embargo no se puede afirmar que todas las personas que desean el producto opten por una u otra opción, es decir, no es una decisión excluyente.

15.1.6 Metodología

Para el desarrollo de este modelo se usa prototipado evolutivo. Gracias a esto es posible detener el proceso de refinamiento en cualquier punto y presentar resultados satisfactorios obtenidos a partir de un modelo con un grado de complejidad intermedio que aún permite su mejoramiento pero que para los propósitos de su construcción satisface las necesidades que motivaron su desarrollo. De esta manera, al revisar los objetivos que se pretendían alcanzar con la construcción de este modelo el prototipo en que se detuvo el refinamiento de la representación corresponde con la cuarta iteración de desarrollo de la misma.

15.1.7 Integración

En esta forma de integración se hace necesario reconocer las relaciones relevantes que generan dentro del modelo variables imprecisas o inconexas y que representan

situaciones de decisión, lo que obliga al modelador a estar consciente de la existencia de los sistemas de inferencia difusa como posibilidad de representación del conocimiento válido dentro de los modelos de Dinámica de Sistemas.

Desde esta perspectiva se puede observar que la aceptación de la piratería debe ser representada con algún útil matemático que contemple la posibilidad de que esta sea una decisión tomada por los individuos que desean adquirir los productos, más aún, debe representar la disposición conjunta de la colectividad de estos individuos. Además dicha decisión se toma valorando de manera consciente o inconsciente, en algunos casos, aspectos subjetivos para cada individuo; para esta situación en particular se examina el nivel de precios y el de publicidad cuya evaluación está relacionada con la ecuación de valor²⁹. Dicha aceptación se podría ver reflejada en un nivel de ventas de la piratería si el enfoque del modelo fuera económico, pero para ser más consistente con su propósito esta variable modificaría o afectaría a la cantidad de compradores ignorando unidades vendidas y ganancias sobre las mismas.

Dentro de las estrategias de captación de clientes, la publicidad juega un papel fundamental para la industria al emitir mensajes cuyo propósito es estimular la adquisición de un bien o la contratación de un servicio; usualmente una empresa que ha alcanzado un cierto nivel de estabilidad económica o que desea ingresar en un mercado muy competido puede o debe, según sea el caso, destinar parte de sus ingresos en campañas publicitarias; el público receptor de estas campañas utiliza un criterio muy subjetivo para determinar el nivel de publicidad de los diferentes productos anunciados. Es así como la publicidad no es medida por el ciudadano común en términos del dinero empleado en ella, ni el número de clientes que atrae, sino por el nivel de saturación que percibe en los medios utilizados.

La cantidad de desempleados del país es muy elevada, para las personas incluidas dentro de esta categoría la comercialización de música pirata es una actividad atractiva si se tiene en cuenta los altos niveles de aceptación de la misma por la sociedad colombiana la cual es muy permisiva en este aspecto. La percepción de la aceptación de esta forma de ingresos se transforma en una decisión de entrar a este tipo de actividad económica lo que a su vez, y en conjunto con las decisiones de los demás individuos, genera una tasa de entrada a ser parte de este modo de subempleo.

Los vendedores al detal de material musical no autorizado constantemente son los directos afectados por la competencia con los demás vendedores ya que son quienes deben ajustar sus precios para mantenerse en el negocio. Sin embargo, cada uno de ellos realiza un análisis superficial del estado de los precios para determinar su permanencia o retiro de la actividad. Nuevamente, de manera análoga al atractivo de la actividad, el conjunto de las decisiones de los individuos se transforma en una tasa de salida de la venta de música pirata. Adicionalmente el retiro de las personas de esta actividad también

29 El precio de un producto o servicio resulta de dividir lo que recibe el vendedor entre lo que recibe el comprador. Es una definición operacional de precio muy sencilla:

$$\text{Precio} = \text{Lo que recibe el vendedor} / \text{Lo que recibe el comprador}.$$

El beneficio para el vendedor se mide en dinero, pero el obtenido por el comprador además del producto incluye muchos factores cualitativos, como la garantía, la velocidad de entrega, el mantenimiento, etc.

obedece la presión del gobierno que se traduce en incautaciones del material ilegal y en persecuciones hacia los vendedores callejeros, lo que se convierte en una tasa de retiro complementaria.

15.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA: DIAGRAMA DE INFLUENCIAS

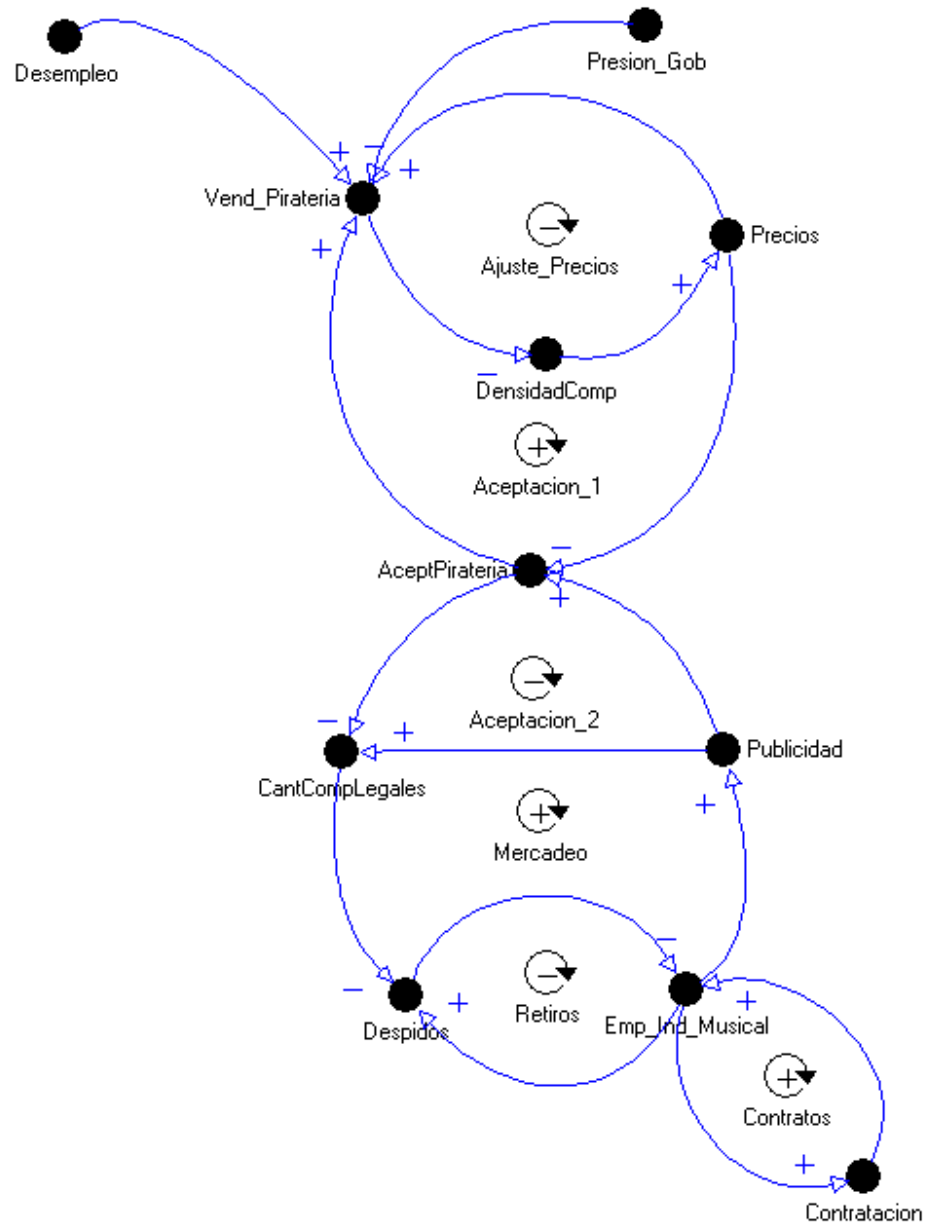


Figura 38. Diagrama de Influencias

15.2.1 Integración

Para determinar la influencia que ejerce la “Aceptación” sobre otros elementos, se recorren los diferentes lazos a los que pertenece, pero se observa que la aceptación es en realidad una definición abstracta y cualitativa resultante de la valoración de los estados actuales de la publicidad y los precios de la música “pirata”. Al realizar un recorrido por cualquiera de los lazos no se puede ignorar la influencia ejercida por los elementos del otro lazo, puesto que éstos se deben evaluar de manera simultánea, por ello realizar afirmaciones sobre el sentido de la influencia pierde validez. Esta situación generaría relaciones sin signo que impedirían determinar el carácter positivo o negativo de los ciclos de realimentación. En el caso de elementos cuyo comportamiento es acumulativo, a pesar de que se presenta con frecuencia la aplicación de varias influencias de diferente sentido, se puede realizar un análisis completo ya que no se requiere una simultaneidad en la evaluación de las causalidades y usualmente responden a recorridos de lazos diferentes.

A continuación se ilustra un caso específico para este modelo: Si se presenta un aumento en la cantidad de vendedores informales dedicados a la comercialización de piratería, se provoca una disminución en los precios de la misma y esto afecta a la aceptación, pero no se puede determinar si la misma aumenta o disminuye puesto que aún no se conoce información sobre la publicidad, que se generaría al recorrer el otro lazo, una primera opción que se presentaría al generar este tipo de situación sería la de crear un diagrama de influencias sin signos como el que se presenta en la Figura 39.

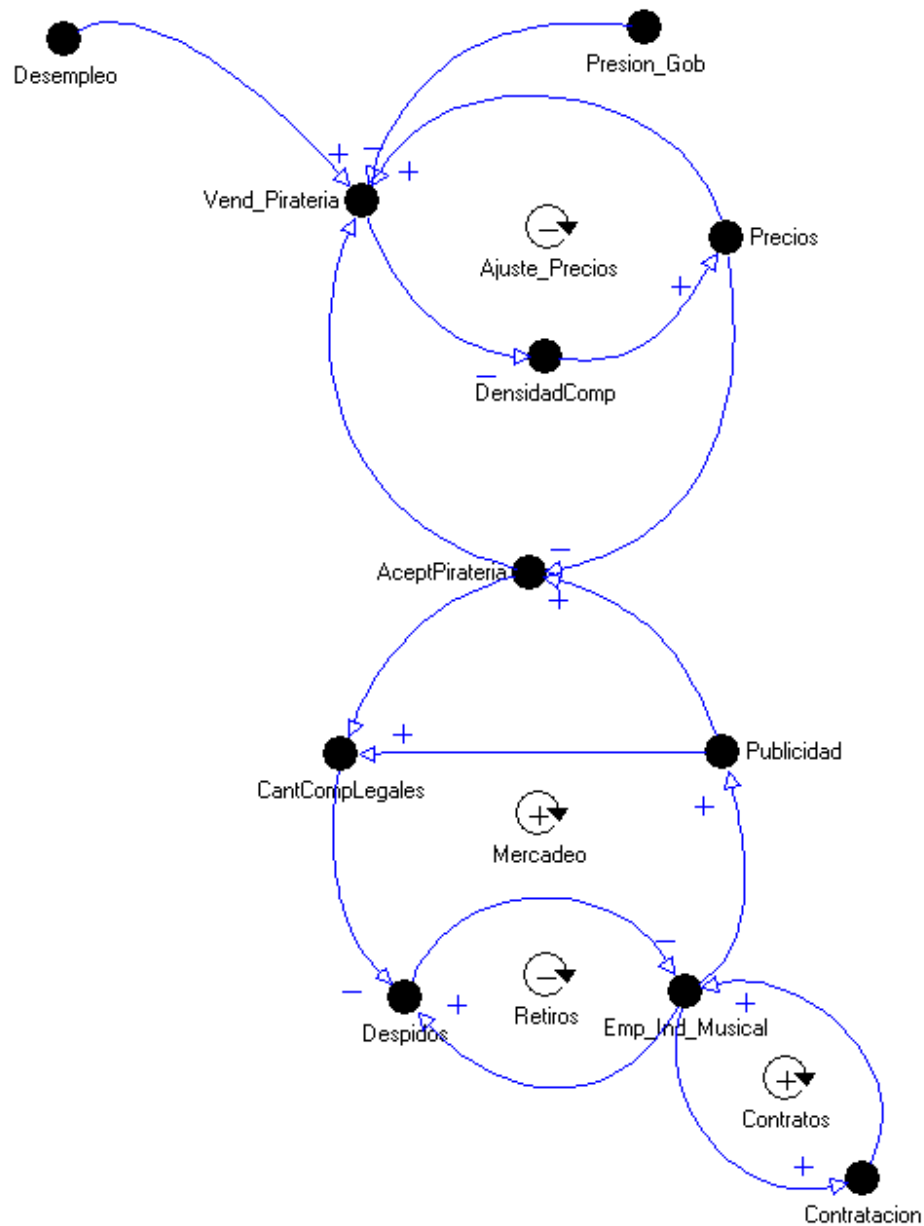


Figura 39. Diagrama de Influencias Integrado (sin signos)

Una segunda opción que ya ha sido contemplada previamente en el grupo de investigación SIMON, pero que lamentablemente nunca fue documentada apropiadamente es la de utilizar signos duales (más o menos) que indiquen el carácter variable del sentido de las influencias, esta posibilidad pese al trabajo intenso sobre el software de apoyo al modelado de dicho grupo de investigación no fue incluida como una opción en la edición de diagramas de influencia. La Figura 40 representa la construcción con la simbología correspondiente a la alternativa mencionada.

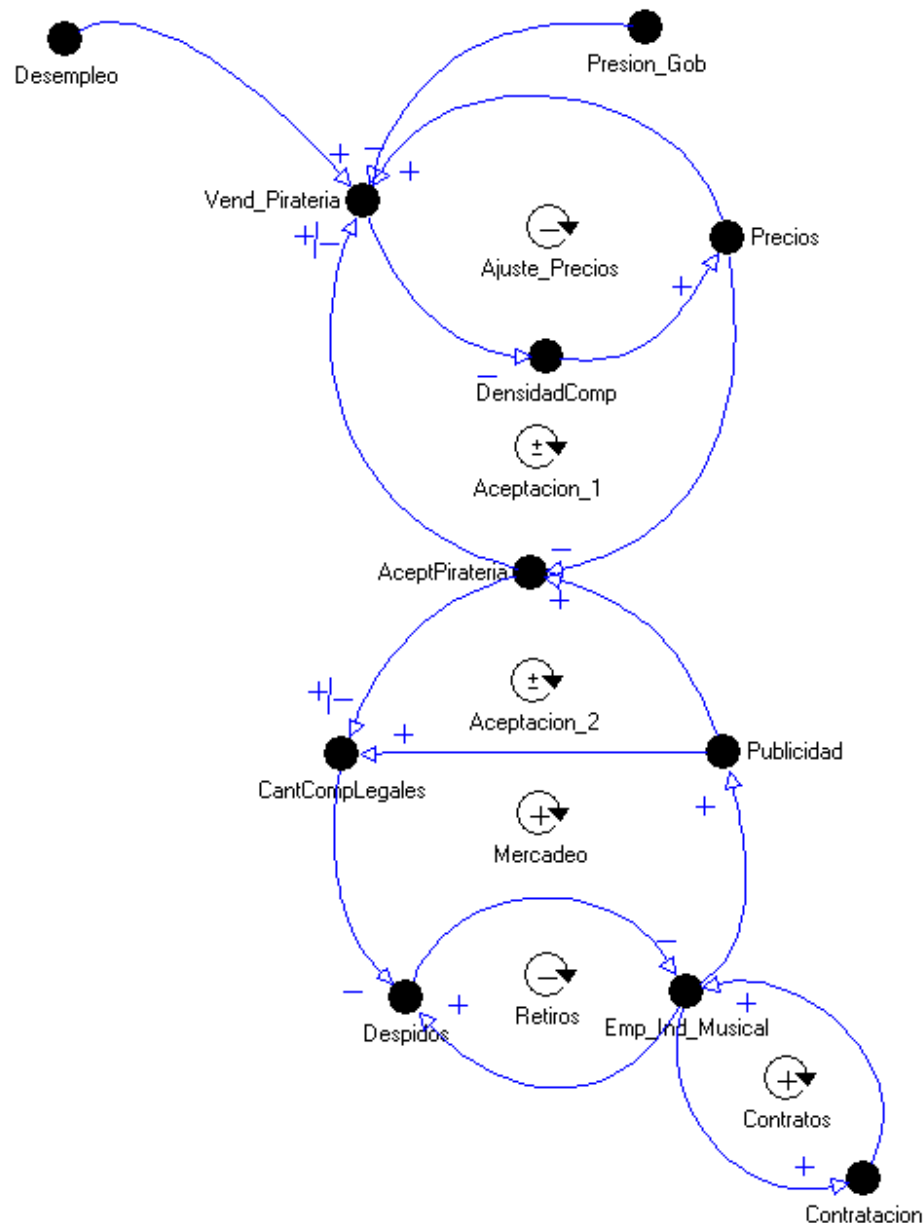


Figura 40. Diagrama de influencias con signos duales

Cabe anotar que esta alternativa para representar sentidos variables en las influencias hasta el momento ha sido empleada gracias al carácter no-secuencial del proceso de creación de modelos con Dinámica de Sistemas que permite regresar a realizar modificaciones al diagrama de influencias de manera posterior a la definición y calibrado de algunas relaciones no-lineales. A diferencia de esta situación los fenómenos que involucran decisión y criterios simultáneos para tomar la misma se pueden identificar desde una temprana etapa del trabajo como ciclos de realimentación dual o dependiente.

15.3 DEFINICIÓN PRECISA DE CADA MAGNITUD: CÓDIGO DE VARIABLES

TIPO	NOMBRE EN EL MODELO	DEFINICIÓN O NOMBRE COMPLETO	UNIDADES
N	VEND_PIRATERÍA	Número de personas dedicadas a la venta de piratería en Colombia	Personas
N	EMP_IND_MUSICAL	Número de personas empleadas por la industria musical legal Colombiana	Personas
N	DESEMP_ACUMULADO	Acumulación de despidos	Personas
F	Ent_Piratería	Personas que entran a la actividad de venta ambulante de piratería en un mes	Personas/Mes
F	Sal_Piratería	Personas que se retiran de la venta ambulante de piratería en cada mes	Personas/Mes
F	CambioNeto_Pers	Flujo neto entre las personas contratadas y despedidas en la industria musical legal al mes	Personas/Mes
F	Despidos	Personas despedidas de la industria musical legal al mes	Personas/Mes
A	Comp_Legal_Real	Cantidad real de compradores de música legal	Personas
A	Comp_Por_Vend	Razón entre los compradores de piratería y los vendedores de la misma	Adimensional
A	Cant_Compradores	Cantidad de personas dispuestas a comprar música	Personas
A	Comp_Pirateria	Cantidad de compradores dispuestos a adquirir productos musicales piratas	Personas
A	Contratacion	Personas que debería contratar la industria musical legal de manera regular al mes	Personas / Mes
A	Legales_Esperado	Razón entre la cantidad real de compradores de música legal y la cantidad normal de compradores	Adimensional
A	Perd_Empleos	Personas que serían despedidas de la industria musical legal a causa de la afluencia de la piratería en un mes	Personas / Mes
FIS	Aceptacion_Pirat	Aceptación de la piratería por parte del público	Adimensional
FIS	AtractActividad	Percepción favorable para entrar a la actividad de venta ambulante de piratería, mes a mes.	Adimensional / Mes
FIS	Cambio_Actividad	Percepción del estado de los precios que determinan el retiro de	Adimensional / Mes

		la piratería a otra actividad en un mes.	
FIS	Publicidad	Percepción del público de la publicidad generada por la industria musical determinada con base en la cantidad de personas vinculadas en la misma	Adimensional
P	Cant_Norm_Comp	Cantidad normal de compradores de música	Personas
P	Tasa_Contratac	Tasa de contratación promedio en la industria musical legal	Adimensional / Mes
T	Prec_Pirateria	Efecto de la razón entre los compradores de piratería y las personas dedicadas a la venta de música ilegal sobre los precios del material fonográfico no autorizado	Adimensional
T	Ef_Pub_Mer	Efecto de la publicidad en el mercado musical total	Adimensional
T	Tasa_Adquisitiva	Probabilidad de adquisición de música legal por parte de las personas dispuestas a comprar material fonográfico	Adimensional
T	Tasa_Despidos	Tasa de despidos en la industria musical legal generada por la razón entre la cantidad real de compradores de música legal y la cantidad normal de compradores	Adimensional / Mes
E	Efec_Presion_Gob	Efectividad de la presión ejercida por el gobierno en el retiro de personas de la actividad de venta de piratería	Adimensional / Mes
E	Desempleo	Cantidad de personas desempleadas en un mes particular	Personas
R	VAComp_Pirateria	Valor anterior de compradores dispuestos a adquirir música pirata	Personas

Tabla 5. Código de Variables

15.3.1 Integración

Se agregó un nuevo tipo de elemento a la tabla de variables, que se denominó FIS en representación de un sistema de inferencia difusa (Fuzzy Inference System). Se incluyó después de las variables auxiliares, porque permite varias entradas y su ecuación corresponde con una función que se calcula en tiempo real (tiempo de simulación) y que a diferencia de las tablas no requiere que todos sus valores sean previamente determinados.

15.4 DIAGRAMA FLUJO-NIVEL

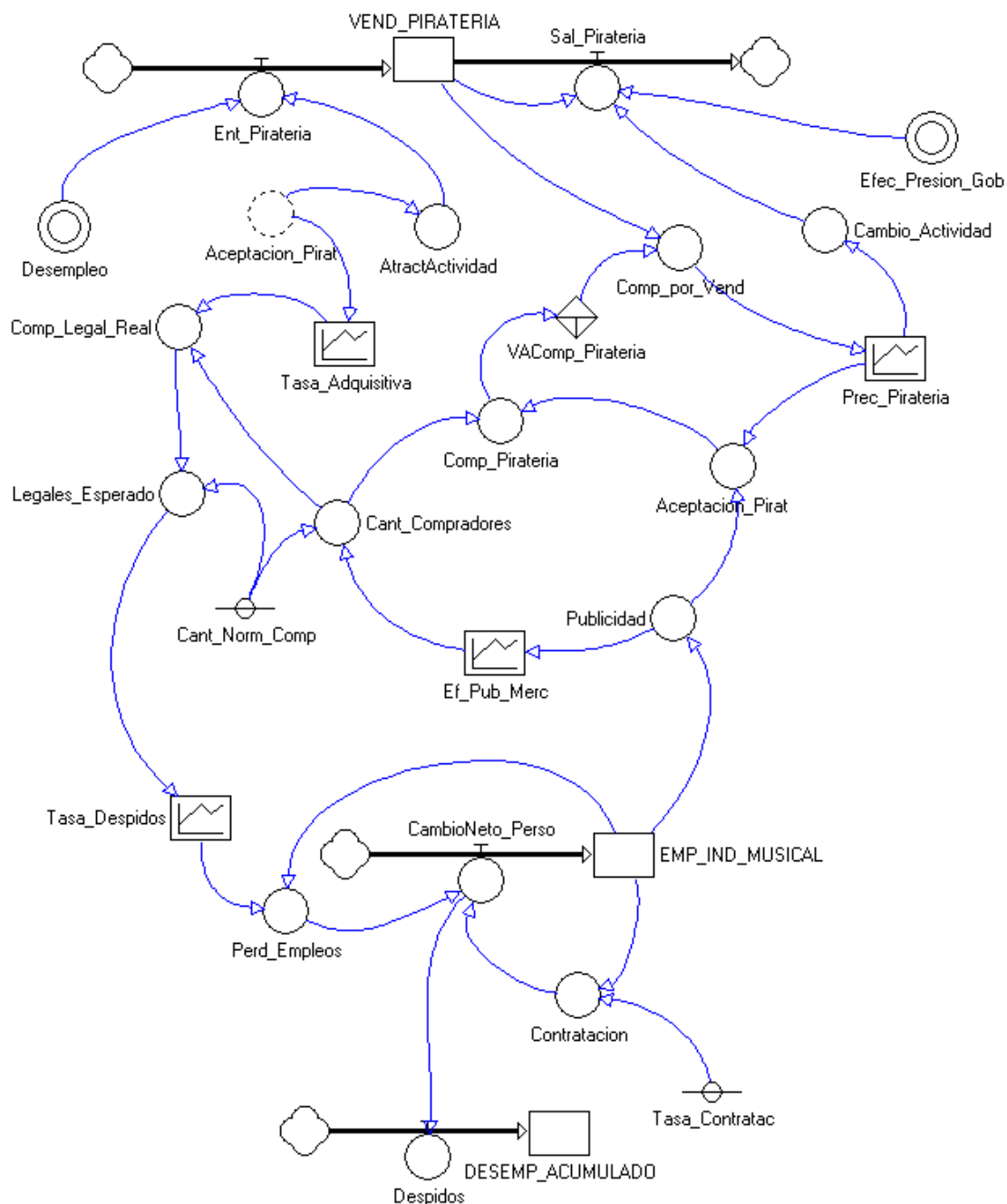


Figura 41. Diagrama de Flujo-Nivel

15.4.1 Integración

Con la aplicación de la nueva propuesta de integración las no-linealidades se presentan como insuficientes para acoger las definiciones de los sistemas de inferencia difusa, por lo tanto, la representación empleada en los diagramas de flujo nivel, pese a lo propuesto en el primer capítulo, no pueden ser no-linealidades. Se ha examinado la posibilidad de manejar una simbología especial que corresponda con los FIS, obteniendo como resultado las propuestas observadas en la Figura 42.

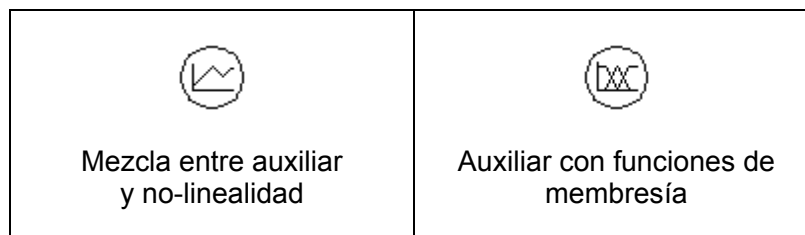


Figura 42. Propuestas para la simbología de FIS en diagramas de Flujo-Nivel

Debido a la inexistencia de la simbología propuesta en el software de apoyo al modelado, las construcciones de diagramas Flujo-Nivel que corresponden con los modelos presentados de este punto en adelante mostrarán los sistemas de inferencia difusa simplemente como variables auxiliares, lo cual aplica para este primer modelo en el que aún no se ha seleccionado una de las opciones de representación.

15.5 DEFINICIÓN DE ECUACIONES

15.5.1 Niveles

	Nombre:	DESEMP_ACUMULADO
	Definición:	$DESEMP_ACUMULADO(T) = DESEMP_ACUMULADO(T-1) + DT(Despidos)$
	Nombre:	EMP_IND_MUSICAL
	Definición:	$EMP_IND_MUSICAL(T) = EMP_IND_MUSICAL(T-1) + DT(CambioNeto_Perso)$
	Nombre:	VEND_PIRATERIA
	Definición:	$VEND_PIRATERIA(T) = VEND_PIRATERIA(T-1) + DT(Ent_Pirateria - Sal_Pirateria)$

15.5.2 Flujos

	Nombre:	CambioNeto_Perso
	Definición:	Contratacion-Perd_Empleos
	Nombre:	Despidos
	Definición:	$IF(CambioNeto_Perso < 0, -CambioNeto_Perso, 0)$
	Nombre:	Ent_Pirateria
	Definición:	$Desempleo * AtractActividad$

✚ Nombre: Sal_Pirateria
Definición: $VEND_PIRATERIA * (Cambio_Actividad + Efec_Presion_Gob)$

15.5.3 Auxiliares

- Nombre: Cant_Compradores
Definición: $Cant_Norm_Comp * Ef_Pub_Merc$
- Nombre: Comp_Legal_Real
Definición: $Cant_Compradores * Tasa_Adquisitiva$
- Nombre: Comp_Pirateria
Definición: $Cant_Compradores * Aceptacion_Pirat$
- Nombre: Comp_por_Vend
Definición: $VAComp_Pirateria / VEND_PIRATERIA$
- Nombre: Contratacion
Definición: $EMP_IND_MUSICAL * Tasa_Contratac$
- Nombre: Legales_Esperado
Definición: $Comp_Legal_Real / Cant_Norm_Comp$
- Nombre: Perd_Empleos
Definición: $EMP_IND_MUSICAL * Tasa_Despidos$

15.5.4 Retardos

✚ Nombre: VAComp_Pirateria
Definición: $Comp_Pirateria(T-1)$

15.5.5 Tablas

Prec_Pirateria. Los precios serán modificados de acuerdo con la razón entre la cantidad de compradores de piratería y la cantidad de vendedores de la misma, de tal manera que un número muy bajo de compradores por cada vendedor generará una caída en los precios debido a la excesiva oferta y competencia entre los mismos, en caso contrario se generará un aumento en los precios. Dado que la relación entre la densidad de compradores y precio no es directa, estos valores se pueden calcular por medio de una tabla. Sin embargo, dado el propósito de este modelo no se pretende determinar el valor exacto de la mercancía, sino la tendencia cualitativa de la misma, por tanto la salida de esta no-linealidad estará normalizada entre cero y uno, donde cero es el menor precio posible, y uno, el mayor precio que puede darse.

Ef_Pub_Merc. El propósito de la publicidad es aumentar la cantidad normal de clientes; si se parte de la base de que un negocio sin publicidad aún puede mantener una clientela por medio de la propagación natural de la información y la recomendación de sus productos o servicios por parte de sus consumidores, el valor que determinará la efectividad de la publicidad es un multiplicador que modificará la cantidad normal de clientes sobre la base de la existencia de un nivel medio o incluso bajo de publicidad. Este multiplicador se puede representar por medio de una tabla que reciba el nivel o estado

actual de la publicidad normalizado entre 0 y 1, y entregue al modelo un factor que determinará la cantidad de personas deseosas de adquirir el material fonográfico. La forma esperada para esta tabla es la de una función sigmoïdal creciente, ya que para el nivel mínimo de publicidad seguirá existiendo clientela y al alcanzar los máximos niveles el incremento en la base de clientes tiende a ser marginal a causa de la saturación de los medios.

Tasa_Adquisitiva. La tasa adquisitiva representa la probabilidad de que una persona interesada en adquirir música compre el producto por medios convencionales y por tanto legales. En un escenario libre de la presencia de material fonográfico ilegal, esta probabilidad nunca llega a ser del 100% ya que la situación socioeconómica de las personas que conforman el mercado no permite que el nivel de compras iguale su deseo de posesión del producto; a medida que se manifiesta la presencia del mercado ilegal de la música a través de la aceptación de la misma, esta probabilidad decrece de manera exponencial con una inflexión en la parte central de su recorrido para luego continuar el rápido decrecimiento, esta tasa corresponde con un multiplicador de la cantidad total de compradores y de esta forma determina aquellos que desean adquirir productos de la industria discográfica y que de hecho lo hacen. En el caso extremo en el que la piratería alcanza los valores máximos de aceptación la industria musical legal no perdería a todos sus clientes, puesto que siempre existirá un grupo reducido de personas que posea el dinero suficiente, o aficionados a diversos artistas que deseen apoyarlos adquiriendo su trabajo de manera legal.

Tasa_Despidos. La tasa de despidos caracteriza la relación que existe entre la porción del mercado esperada y la necesidad de las empresas musicales de reducir sus niveles de personal. Una disminución en las compras de música legal afecta directamente la razón entre éstas y la cantidad esperada de las mismas, lo que a su vez genera menor estabilidad financiera de la industria y presiona el despido de trabajadores.

Dado que la acción de despedir empleados en una empresa de este tipo posee ciertos márgenes dentro de los cuales se mantiene estable, y a que esta acción presenta diferentes comportamientos dependiendo de si las compañías se encuentran en situaciones límite o intermedias de presión por parte de la diferencia entre las ventas esperadas y las reales, representada por el cociente entre estas cantidades, y que es ocasionada por la aceptación de las copias musicales no autorizadas. Esta relación presenta menores pendientes en sus puntos extremos que en las zonas intermedias y ofrece resultados a modo de una tasa que varía dentro de un intervalo abierto cuyo límite superior representaría un impulso extra a los niveles normales de contratación y el inferior sería la máxima tasa de despidos que podrían manejar las empresas discográficas en general sin perder viabilidad.

15.5.6 Integración

15.5.6.1. FIS

Aceptación de la piratería. Una de las ventajas de la simulación por computador es su capacidad de procesar muchas variables de manera simultánea, lo que en ocasiones se hace imprescindible a la hora de evaluar políticas o cursos de acción dentro de una

organización, sin embargo, las personas tienen un rango de paralelismo mucho menor y usualmente dan niveles de prioridad a los elementos que pueden influenciar sus decisiones para poder evaluar un número limitado de los mismos y, con base en esa selección preliminar, realizar otra comparación y así sucesivamente.

Reglas:

- Si el precio es muy caro y la publicidad es nula, entonces la aceptación es marginal
- Si el precio es muy caro y la publicidad es baja, entonces la aceptación es marginal
- Si el precio es muy caro y la publicidad es media, entonces la aceptación es marginal
- Si el precio es muy caro y la publicidad es alta, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es muy caro y la publicidad es muy alta, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es caro y la publicidad es nula, entonces la aceptación es marginal
- Si el precio es caro y la publicidad es baja, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es caro y la publicidad es media, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es caro y la publicidad es alta, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es caro y la publicidad es muy alta, entonces la aceptación es media
- Si el precio es normal y la publicidad es nula, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es normal y la publicidad es baja, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es normal y la publicidad es media, entonces la aceptación es media
- Si el precio es normal y la publicidad es alta, entonces la aceptación es elevada
- Si el precio es normal y la publicidad es muy alta, entonces la aceptación es elevada
- Si el precio es barato y la publicidad es nula, entonces la aceptación es poca
- Si el precio es barato y la publicidad es baja, entonces la aceptación es media
- Si el precio es barato y la publicidad es media, entonces la aceptación es media
- Si el precio es barato y la publicidad es alta, entonces la aceptación es elevada
- Si el precio es barato y la publicidad es muy alta, entonces la aceptación es elevada

Este mismo conjunto de reglas puede sintetizarse mediante una matriz de decisión (ver Tabla 6). En su primera columna se ubican los valores posibles para el Precio (Muy caro, Caro, Normal, Barato) de manera descendente, y en la fila superior, los valores para la publicidad (Nula, Baja, Media, Alta, Muy Alta) de manera ascendente, esta forma de visualización facilita la identificación de las entradas y salidas del sistema.

	Nula	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy caro	Marginal	Marginal	Marginal	Poca	Poca
Caro	Marginal	Poca	Poca	Poca	Media
Normal	Poca	Poca	Media	Elevada	Elevada
Barato	Poca	Media	Media	Elevada	Elevada

Tabla 6. Matriz de decisión para el FIS Aceptación Piratería

Definición de la Cantidad de Funciones de Membresía. A partir de las reglas definidas previamente para describir el comportamiento del sistema de inferencia, se pueden

identificar los conjuntos difusos involucrados al mismo tiempo que su cantidad, tanto para las entradas como para las salidas.

La entrada Precio está definida por cuatro (4) funciones de membresía (muy caro, caro, normal y barato); la entrada Publicidad, por cinco (5) funciones de membresía (nula, baja, media, alta y muy alta); y la salida Aceptación, por cuatro (4) (poca, marginal, media y elevada).

Atractivo de la Actividad. La venta ilegal de música pirata es una actividad económica que carece de todo tipo de publicidad a gran escala y que la percepción de las personas interesadas en ingresar al negocio proviene de la observación empírica de las mismas al estado de las compras y a la tradición oral generada por otros vendedores que pasan la voz indicando si “el negocio está bueno”.

Reglas:

- Si la aceptación es marginal, entonces la actividad es poco atractiva
- Si la aceptación es poca, entonces la actividad es poco
- Si la aceptación es media, entonces la actividad es atractiva
- Si la aceptación es elevada, entonces la actividad es muy atractiva

Definición de la Cantidad de Funciones de Membresía. Como se definió en el FIS de Aceptación este valor de entrada se maneja mediante cuatro (4) funciones de membresía. El valor de salida para el atractivo de la actividad consiste en tres (3) posibles estados para la apreciación de este estado del fenómeno (poco atractiva, atractiva y muy atractiva).

Cambio de Actividad. Como se explicó previamente, tanto la aceptación como el cambio de actividad se ven afectadas por la percepción que se tiene del precio. Sin embargo, la que se evalúa es la apreciación de dos conjuntos de individuos diferentes; para el caso del cambio de actividad corresponde con la de los vendedores de material discográfico no autorizado que calculan sus ganancias con base en la diferencia que exista entre el precio de venta y el precio al que consiguen el producto; en la aceptación de la piratería en cambio, se tiene en cuenta la visión de los compradores que en últimas compararán los precios con los de la música legal, que como se dijo previamente se considera muy alto e inalterable, por esto se crea una nueva escala de comparación que evalúa sólo los precios piratas.

Reglas:

- Si el precio es muy caro, entonces el cambio es nulo
- Si el precio es caro, entonces el cambio es bajo
- Si el precio es normal, entonces el cambio es regular
- Si el precio es barato, entonces el cambio es alto

Definición de la Cantidad de Funciones de Membresía. De la misma forma que se consideró el precio mediante cuatro (4) funciones de membresía para la evaluación de la aceptación, también se hace así para la decisión de cambio de actividad. Esta decisión se

caracteriza por cuatro (4) posibles valores (nulo, bajo, regular y alto) que se aprecian en las reglas de inferencia.

Publicidad. La publicidad tiene la peculiaridad de llevarse a los extremos, las empresas se pueden privar de los medios publicitarios o por el contrario realizar grandes esfuerzos para alcanzar una importante presencia de sus productos en los medios.

Dado que la publicidad en la industria discográfica no se realiza para la música en general, sino para ciertos artistas, y que el modelo recibe la publicidad en su totalidad, se considera que el promedio de publicidad en un nivel “sano” de la industria debe corresponder con una promoción alta al contemplar tanto los artistas famosos que suenan en la radio y hacen conciertos, y a los desconocidos que no rotan en las emisoras y tienen una audiencia muy escasa que sin embargo los hace rentables.

Reglas:

Si el empleo en la industria musical es crítico, entonces la publicidad es nula
Si el empleo en la industria musical es estable, entonces la publicidad es alta
Si el empleo en la industria musical es saludable, entonces la publicidad es muy alta

Definición de la Cantidad de Funciones de Membresía. Para el FIS de publicidad se evalúa el nivel de empleo en la industria musical mediante tres (3) funciones de membresía y la generación de publicidad en los medios con tres (3) de las cinco (5) funciones de membresía definidas previamente en el FIS de aceptación.

15.6 CALIBRADO

15.6.1 Parámetros

Cantidad Normal de Compradores. La cantidad normal de compradores constituye un punto de referencia correspondiente con la cantidad de personas interesadas en la música de manera independiente a las campañas publicitarias que se realicen. Debido a que el propósito no es determinar las ventas de la industria, no se requiere conocer la cantidad de unidades que cada uno de ellos adquiere.

☛ Nombre: Cant_Norm_Comp
Definición: 100000

Tasa de Contratación. La tasa de contratación es un valor ideal de crecimiento de la industria en caso tal que todo funcionara de acuerdo con las expectativas y las predicciones realizadas, ya que ésta se ve contrarrestada por la tasa de despidos su valor se determina teniendo en cuenta la misma y por esto lo que parecería un crecimiento exagerado al calcularlo anualmente, se ve neutralizado en cierta medida, y una tasa como

la que manejan las industrias del 1.5% mensual, en realidad se convierte en un crecimiento neto muy inferior. Además estos valores se establecen de manera independiente para mostrar la política generalizada de despedir trabajadores de mayor antigüedad con el fin de reducir la carga prestacional en las empresas.

Nombre: Tasa_Contratac
Definición: 0.015

15.6.2 Exógenas

Desempleo

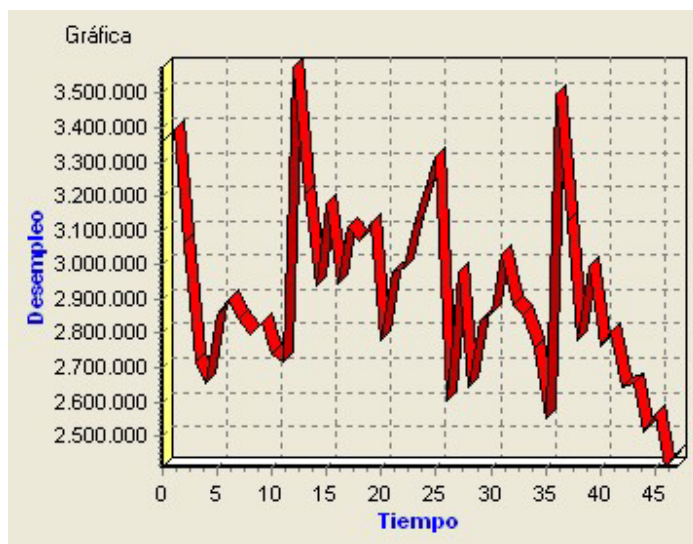


Figura 43. Cantidad de desempleados en Colombia

Los datos acerca del desempleo en Colombia corresponden con los publicados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el periodo comprendido entre Enero del 2001 y Diciembre del 2004 de las personas sin ocupación que se encuentran en edad de trabajar.

Nombre: Desempleo
Definición: INTLINEAL(0,0,1,3360000,3393000,3066000,2718000,2654000,2856000,2900000,2842000,2796000,2831000,2740000,2717000,3576000,3204000,2940000,3179000,2946000,3111000,3070000,3123000,2781000,2976000,2992000,3117000,3225000,3315000,2601000,2980000,2642000,2836000,2862000,3032000,2882000,2856000,2757000,2550000,3496000,3129000,2782000,2998000,2762000,2804000,2641000,2652000,2513000,2565000,2410000,2449000)

Efecto de la Presión del Gobierno

Dado que la actividad de venta de material musical no autorizado constituye una acción delictiva, el gobierno colombiano ejerce presión sobre los individuos que la practican, sin embargo esta presión es muy errática y sus niveles de efectividad bastante bajos, por los motivos que se enunciaron previamente dentro de este capítulo.

⊙ Nombre: Efec_Presion_Gob
Definición: RANDOM(0.02,0.9)

15.6.3 Tablas

Precios de la Piratería

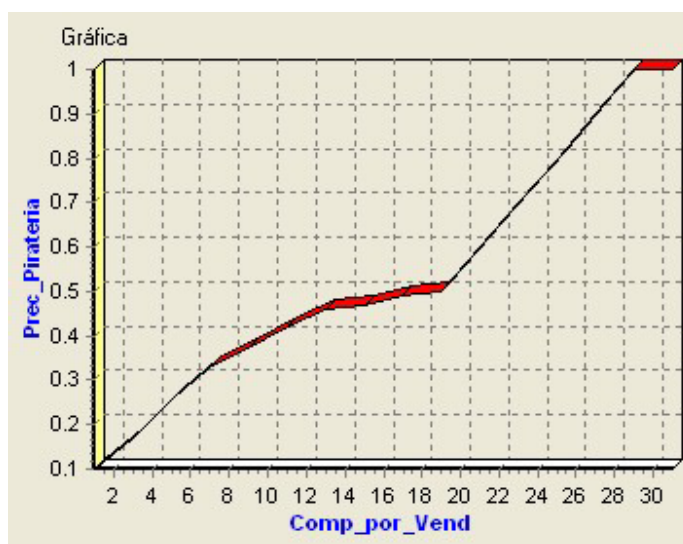


Figura 44. Efecto de la cantidad de vendedores de piratería sobre los precios

Como en toda actividad económica los precios están sujetos a las leyes de la oferta y la demanda, aunque la piratería es una labor ilícita no está exenta de este comportamiento. Un elevado nivel de vendedores ambulantes de material musical no autorizado sin un respectivo crecimiento de compradores genera, por causa de la sobreoferta y el exceso de competencia, una caída acelerada en los precios, por ello la pendiente para la zona inferior del rango de la función es mayor que en la parte central y de signo positivo; de manera simétrica los distribuidores de música ilegal aprovechan la falta de competencia, reflejada en una mayor cantidad de compradores por cada vendedor, para aumentar sus ganancias incrementando los precios, este efecto también provoca una mayor pendiente en el extremo superior de los valores de entrada. En la región central, cuando compradores de material discográfico ilegal se encuentran en una proporción media con relación a los vendedores, el nivel de precios que se maneja es intermedio (0.5).

📈 Nombre: Prec_Pirateria
Definición: INTLINEAL(2,1,2,0.1,0.17,0.26,0.33,0.37,0.42,0.46,0.47,0.49,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1,1)

Efecto de la Publicidad en el Mercado

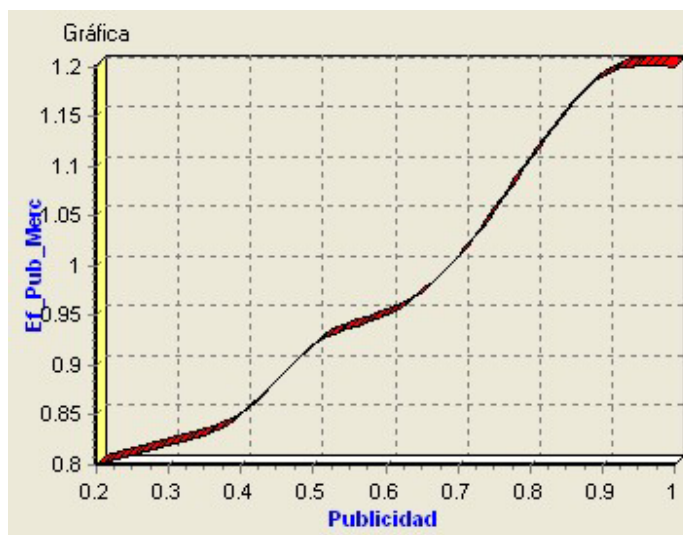


Figura 45. Publicidad generada por la industria musical

Para realizar la transformación entre los niveles de publicidad y la manera como se ve afectado el mercado, se requiere de un multiplicador que en el modelo es representado por una no-linealidad. Como se indicó previamente en este capítulo el nivel mínimo de publicidad nunca llega a ser cero, debido a esto siempre existirá una cantidad de personas interesadas en los productos de la industria musical. Por otra parte, aún si se lleva la presencia de publicidad en los medios a su máximo nivel, el conjunto de personas deseosas de adquirir música no crecerá indefinidamente por causa de la saturación de los medios y de la opinión pública en general. A pesar de estas afirmaciones se hace responsable a la publicidad por una variación cercana a la tercera parte del mercado entre el 80% y el 120% de su estado normal.

 Nombre: Ef_Pub_Merc
 Definición: INTSPLINE(2,0.2,0.1,0.8,0.82,0.85,0.92,0.95,1.01,1.11,1.19,1.2)

Tasa Adquisitiva. Dada la difícil situación económica del país, se calcula que sólo el 50% de las personas interesadas en adquirir material discográfico, de hecho lo hacían de manera previa a la existencia de la piratería; a medida que ésta se va manifestando, un no despreciable número de compradores efectivos se ha trasladado a comprar este nuevo material para suplir su necesidad sin afectar de manera significativa su economía. Esto genera una relación no-lineal que afecta al multiplicador de la tasa adquisitiva al indicar un 50% como valor de dicha tasa en ausencia total de aceptación de la piratería y un 15% para la máxima aceptación posible, entre estos extremos se presentan dos curvas de decrecimiento exponencial que muestran una segunda caída en las ventas luego de estarse logrando un cierto nivel de estabilidad en las mismas.

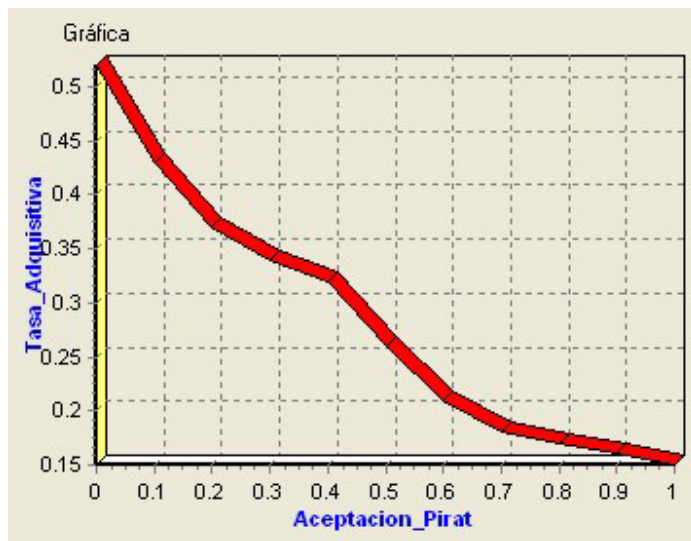


Figura 46. Tasa adquisitiva

Nombre: Tasa_Adquisitiva
Definición: INTLINEAL(2,0,0.1,0.52,0.43,0.37,0.34,0.32,0.26,0.21,0.18,0.17,0.16,0.15)

Tasa_Despidos

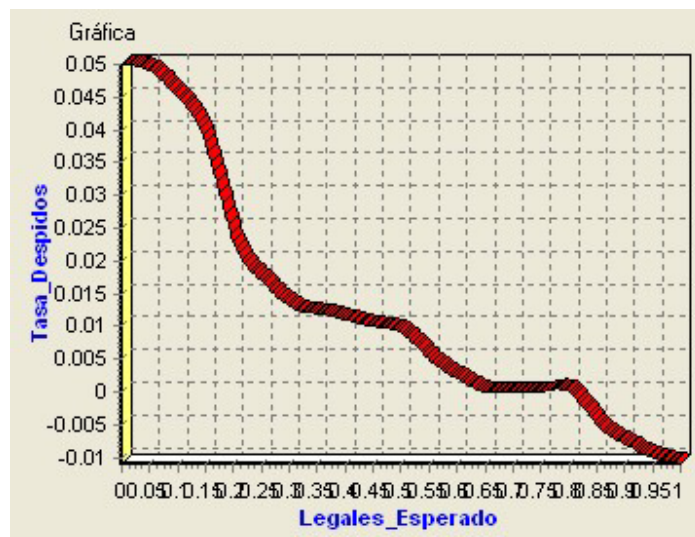


Figura 47. Tasa de despidos según la aceptación de la piratería

En una situación ideal, una empresa mantendría sus empleados indefinidamente hasta que estos decidieran dimitir voluntariamente o debieran retirarse por vejez.

Lamentablemente una empresa recurre a los despidos con más frecuencia de lo aconsejable para reducir costos de producción cuando se encuentra en aprietos económicos, estos despidos, en ningún caso pueden superar el 5% mensual ya que la organización no podría subsistir si reduce el personal más allá de este umbral. En una situación favorable, en la que los resultados de la actividad superan a los estimados (entre 60% y 100% del mercado esperado), la tasa de despidos se mantiene en cero e incluso, para los niveles más altos, se puede hacer necesario generar una tasa negativa que represente una política de contratación extra a la manejada por las empresas del sector. Cuando la realidad se encuentra acorde con las expectativas o ligeramente por debajo (entre 25% y 60%), los empresarios son optimistas acerca del futuro y por esta razón se muestran más reacios a realizar despidos, sin embargo, al no presentarse una mejoría se trasladan al otro extremo de la balanza y empiezan a retirar trabajadores buscando mantener a la organización viva.

 Nombre: Tasa_Despidos
Definición: INTLINEAL(0,0,0.1,0,0.002,0.008,0.018,0.032,0.05,0.072,0.098,0.128,0.162,0.2)

15.6.4 Integración

Para llevar a buen término la construcción de este modelo usando la metodología de integración propuesta, se usó UNFUZZY³⁰. Para más información sobre esta herramienta y detalles de construcción de los sistemas de inferencia difusa en ella, así como su función de exportación de código se recomienda ver la sección “Inserción de un Sistema de Inferencia Difuso (FIS)” del capítulo 3 del presente trabajo de investigación, por ahora baste con decir que el software presenta ciertas ventajas en la creación de los archivos necesarios para la inclusión de funciones en Evolución.

Aceptación de la piratería

Entradas:

Percepción de los precios de la piratería por parte de la población (Precio)

Rango: de 0 a 1

Funciones de membresía: 4

Barato: Tipo Z [0.2 0.3]

Normal: Tipo Pi [0.2 0.38 0.57 0.7]

Caro: Pi-Campana [0.5 0.65 0.75 0.9]

Muy Caro: Tipo S [0.8 0.9]

30 Duarte Velasco, Óscar Germán. “UNFUZZY 1.2: Herramienta de Software para el Análisis, Diseño, Simulación e Implementación de Sistemas de Lógica Difusa”. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (1998). Información disponible en: <http://www.ing.unal.edu.co/~electronica/Proyectos/Proyecto5.html>

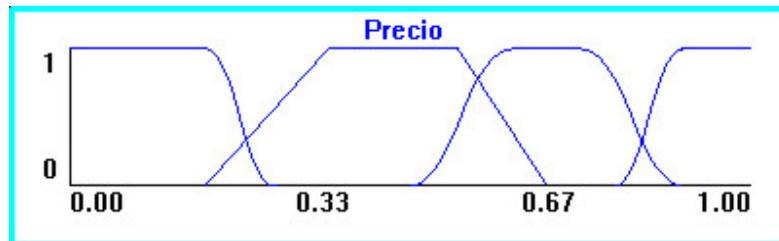


Figura 48. Funciones de membresía para la entrada Precio

Categorización del nivel de Publicidad musical (Publicidad)

Rango: de 0 a 1

Funciones de membresía: 5

Nula: Tipo Z [0 0.3]

Baja: Pi-Campana [0.15 0.33 0.46 0.5]

Media: Pi-Campana [0.33 0.51 0.8 0.85]

Alta: Campana [0.7 0.85 1.0]

Muy Alta: Tipo S [0.9 1.0]

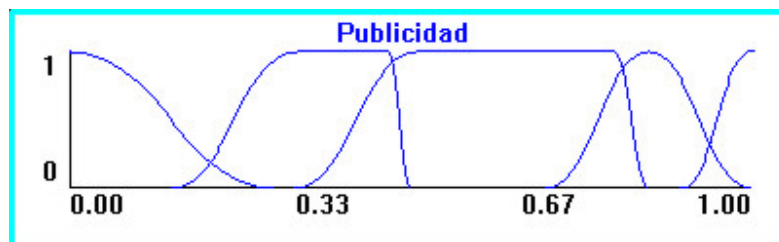


Figura 49. Funciones de membresía para la entrada Publicidad

Salida:

Aceptación de la piratería por parte de los compradores (Aceptacion)

Rango: de 0 a 1

Funciones de membresía: 4

Marginal: Tipo Z [0 0.33]

Poca: Campana [0 0.33 0.66]

Media: Campana [0.33 0.66 0.99]

Elevada Tipo S [0.75 1.0]

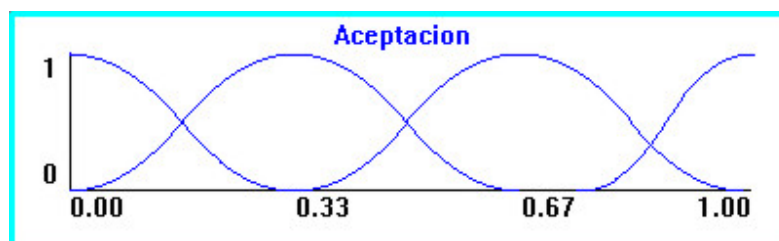


Figura 50. Funciones de membresía para la salida Aceptación

AtractActividad

Entrada:

Aceptación de la piratería por parte de los compradores (Aceptacion)

Rango: de 0 a 1

Funciones de membresía: 4

Marginal: Tipo Z [0 0.33]

Poca: Campana [0 0.33 0.66]

Media: Campana [0.33 0.66 0.99]

Elevada Tipo S [0.75 1.0]

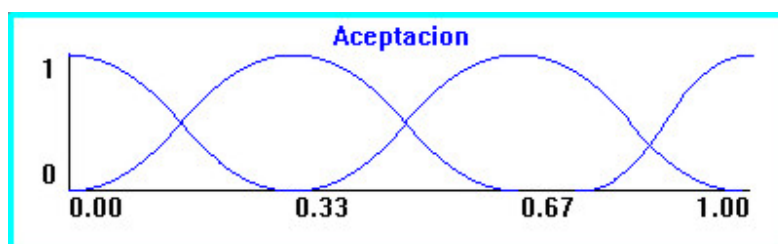


Figura 51. Funciones de membresía para la entrada Aceptación

Salida:

Atractivo de la actividad de venta de material musical ilegal (Atractivo)

Rango: de 0 a 0.0004

Funciones de membresía: 3

Poco: Tipo L [0.00005 0.0001]

Atractiva: Pi-Campana [0.00005 0.00018 0.00022 0.00035]

Muy: Tipo Gamma [0.0002 0.0003]

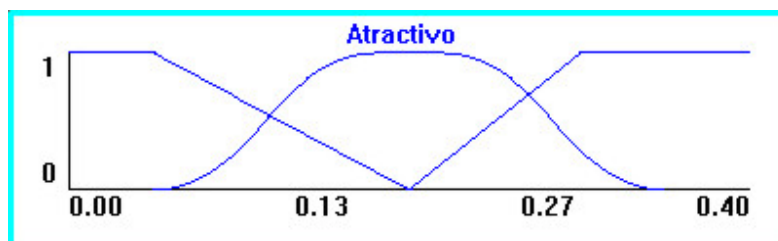


Figura 52. Funciones de membresía para la salida Atractivo de la Actividad

Para evitar una excesiva diferencia de orden entre las entradas y las salidas del FIS AtractActividad que podría llevar a dificultades en el manejo de la precisión de las operaciones de punto flotante, este FIS se construyó con una salida entre 0 y 0.4, y posteriormente dicho resultado se divide sobre 1000 para recuperar el orden correcto del elemento.

Cambio_Actividad

Entrada:

Percepción de los precios de la piratería por parte de la población (Precio)

Rango: de 0 a 1

Funciones de membresía: 4

Barato: Tipo Z [0.35 0.5]

Normal: Tipo Pi [0.2 0.4 0.52 0.7]

Caro: Pi-Campana [0.5 0.65 0.75 0.9]

Muy Caro: Tipo S [0.8 0.9]

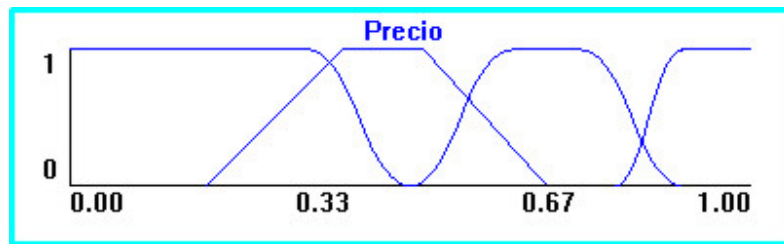


Figura 53. Funciones de membresía para la entrada Precio

Salida:

Tasa de salida de la actividad de venta de material discográfico no autorizado (CambioActividad)

Rango: de 0 a 0.09

Funciones de membresía: 4

Nula: Tipo Z [0 0.03]

Baja: Pi-Campana [0 0.015 0.045 0.06]

Regular: Pi-Campana [0.03 0.045 0.075 0.09]

Alta: Tipo S [0.06 0.09]

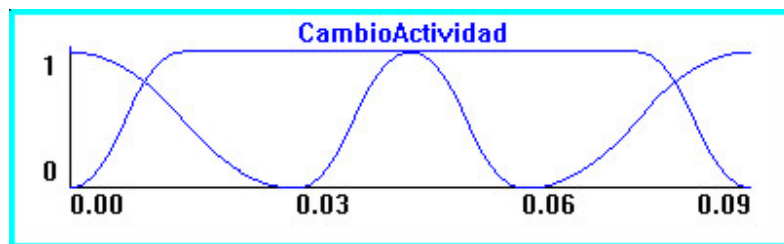


Figura 54. Funciones de membresía para la salida CambioActividad

Publicidad

Entrada:

Cantidad de empleados de la industria musical legal (EmplIndMusical)

Rango: de 5000 a 40000

Funciones de membresía: 3

Crítico: Tipo Z [5000 30000]

Estable: Campana [5000 21000 38500]

Saludable: Tipo S [14000 40000]

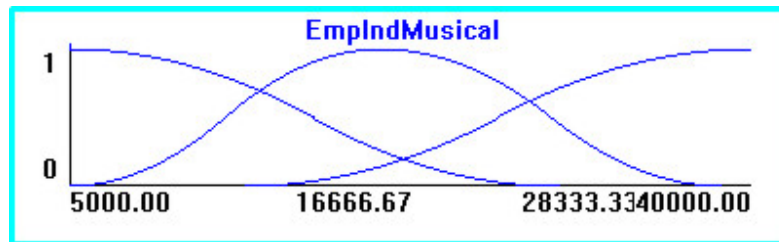


Figura 55. Funciones de membresía para la entrada EmplIndMusical

Entrada:

Categorización del nivel de Publicidad musical (Publicidad)

Rango: de 0 a 1

Funciones de membresía: 5

Nula: Tipo Z [0 0.3]

Baja: Pi-Campana [0.15 0.33 0.46 0.5]

Media: Pi-Campana [0.33 0.51 0.8 0.85]

Alta: Campana [0.7 0.85 1.0]

Muy Alta: Tipo S [0.9 1.0]

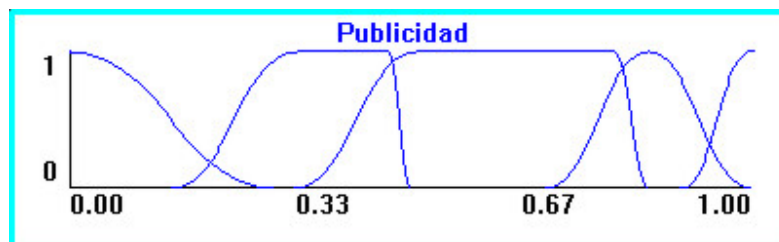


Figura 56. Funciones de membresía para la salida Publicidad

Para realizar esta nueva forma de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa, se requiere incluir los sistemas de inferencia difusa como funciones dentro de la herramienta Evolución; para ello, esta última ofrece facilidades al usuario para agregar funciones propias, en palabras de los autores de Evolución, los pasos necesarios para crear la función son:

“Para implementar una nueva función que funcione en Evolución 3.5 Siga los siguientes pasos:

- Cree la Biblioteca:
Para ello se debe usar un lenguaje de programación de alto nivel como los especificados anteriormente.
Si usa Delphi 6.0 siga los siguientes pasos para la creación de una biblioteca de enlace dinámico:
 1. Ejecute el programa Delphi 6.0.
 2. En el menú Archivo (File) seleccione el ítem Nuevo (New...), ejecute la opción otros (Other...) y seleccione el Icono correspondiente a DLL.

3. Cree sus funciones usando las directivas correspondientes de Delphi 6.0. y con el siguiente formato:

```
Function miFuncion(Parámetros: array of Extended):Extended;
Begin
    <Cuerpo de la Función>
End;
```
4. Use la directiva Exports para indicar cuales de las funciones implementadas pueden ser usadas por otros programas, así:

```
Exports miFuncion;
```
5. Guarde: ctrl.+ S ó Archivo / Guardar
6. Compile la biblioteca: ctrl. + F9 ó Proyecto / Compilar
7. Necesitará el archivo compilado (.dll), que se guarda en la misma dirección donde guardó el archivo del proyecto Delphi.³¹

En el momento de la elaboración de este documento, la versión disponible de Evolución (3.5 Beta 22) acepta únicamente la importación de funciones definidas por el usuario mediante librerías de enlace dinámico (dll) construidas con el entorno de desarrollo de Delphi. Este proceso de inclusión de funciones puede resumirse en los siguientes pasos:

“Agregar la función en Evolución: para ello se emplea la opción "agregar funciones" del menú archivo.

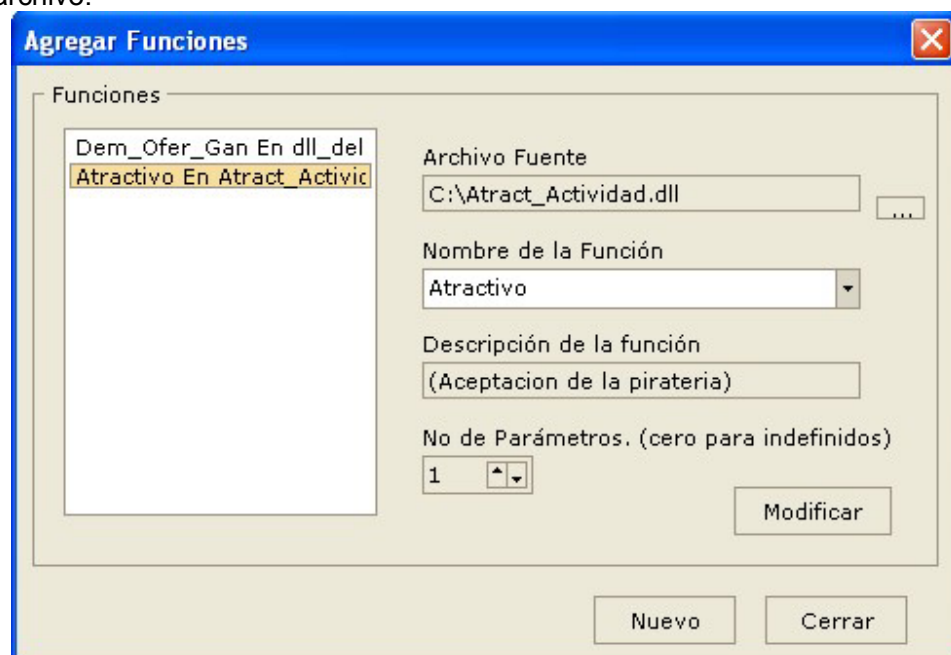


Figura 57. Cuadro de diálogo para agregar funciones en Evolución 3.5

31 Tomado del archivo de ayuda de Evolución 3.5. Proyecto de grado: EVOLUCIÓN 3.5: HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN EN DINAMICA DE SISTEMAS, Mario Cuellar Yemeris y Emiliano Lince Mercado, 2003.

Donde:

Archivo fuente especifica la ruta donde se encuentra el archivo físico de la biblioteca dinámica, por ejemplo 'C:\Atract_Actividad.dll'

Nombre de la Función indica el nombre de la función que se le asignó dentro de la biblioteca, por ejemplo 'Atractivo', es importante que el nombre de la función no exceda los diez caracteres y que no use caracteres especiales. Además debe tener en cuenta las mayúsculas.

Descripción es el valor que se desea presentar en Evolución al momento de mostrar la función, así si su descripción es '(Aceptacion de la piratería)', la herramienta mostrará en el editor de elementos 'Atractivo(Aceptacion de la pirateria)'

No de Parámetros representa el número de parámetros que recibe la función, si ésta no recibe un número fijo de los mismo (pueden ser dos, tres o infinitos) se debe colocar cero (0) en esta casilla.³²

15.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Teniendo en cuenta el propósito inicial de este modelo y considerando la necesidad de rigurosidad en el desarrollo de la etapa de análisis de sensibilidad, las variables seleccionadas para su evaluación en este punto del proceso son:

- Aceptación de la piratería: Porque permite medir la respuesta del público a factores como la publicidad y los precios de manera simultánea, además de que afecta directamente varias decisiones que se toman sobre la mecánica del sistema.
- Compradores de piratería por cada vendedor: Porque ésta es un indicador del bienestar socio-económico de los vendedores de música ilegal y muestra la relación entre vendedores y compradores a lo largo del tiempo.
- Desempleo acumulado: Porque este indicador manifiesta una forma de impacto del fenómeno estudiado en la sociedad.

Las gráficas que se presentarán en esta parte del proceso de modelado corresponden a las tres variables escogidas en tres estados diferentes: cuando se emplean los valores generados por el calibrado, y por lo menos dos variaciones de cada una de las variables endógenas seleccionadas, de estas se desea conocer su incidencia en el comportamiento del modelo. Dichas variables corresponden a:

- Empleados en la industria musical
- Valor anterior de los compradores de piratería
- Vendedores de piratería

32 Tomado y adaptado del archivo de ayuda de Evolución 3.5. Proyecto de grado: EVOLUCIÓN 3.5: HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN EN DINAMICA DE SISTEMAS, Mario Cuellar Yemeris y Emiliano Lince Mercado, 2003.

Estas no fueron las únicas variables que se analizaron, sin embargo se trató de realizar las modificaciones siempre de manera independiente para evaluar los efectos de pequeños cambios en las cantidades del modelo. La simulación se llevó a cabo a lo largo de 48 meses (4 años) sobre los cuales se poseen datos plenos del desempleo en el país.

El análisis de sensibilidad de este modelo presenta una dificultad poco prevista en los textos de estudio de Dinámica de Sistemas, la existencia de una variable aleatoria o estocástica que en este caso corresponde con la presión ejercida por el gobierno sobre los vendedores de música ilegal. Este aspecto del proceso de modelado podría abordarse mediante diferentes alternativas entre las que puede presentarse un estudio estadístico de los resultados obtenidos y una consideración de la sensibilidad de las variables pertinentes dentro de este dominio. Una segunda posibilidad es la de realizar un análisis previo de sensibilidad a la variación de este único parámetro, en caso tal que las variaciones no sean muy pronunciadas, se hace viable utilizar valores medios dado el carácter uniforme de la distribución de probabilidad del mencionado elemento. Para este caso en particular, se adoptó la segunda opción y se evaluó de manera preliminar la sensibilidad de las variables de interés ante cambios en el valor de la presión del gobierno, los comportamientos de dichas variables se pueden observar en la Figura 58.

Al realizar una comparación entre las trayectorias obtenidas al efectuar la simulación del modelo por medio del análisis gráfico se puede concluir que el impacto que tiene la variación de la presión del gobierno sobre la dinámica del modelo se traduce en cambios de los puntos de equilibrio del mismo pero que en términos cualitativos no afecta excesivamente la forma del comportamiento. Las mayores variaciones fueron identificadas sobre el indicador de compradores por cada vendedor (Figura 58, parte superior), en el que según el nivel de presión gubernamental se desplaza el punto de equilibrio hacia arriba o hacia abajo generando así un cambio en la curvatura inicial de la trayectoria que luego se ajusta al nuevo equilibrio y mantiene, a partir de ese momento, un comportamiento estable; la trayectoria en que alcanza dicho equilibrio presenta en todos los casos una forma semejante, por lo que el cambio correspondiente no reviste carácter cualitativo, sino únicamente cuantitativo.

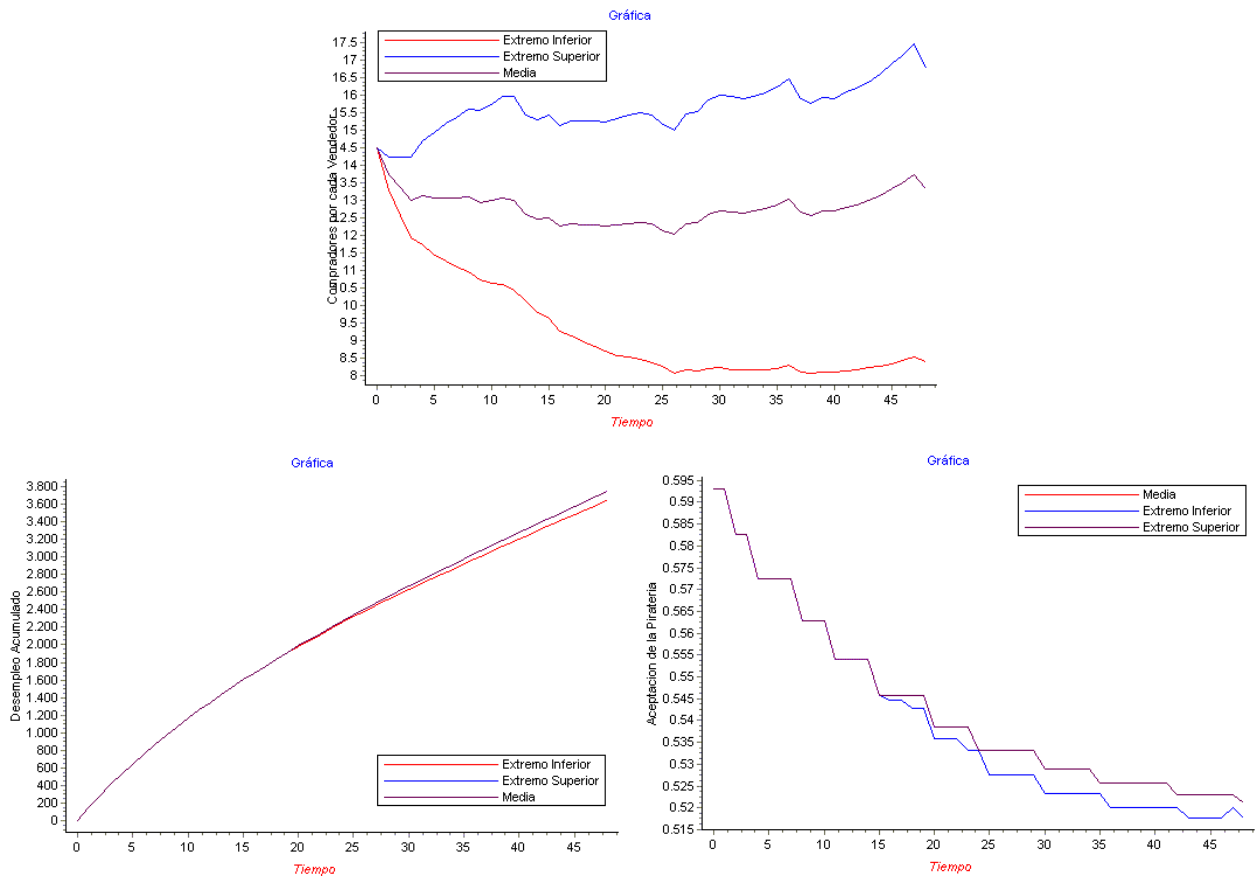


Figura 58. Comportamientos sobre variaciones de la presión del gobierno

Una vez determinada la viabilidad de la utilización del valor medio de la presión gubernamental en la simulación del modelo, y por consiguiente en su análisis de sensibilidad, se procede a estudiar la evolución de su comportamiento ante variaciones en los parámetros indicados al inicio de esta sección.

15.7.1 Variación de la Cantidad de Empleados en la Industria Musical

La primera variable endógena a modificar es la cantidad inicial de empleados en la industria musical legal; el valor que ésta tiene en el escenario “Por Defecto” es de 20000 empleados a nivel nacional, y la variación a llevar a cabo es de $\pm 25\%$, lo que equivale a 5000 personas. Esta variación corresponde a cantidades poco probables en la realidad del fenómeno pero permite observar la respuesta del modelo en un amplio rango de valores para la variable endógena tratada.

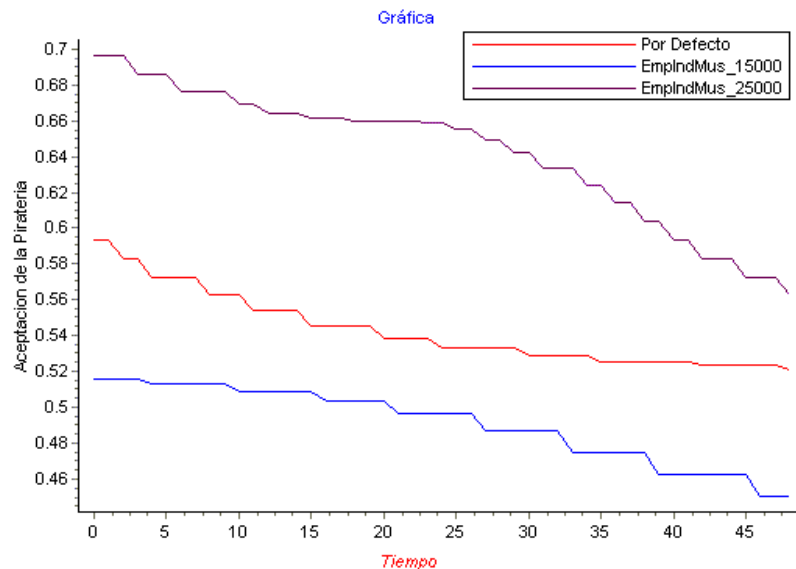


Figura 59. Comportamiento de la Aceptación de la Piratería con variación en los Empleados de la Industria Musical (20000, 15000 y 25000)

En la Figura 59 se puede apreciar que la Aceptación de la Piratería es bastante sensible ante cambios en la cantidad de empleados en la industria musical ya que éstos determinan la inversión en publicidad que la industria realiza y es uno de los dos factores que analiza el público para determinar la compra de productos tanto legales como “piratas”. En el caso del aumento exagerado de empleados incluso logra mover las cantidades lo suficiente para cambiar las reglas que se están cumpliendo dentro del sistema de inferencia difusa, por eso su forma tan diferente de las otras dos trayectorias. En el caso de la menor fuerza laboral en la industria musical, la dinámica de la Aceptación se reduce por cuanto el impacto que tiene la publicidad sobre la aceptación en este escenario pierde influencia frente al segundo factor determinante de la misma, el precio; sin embargo, al avanzar la simulación se tiene una mayor caída en la variable presentada debido al menor nivel de publicidad generado que se traduce en menor conocimiento de opciones musicales por parte del público y pérdida de interés del mismo en adquirir música.

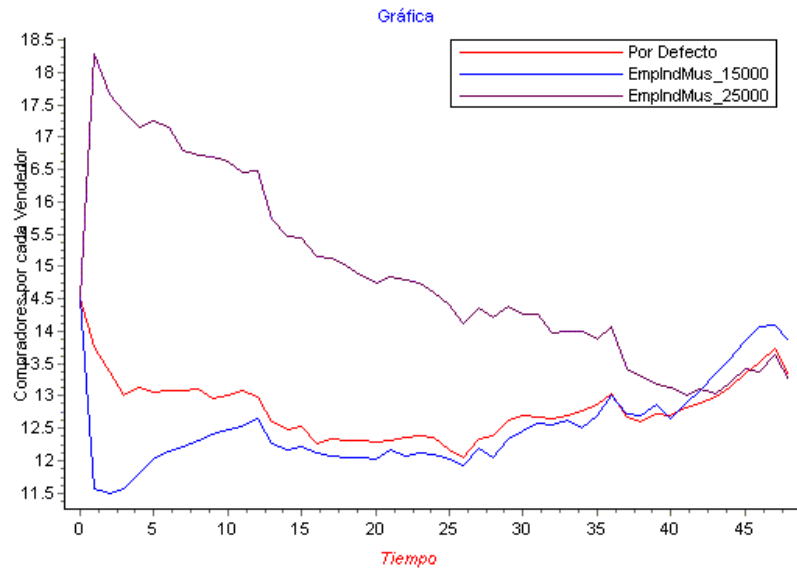


Figura 60. Comportamiento de la cantidad de Compradores por cada Vendedor con variación en los Empleados de la Industria Musical (20000, 15000 y 25000)

Con respecto a la cantidad de compradores por cada vendedor que como se afirmó previamente, es una medida del bienestar de los vendedores de música “pirata”, es sensible, dentro del corto plazo, a la variación en el número de empleados en la industria musical puesto que esta variable afecta la publicidad generada por la industria que a su vez modifica de manera simultánea tanto la aceptación de la piratería como al cantidad de personas deseosas de comprar música en general, lo que ocasiona que pasado un tiempo prudencial se regule el número de compradores por vendedores al aumentar los primeros y, los segundos por las diferentes influencias que provoca la publicidad. En el caso opuesto, en que se presenta una disminución en los empleados de la industria legal, se da el efecto inverso en el que caen simultáneamente compradores y vendedores, y tras un tiempo prudencial la relación entre estos se vuelve a estabilizar como se observa en la Figura 60.

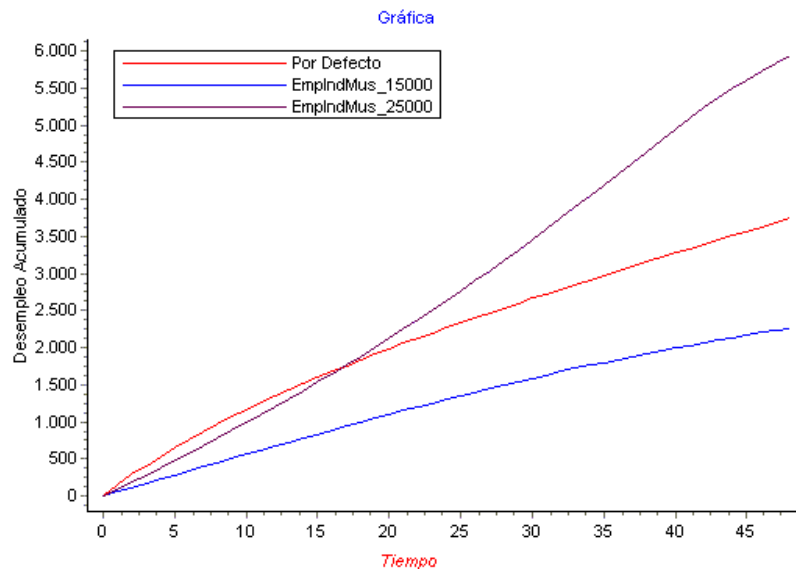


Figura 61. Comportamiento del Desempleo Acumulado con variación en los Empleados de la Industria Musical (20000, 15000 y 25000)

Al examinar las trayectorias exhibidas por el Desempleo Acumulado en la Figura 61 se pueden identificar comportamientos predecibles a partir del cambio efectuado en la cantidad de Empleados en la Industria Musical. Tomando como referencia la trayectoria “Por Defecto”, al disminuir los empleados en la industria musical a una cantidad inferior, se obtiene una menor cantidad de despidos en términos generales lo que se manifiesta en un Desempleo Acumulado por debajo del de referencia, esto como consecuencia de que los despidos se hacen proporcionalmente a partir de una tasa. En el caso del incremento en la cantidad de empleados en la industria, la aceptación de la piratería que genera un deterioro en las ventas obliga a los empresarios a disminuir significativamente su personal hasta que alcanza niveles sostenibles, esto se hace presente en la gráfica al considerar la pronunciada pendiente casi exponencial del desempleo acumulado en la industria que tras un largo periodo de tiempo se estabiliza.

15.7.2 Variación en el Valor Anterior de los Compradores de Piratería

En segunda instancia se analiza el impacto de la variación en el valor anterior de los compradores de piratería la cual se toma como base para estimar la posibilidad de bienestar socio-económico de los distribuidores al detal de material musical no autorizado. El valor de esta variable en el escenario “Por Defecto” es de 58000 y se modifica en un $\pm 17.24\%$ que representa una variación de 10000 personas por encima y por debajo del nivel normal de esta variable.

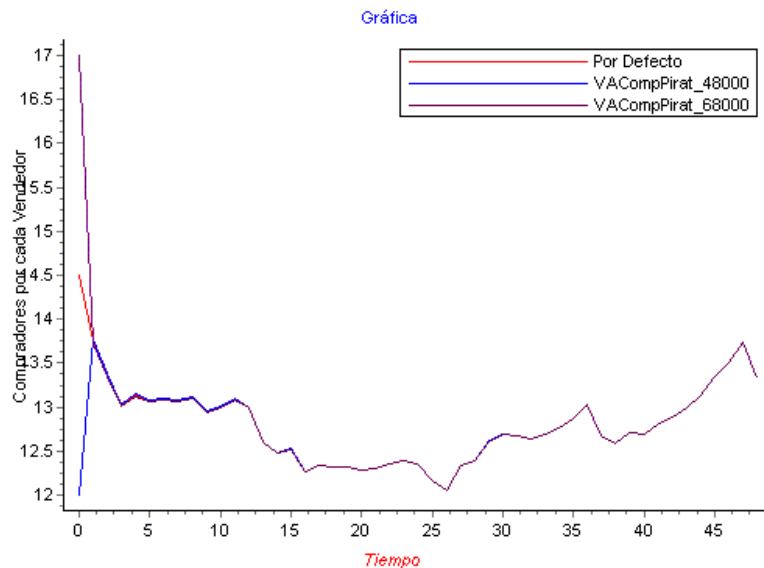


Figura 62. Comportamiento de la cantidad de Compradores por cada Vendedor con variación en el Valor Anterior de los Compradores de Piratería (58000, 48000 y 68000)

Dentro de este documento sólo se incluyó la Figura 62 de todos los comportamientos obtenidos al modificar el Valor Anterior de los Compradores de Piratería ya que ninguno de estos mostró sensibilidad a la variación de este valor inicial, ya que el sistema reacciona muy rápido a un cambio en esta cantidad puesto que en su segunda iteración absorbe los valores calculados por todo el modelo en su primera iteración, lo que regula a la vez que elimina los pequeños cambios efectuados por la modificación inicial en esta variable.

15.7.3 Variación de la cantidad de Vendedores de Piratería

La última variable endógena en ser alterada para observar la sensibilidad del modelo a variaciones en la misma es la cantidad inicial de vendedores de piratería en Colombia lo que constituye el indicador de la población nacional dedicada a dicha actividad ilícita. En el escenario “Por Defecto” se tiene un valor de 4000 individuos y para fines de estudio de sensibilidad se llevan a cabo alteraciones de $\pm 30\%$ que corresponden con cantidades de 1200 personas más o menos dedicadas a la actividad de distribución de material fonográfico ilegal en el momento inicial de la simulación.

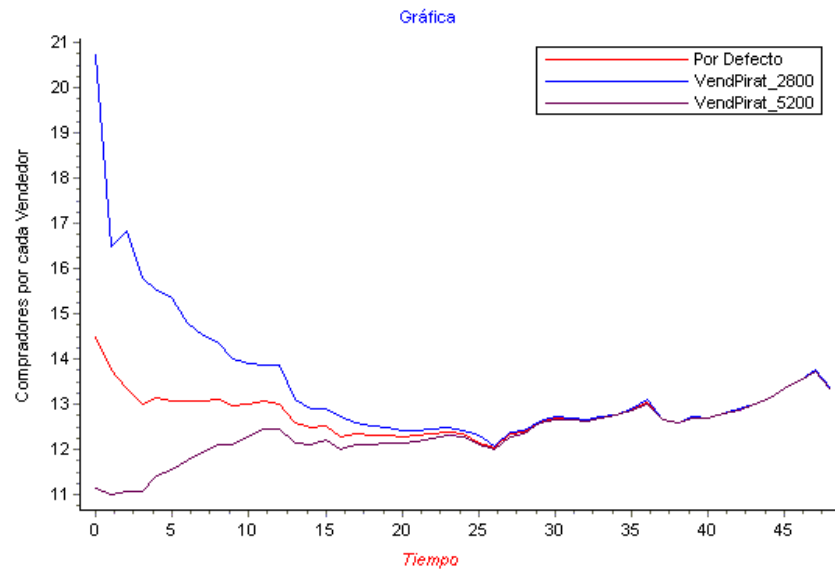


Figura 63. Comportamiento de la cantidad de Compradores por cada Vendedor con variación en la cantidad de Vendedores de Piratería (4000, 2800, 5200)

El número de vendedores está regulado por dos flujos, el de entrada que es determinado por la aceptación de la piratería, y el de salida que se ve influenciado por los precios del material discográfico ilegal; a su vez, la aceptación depende de dos factores que son el precio y la publicidad; y el precio como se indicó previamente en este capítulo depende directamente de la relación entre compradores deseosos de adquirir el producto y vendedores dispuestos a comercializarlo. Por tanto un aumento o disminución en el número de vendedores genera una modificación inicial que el mismo sistema se encarga de regular a través del tiempo, esto provoca que dentro de un mediano plazo se presente convergencia para todas las trayectorias derivadas de diferentes cantidades para la población inicial de vendedores, tal como se puede apreciar en la Figura 63.

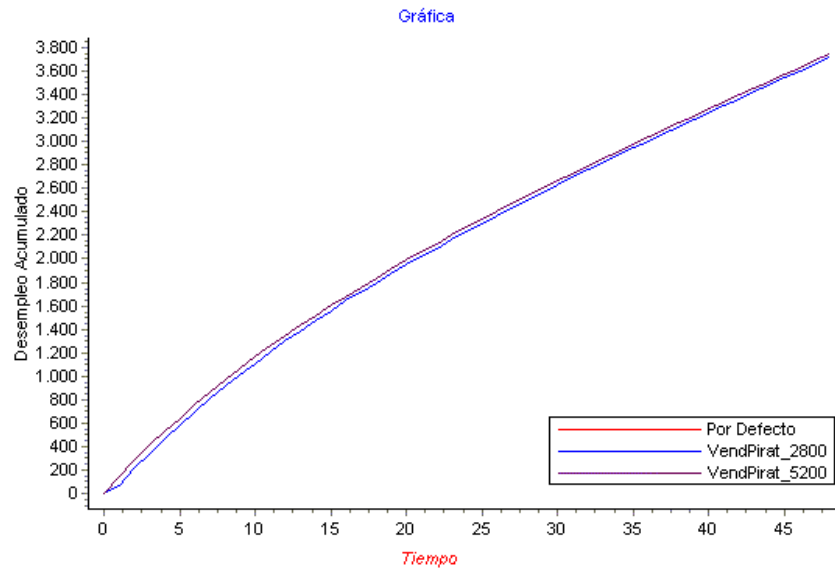


Figura 64. Comportamiento del Desempleo Acumulado con variación en la cantidad de Vendedores de Piratería (4000, 2800, 5200)

El comportamiento del Desempleo Acumulado ante las variaciones propuestas para la población de vendedores de piratería musical presenta un alto nivel de insensibilidad ocasionado por la rápida autorregulación de los precios del material discográfico no autorizado lo cual afecta directamente la aceptación de la piratería y por ello las ventas del material legal que se mantienen muy cercanas a su nivel “Por Defecto”, lo que obliga a los empresarios a mantener sus políticas de despidos. Estas trayectorias pueden apreciarse en la Figura 64.

15.7.4 Integración

Para la etapa de análisis de sensibilidad es posible llevar a cabo variaciones en los sistemas de inferencia difusa que se incluyen dentro del modelo, sin embargo estas modificaciones se encuentran limitadas por la naturaleza de las diferentes partes de los sistemas de inferencia. Es válido hacer modificaciones sobre las funciones de membresía tanto de las variables de entrada como de las de salida, dichas modificaciones corresponden a cambios en el tipo de las funciones o en la forma al cambiar los parámetros de dichas funciones que representan la membresía para cada categoría identificada durante la formalización de las reglas de inferencia. Sin embargo la modificación de reglas para los sistemas de inferencia pierde validez dentro de esta etapa del proceso de modelado, por cuanto la alteración de las mismas, ya sea incluyendo nuevas categorías y por ende creando nuevas reglas que las contemplen, o cambiando antecedentes y consecuentes que pueden dar origen a nuevas categorías, equivale a una modificación de una ecuación lo que sólo se daría después de una evaluación no satisfactoria del modelo y hacerse necesario de esta manera volver a la etapa de definición de ecuaciones.

No puede siquiera contemplarse añadir una variable nueva de entrada o de salida, ya que esto estaría modificando la estructura del sistema de inferencia difusa y con ello la estructura misma del modelo, lo que está más allá del alcance, posibilidad y propósito del análisis de sensibilidad.

15.8 EVALUACIÓN

Uno de los criterios de selección del fenómeno modelado, fue la actualidad del mismo, esta característica genera una dificultad a la hora de realizar el proceso de contrastado de datos ya que los estudios que se han realizado sobre esta situación utilizando otras metodologías son muy escasos, particularmente en Colombia, y los existentes presentan dos problemas muy relacionados entre si: Uno de ellos es que son de carácter económico y por tanto analizan las perspectiva del negocio desde el punto de vista de la industria musical legal, que los ha patrocinado por ser la directa afectada ya que a lo largo de los últimos años ha visto reducidas sus ventas al aumentar la producción y distribución de material musical ilegal, y que tratan de demostrar el daño que este tipo de delito le ocasiona a la sociedad haciendo un especial énfasis en el aspecto económico de esta problemática, o dando mayor importancia a la disminución en la recaudación de impuestos a causa de esta actividad ilegal para mostrar al estado la pérdidas que está sufriendo por la misma. La segunda dificultad presentada es la de que los estudios realizan presunciones erradas en las que, por ejemplo, se afirma que un CD que es comprado a los vendedores piratas, de no existir tales, sería vendido por la industria legal, que es una perspectiva demasiado optimista teniendo en cuenta la situación económica del ciudadano colombiano promedio y del elevado costo de la música legal; la situación más factible tendría que contar con la posibilidad de que el producto que no se compra al mercado pirata simplemente no será adquirido en definitiva.

15.8.1 Integración

Esta etapa del proceso de modelado no sufre ningún tipo de modificación por el hecho de que el modelo se construye independientemente de si se usó algún tipo de integración o si por el contrario se elaboró a partir de la Dinámica de Sistemas clásica. Adicionalmente en el primer capítulo del presente proyecto se encontró que en el “modelo apoyado” no se obtiene modificación alguna a esta etapa, por lo tanto es posible afirmar que sin importar el nivel de integración la evaluación del modelo sigue realizándose de la misma manera, ya que su objetivo es el de determinar si el modelo construido hasta el momento es el adecuado para representar el fenómeno o situación de estudio, y gracias a esto regresar en el proceso de modelado hasta una etapa previa que permita redefinir fragmentos del modelo, sean estos flujos, niveles, variables auxiliares, sistemas de inferencia difusa, e incluso, si se hace pertinente, modificar relaciones fundamentales y por medio de éstas el diagrama de influencias.

15.9 UTILIZACIÓN

Durante la creación del modelo para este capítulo, en vista de la nueva perspectiva identificada, se modificó ligeramente el plan de trabajo pues se observó que el propósito de pedirle a un grupo que creara un modelo con Dinámica de Sistemas de la manera

convencional para luego hacerlo con la integración, era evitar un sesgo o un intento de ajuste forzado al generar las no linealidades como sistemas de inferencia difusa conociendo previamente una de las dos, es decir, crear los FIS conociendo de antemano los resultados obtenidos por la Dinámica de Sistemas convencional, o viceversa, y por tanto se determinó una vez aclarado este propósito, que era más relevante crear un modelo empleando la propuesta de integración “débil” para permitir la realización de una comparación con el creado por medio de la integración “fuerte”.

De acuerdo a los propósitos planteados para este modelo, se ha completado parte de la utilización del mismo al llevar a cabo el proceso de modelado, pues por medio de éste, se han identificado modificaciones en la construcción de modelos, consecuencia de emplear la propuesta de integración fuerte con Lógica Difusa. Sin embargo, los objetivos formulados inicialmente no se encontrarán plenamente satisfechos hasta que no se realice una construcción de una representación de este fenómeno desde la perspectiva de la integración débil, para poder comparar los resultados obtenidos por cada una.

Como se indicó previamente en las conclusiones del capítulo anterior, las principales modificaciones que se presentan al proceso de modelado ocasionadas por la construcción de modelos apoyados en Lógica Difusa para mejorar su definición de elementos, son las de definición de ecuaciones y calibrado, sin embargo, etapas anteriores del mismo se ven afectadas, como la definición de magnitudes y el diagrama flujo-nivel, la construcción del modelo correspondiente con esta visión integradora no sufre pues ningún tipo de cambio de manera previa, y se puede mantener casi intactas las definiciones de los antecesores.

En la tabla de variables (código de) debido a la inexistencia del tipo de variable FIS, los elementos que posteriormente serán representados con este tipo de elemento aparecen como tablas o no-linealidades

Dado que la aceptación no se ha percibido aún, en la etapa de conceptualización del sistema, como una relación susceptible de ser representada por medio de un sistema de inferencia difusa, el diagrama de influencias perteneciente a este modelo corresponde con el presentado en la Figura 38. Si bien se recuerda, este diagrama no requiere la presencia de los símbolos especiales necesarios para representar influencias duales, pues por la posibilidad de asignar pesos a cada una de los aportes que realizan la publicidad y los precios, se facilita la determinación de los tipos de realimentación (positiva o negativa) mediante el análisis de ciclos independientes.

Durante la construcción del diagrama de Flujo-Nivel se presenta el primer inconveniente grave de la construcción del modelo, la imposibilidad de crear no-linealidades que reciban más de un parámetro, lo que obliga a buscar mecanismos para relacionar los elementos involucrados, en este caso, en que no existe algún tipo de ecuación directa que permita realizar esta asociación se optó por crear dos componentes de Lógica Difusa independientes que se agregaron como tablas y sobre las cuales se designaron pesos para, por medio de un polinomio, determinar el valor correcto del sistema de inferencia difuso que las mismas deberían representar, estos cambios dan lugar al modelo que se ve en la Figura 65.

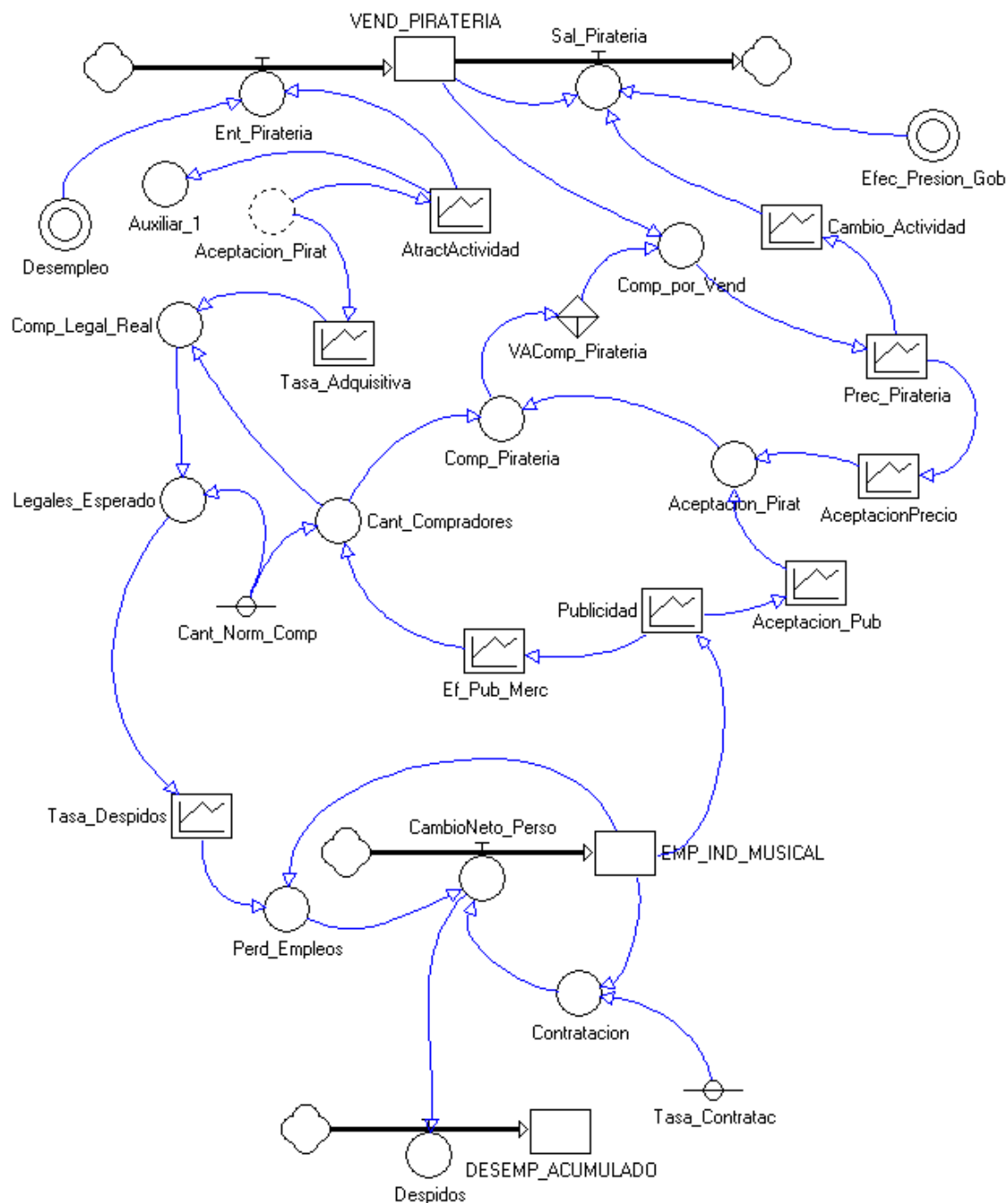


Figura 65. Diagrama Flujo-Nivel obtenido de la integración mediante un modelo apoyado

La etapa de definición de ecuaciones debe incluir entonces las nuevas formulaciones para los componentes identificados y eliminar los correspondientes con el sistema de inferencia

difusa que representaba la influencia simultanea de los precios y la publicidad en la aceptación de la piratería, adicionalmente debe incluirse el polinomio que las combina por medio de la asignación de pesos a cada una.

Los nuevos elementos que fueron agregados al modelo poseen las siguientes ecuaciones:

Publicidad

Reglas:

Si la publicidad es nula, entonces la aceptación por publicidad es poca
Si la publicidad es baja, entonces la aceptación por publicidad es media
Si la publicidad es media, entonces la aceptación por publicidad es media
Si la publicidad es alta, entonces la aceptación por publicidad es elevada
Si la publicidad es muy alta, entonces la aceptación por publicidad es elevada

Precios

Reglas:

Si el precio es barato, entonces la aceptación por precio es elevada
Si el precio es normal, entonces la aceptación por precio es elevada
Si el precio es caro, entonces la aceptación por precio es media
Si el precio es muy caro, entonces la aceptación por precio es poca

Auxiliares

○ Nombre: Aceptacion_Pirat
Definición: $0.7 * \text{AceptacionPrecio} + 0.3 * \text{Aceptacion_Pub}$

Una vez contruidos los sistemas de inferencia difusos en MatLab y generadas las tablas que posteriormente son agregadas a Evolución por medios manuales, se puede emplear la simulación para observar las trayectorias de algunos elementos. En este punto es importante mostrar algunos resultados comparativos de poner frente a frente el funcionamiento de los .dll's comparados con la precisión obtenida mediante las tablas, para el caso de un elemento sencillo que sólo posee una entrada y una salida como es el "Cambio de Actividad" se presentan los siguientes resultados:

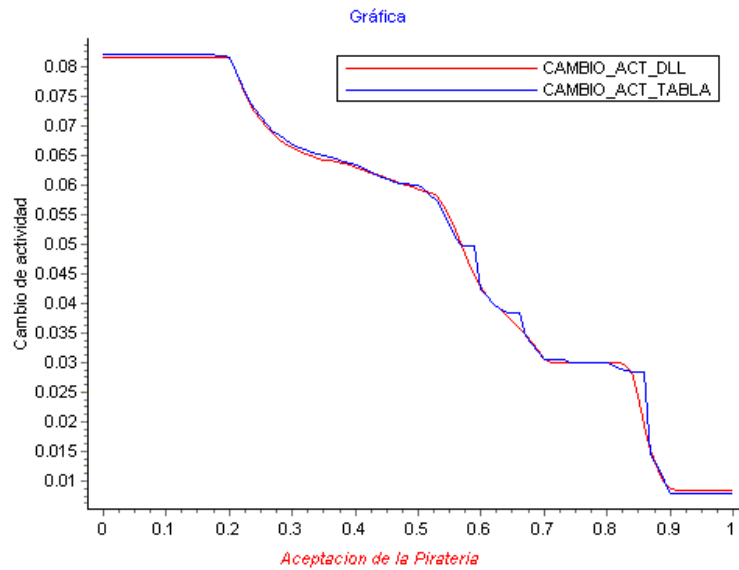


Figura 66. Comparación entre Cambio de Actividad con .dll y con tabla usando interpolación lineal

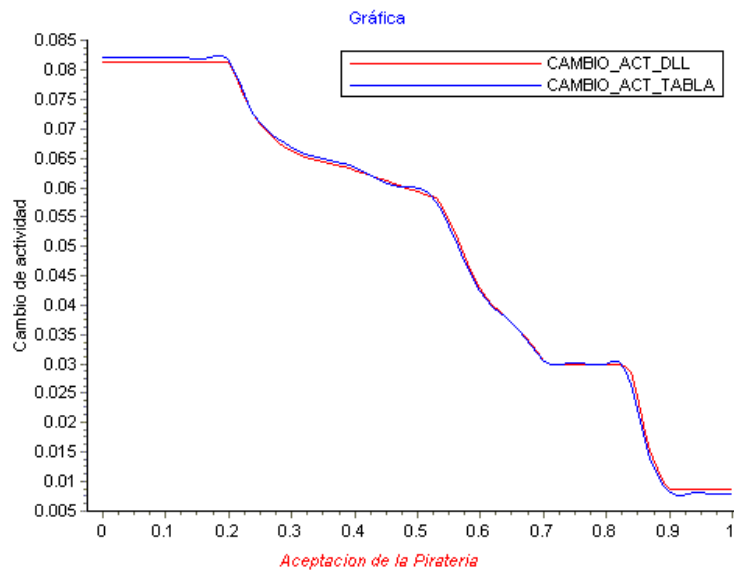


Figura 67. Comparación entre Cambio de Actividad con .dll y con tabla usando interpolación Spline

Como se puede apreciar en la Figura 66 y Figura 67 el resultado obtenido con la tabla difiere notablemente en algunas partes del arrojado por el dll, esto se debe a la discontinuidad de la tabla que debe ser manejada mediante procedimientos de interpolación, obteniéndose para este caso una mayor aproximación con el método Spline

incluido en Evolución que aunque no logra eliminar del todo las discrepancias, consigue atenuarlas notablemente.

Posteriormente a la comparación directa se hace necesario efectuar una comparación entre las trayectorias obtenidas de la simulación de cada uno de los modelos, el que hace uso de dll's para integrar los sistemas de inferencia, y el que está apoyado en su definición de ecuaciones mediante los FIS importados a manera de no-linealidades, y por ende, como tablas.

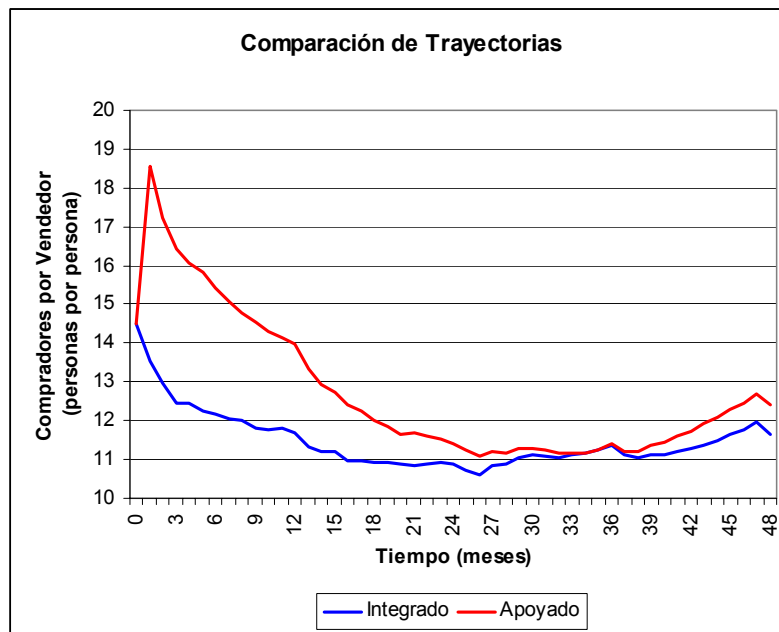


Figura 68. Comparación de trayectorias para los Compradores por Vendedor

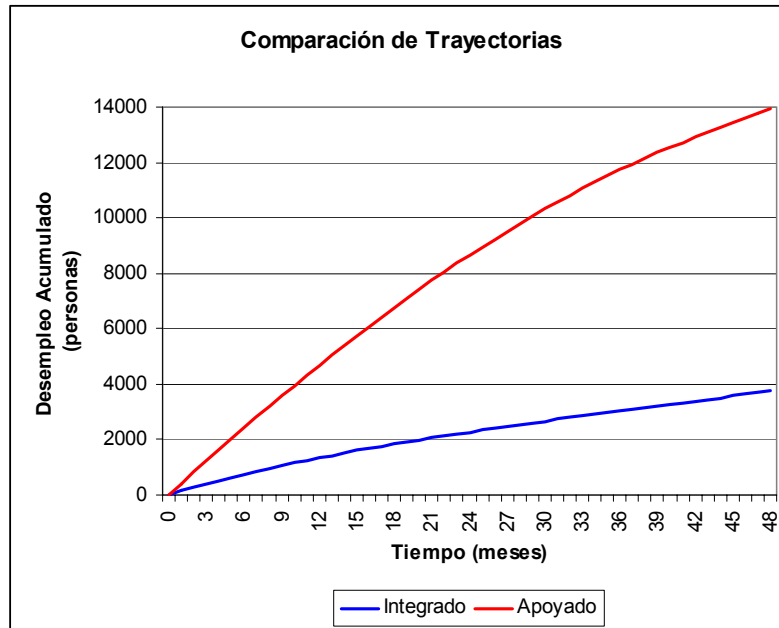


Figura 69. Comparación de trayectorias para Desempleo Acumulado

A simple vista se pueden observar las importantes diferencias entre las trayectorias obtenidas, especialmente en la del Desempleo Acumulado el cual se dispara ostensiblemente. En el caso de los Compradores por Vendedor, las trayectorias se asemejan más debido al gran número de relaciones en las que está involucrado este elemento y que permite su regulación en momentos posteriores de la simulación sin llegar en ningún caso a funcionar exactamente de la misma manera.

16. CONCLUSIONES

Hasta este punto se han estudiado dos posibilidades diferentes de integración: la débil, examinada a profundidad en el primer capítulo y que había sido trabajada previamente en otro proyecto de grado; y la fuerte, que se presenta como una novedad que surgió a partir de las limitaciones de la primera. De esta última se pueden extraer interesantes conclusiones al examinar el proceso de modelado llevado a cabo para la segunda situación de estudio. La documentación de la construcción del modelo se hizo de tal forma que durante cada etapa se marcara de qué manera la integración influyó en la misma facilitando con ello la identificación de los cambios, si los hay, en que se incurre al estudiar fenómenos con dicha propuesta de integración.

De manera general si se desea emplear una herramienta en una construcción o una reparación, se debe conocer la existencia de la misma. Para la creación de modelos de Dinámica de Sistemas, esta afirmación no se hace menos cierta, por ejemplo si se desea incluir una distribución de probabilidad como una de las variables del modelo, el modelador debe por lo menos tener nociones de estadística que le permitan ver dentro del análisis del fenómeno o la situación algún elemento que corresponda con este tipo de construcción, en el caso de este nuevo tipo de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Borrosa por medio de los sistemas de inferencia difusa, es de vital importancia no sólo que el modelador conozca la existencia de esta posibilidad, sino que además comprenda de manera básica los conceptos involucrados en los sistemas de inferencia difusa, ya que debe determinar desde la misma descripción del sistema, qué relaciones y elementos pueden ser representados de mejor manera por este útil matemático.

Definir un método o proceso para la creación de modelos que unan la Dinámica de Sistemas con la Lógica Difusa desde la nueva perspectiva de integración fuerte es de suma importancia para realizar comparaciones entre las dos visiones integradoras, y entre éstas con el proceso de modelado clásico. Además una primera definición del proceso puede servir como base para la generación de los lineamientos metodológicos definitivos que enmarcarán la conjunción.

Durante la creación del modelo y la descripción de sus etapas se modificó la presentación de la información en las mismas para dar un mayor énfasis a los cambios generados por la integración ya que ésta ahora hace parte integral del proceso, abandonando un poco la percepción de que se crea el sistema de inferencia difuso en algún punto del proceso, y acercándose más a la de que se crea un modelo que incorpora elementos de lógica difusa. En dicha incorporación la Lógica Difusa deja de ser simplemente una herramienta para la definición de elementos no-lineales para convertirse en parte fundamental de la estructura del

modelo, al punto que como ya se dijo, requiere que los modeladores piensen fragmentos del fenómeno en función de sistemas de inferencia y variables cualitativas.

Algunos cambios sufridos por el proceso de modelado en diferentes etapas al emplear la conjunción entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa desde su enfoque integrado son:

1. Descripción del Sistema, Identificación de Elementos y Relaciones Fundamentales: Al llevar a cabo el reconocimiento del fenómeno desde la postura integradora explorada en este capítulo se realiza la identificación de relaciones y elementos semi-estructurados que representan situaciones de decisión, categorización, o percepción, que poseen aspectos cualitativos y que son susceptibles de ser representados mediante sistemas de inferencia difusa.
2. Conceptualización del Sistema, Diagrama de Influencias: Dependiendo de la situación particular, es factible la aparición de relaciones que en un momento dado no pueda definirse si son de influencia positiva o negativa sobre algunos elementos, en estos casos pueden aparecer relaciones de signo no determinado o de signo dual como consecuencia de la dinámica misma del sistema en un momento específico. El uso de una simbología especial no es indispensable para el proceso de modelado, pero agrega claridad a los diagramas y se recomienda su utilización.
3. Definición Precisa de Cada Magnitud, Código de Variables: En la construcción del código de variables se debe identificar de manera distintiva aquellas variables que corresponden con sistemas de inferencia difusa y adicionalmente, incluir la demás información pertinente dentro de la tabla, es decir, el nombre abreviado, el nombre completo y las unidades en las que se expresa.
4. Diagrama Flujo-Nivel: El uso de una simbología que permita la rápida identificación de la naturaleza de los diversos elementos de un modelo de dinámica de sistemas, sin recurrir a examinar la tabla de variables o las ecuaciones que las describen, es una de las preocupaciones del grupo de investigación SIMON y por tanto su herramienta de apoyo al modelado, Evolución, presenta una útil variedad de símbolos para representar los diferentes elementos en el modelo (niveles, flujos, no-linealidades, parámetros, etc.). Siguiendo esta tendencia se han propuesto dos símbolos que pueden indicar el uso de sistemas de inferencia difusa en el modelo y que son candidatos para su inclusión en una futura modificación de la herramienta.

5. Definición de Ecuaciones: Comparándola con el proceso de creación de los modelos apoyados esta etapa es la que presenta las más pequeñas modificaciones al recurrir igualmente a la ayuda de un experto para definir las reglas, los rangos de entrada y los rangos de salida; con la diferencia que en este caso el modelador puede hacer parte activa de dicho procedimiento.
6. Calibrado: Durante la etapa de calibrado se determina la forma y tipo de las funciones de membresía que mejor representan los aspectos del fenómeno que les corresponden; así mismo se deben realizar los ajustes necesarios al conjunto de reglas de manera que recojan adecuadamente el comportamiento de los elementos representados mediante sistemas de inferencia difusa. Para llevar a cabo la inclusión de los sistemas de inferencia dentro del modelo y posteriormente ejecutarlo, es necesario exportar los FIS a través de librerías dll desde la herramienta que permite su creación, para posteriormente importarlos a modo de funciones dentro de variables auxiliares de Evolución.
7. Análisis de sensibilidad: Como se ha clarificado anteriormente dentro de este documento, en la fase de análisis de sensibilidad se estudia el impacto sobre el comportamiento del modelo que tienen alteraciones en sus variables endógenas, las funciones de membresía de algunos FIS en cuanto al tipo y parámetros de las mismas, se ajustan al concepto de variables endógenas según sea posible influir sobre ellas desde el fenómeno estudiado, es así como se hace válido estudiar las consecuencias de efectuar cambios sobre los tipos de las funciones de membresía y su forma, representada por sus parámetros, y a partir de esto estimar una sensibilidad del modelo a cambios en este conjunto de cantidades.

A diferencia del enfoque del modelo apoyado en el cual hay escasas modificaciones al proceso de modelado y éstas son de carácter superficial, en la conjunción desde la perspectiva del modelo integrado se pueden observar cambios de fondo en muchas de las etapas de dicho procedimiento sin llegar a la necesidad de generar nuevas fases para el desarrollo de los modelos. Dichos cambios se manifiestan desde la forma misma en que el modelador aborda el fenómeno al permitirle concebir varias relaciones fundamentales como conjuntos de reglas que posteriormente se transformarán en sistemas de inferencia difusa. Lo que podría generar influencias dependientes de varios elementos de manera simultánea, y que a su vez ejerce presión para modificar la etapa de Conceptualización del Sistema como se presentó previamente dentro de esta sección.

Uno de los cambios más interesantes se presenta durante la construcción del diagrama flujo nivel, las decisiones, categorizaciones y percepciones que realizan los seres humanos en muchas oportunidades tienen en cuenta múltiples elementos ya sea de manera simultánea o mediante una secuencia de evaluaciones de una menor cantidad de los mismos, por medio de la alternativa de integración fuerte se pueden analizar de manera simultánea e independiente, eliminando la necesidad de relacionar por medio de operaciones muchas veces inexistentes, varios de los elementos que hacen parte de los criterios de selección. Dichas operaciones se usan frecuentemente para eliminar inconsistencias dimensionales que se generarían al momento de incorporar las relaciones no-lineales a las ecuaciones del modelo, pero gracias a los sistemas de inferencia difusa el cambio de las unidades que se genera en la mente de los individuos que toman decisiones se puede representar haciendo a un lado la preocupación por las unidades de la variada información sobre la cual se está efectuando juicios. Un ejemplo de esto sería una situación en la que un negociante desea invertir parte de su capital en una empresa; para tomar la decisión de cuánto invertir analiza la demanda del producto que ofrece la compañía, el cual se mide en unidades por tiempo, y el nivel de competencia de ese mercado que es una percepción del número de competidores más el estado actual de los mismos, entre otras. Esto se transforma en una decisión final de invertir, la cual se mediría en unidades monetarias.

Si una organización desea contratar los servicios de un modelador en Dinámica de Sistemas para realizar un estudio acerca del funcionamiento interno de la misma, en muchas oportunidades se presenta la situación en la que sólo un individuo toma decisiones dentro de la compañía; por medio de la integración “fuerte” entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa en conjunto con un estudio completo de la forma de tomar decisiones de este individuo se puede crear un sistema de inferencia difusa que represente su proceso decisorio logrando una mayor adaptación a las necesidades del cliente. Lamentablemente este tipo de ajustes sólo pueden ser realizados en el caso de que el sujeto que toma las decisiones sea un único individuo, o como en la mayoría de los modelos de Dinámica de Sistemas, se trabaje con un promedio de individuos; ya que para poder generar decisiones individuales para un conjunto de sujetos se debería incluir algún otro útil matemático como los autómatas celulares.

Una de las principales funciones de los modelos de Dinámica de Sistemas es analizar fenómenos o situaciones para generar cambios en los mismos, y en el peor de los casos, para sólo evaluar posibilidades de cambio. Con la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa aparece una interesante alternativa que permite complementar el proceso de utilización, ésta es la capacidad de modificar la forma de pensar de los grupos de individuos que son representados en el modelo, no sólo alterando la estructura del mismo sino incluso cambiando paradigmas al modificar las reglas con las cuales se generan las percepciones, categorizaciones y decisiones de dichos sujetos.

El modelo tratado en el primer capítulo fue seleccionado con base en la necesidad de efectuar un análisis crítico al trabajo realizado previamente, esta situación era de un marcado corte económico con algunos aspectos de tipo financiero. Para guardar coherencia con los propósitos de este proyecto se buscó diversificar el tipo de fenómenos a estudiar seleccionando uno que posee una alta carga social y que sin embargo no puede ignorar algunos aspectos económicos inherentes de la situación. Tras la creación del modelo integrado y el seguimiento de todo este proceso se puede observar que este tipo de situaciones no está exento del tratamiento propuesto a lo largo de este trabajo de grado y, con apoyo de la teoría sobre ciencia social, se puede afirmar que en general, es viable el análisis desde la nueva perspectiva integradora entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa para este tipo de situaciones.

Gracias a la literatura consultada, a lo presentado en el proyecto inicial, la investigación realizada hasta el momento y el aporte de otros grupos de trabajo, se empieza a vislumbrar un factor común entre las situaciones que han sido abordadas con alguna de las formas de integración propuestas; sin embargo es muy pronto para aventurarse a realizar una afirmación categórica al respecto, sólo se puede decir que el factor humano ha estado muy presente en todos los ejemplos encontrados y/o desarrollados hasta este punto, como se puede observar en el fenómeno estudiado en este capítulo.

Al tratar de representar con Dinámica de Sistemas clásica algunos aspectos cualitativos de las situaciones a estudiar, suele hacerse necesaria una desagregación detallada de dichos aspectos con el fin de acercar su tratamiento al dominio de las ecuaciones diferenciales, sin embargo esto resulta poco intuitivo y corre el riesgo de desvirtuar las intenciones explicativas de los modelos para aquellas personas que no están familiarizadas con el lenguaje de la Dinámica de Sistemas. El enfoque de modelo integrado permite que los mencionados aspectos cualitativos sean contenidos dentro de los sistemas de inferencia difusa, de esta manera es posible obtener mayor simplificación en las representaciones con Dinámica de Sistemas lo que eleva la comprensión de los clientes del modelo frente al fenómeno.

Habitualmente, cuando se desea representar dentro de los modelos de Dinámica de Sistemas entidades que presentan opciones o que pueden exhibir un comportamiento determinado en algún momento, se opta por establecer la probabilidad de cada uno de los posibles estados del elemento que los caracteriza y se obtienen los valores esperados para cada uno de los resultados que puede arrojar. Gracias a que los sistemas de inferencia difusa permiten la evaluación de entradas y el cálculo de las salidas de acuerdo a una serie de reglas, es posible omitir el uso de comportamientos probables y enfocar la representación, no a los valores esperados, sino a los criterios involucrados en estos elementos

En términos generales al disponer de los sistemas de inferencia difusa como herramientas de representación dentro de los modelos de Dinámica de Sistemas, y por consiguiente poder estudiar aspectos de los fenómenos a tratar desde un punto de vista cualitativo, se reduce la brecha existente entre el lenguaje cotidiano que permite una expresión inicial de los modelos mentales, y el lenguaje de Dinámica de Sistemas que ofrece una mayor formalización y profundidad en la representación y evolución de los mismos.

A pesar de que la inclusión de sistemas de inferencia difusa para la representación de decisiones en un modelo de Dinámica de Sistemas, mejora de manera sustancial la comprensión de la forma como un individuo o un grupo de éstos toma una decisión (en su elaboración se analiza la mecánica de la decisión al buscar las reglas a las cuales son sometidos los criterios), no se está por ello más cerca de poder plasmar en un diagrama de flujo-nivel, e incluso en el de influencias, las razones por las cuales el agente decisorio posee y utiliza el sistema de evaluación representado; esta sigue siendo labor de otras ciencias como la psicología y la filosofía, indispensables en el trabajo de la ciencia social.

Con la integración se busca facilitar la representación de aspectos cualitativos de fenómenos que son de difícil definición por medio de valores exactos y ecuaciones diferenciales convencionales. El manejo de este tipo de relaciones mediante elementos de carácter difuso conlleva el riesgo de abuso de los FIS, ya que podría llegarse a un modelo en que, por recurrir al facilismo de no definir claramente las ecuaciones del modelo ni las dimensiones asociadas a ellas, se incluyan de manera innecesaria demasiados sistemas de inferencia difusa.

Otra dificultad que aparece es la generada por la construcción de los sistemas de inferencia difusa; éstos, para su correcta definición requieren una cantidad no despreciable de información y muchas veces, de experimentos propios que deben ser llevados a cabo de manera paralela a la construcción del modelo y compartiendo los recursos disponibles para su elaboración, de esta manera pueden generarse situaciones en las que el experimento requerido para obtener los datos acerca del “método” de decisión sea irrealizable o tan complejo que pueda dejar de ser viable la realización del modelo.

Dado el carácter reciente de la investigación sobre integración entre Dinámica de Sistemas y otras matemáticas como la Lógica Difusa, al explorar diversas formas de realizar la conjunción se encuentra latente la falta de un software apropiado que soporte los diferentes enfoques analizados. Se hizo, por tanto, necesaria la utilización de algunas características especiales del software de apoyo al modelado, Evolución 3.5, en conjunto con otros programas especializados en el manejo de Lógica Difusa para llevar a cabo el funcionamiento de los sistemas de inferencia en tiempo de ejecución durante las simulaciones del modelo, generando una carga de trabajo extra para los desarrolladores de éste al exigirles

conocimientos de nivel medio en programación que les permitan crear las librerías de enlace dinámico.

Ignorando la limitación impuesta por el software dada su incapacidad para definir tablas de más de una entrada, cuando desde la perspectiva de integración débil se recurre a no linealidades que relacionan dos o más variables de entrada, la complejidad y tamaño que se requiere en las tablas aumenta de manera exponencial y el costo de considerar la misma cantidad de intervalos de evaluación para cada variable se hace extremadamente elevado e inviable en términos de manejo computacional y labor de inserción de los valores correspondientes dentro de la herramienta de apoyo al modelado.

Al realizar un paralelo entre los resultados obtenidos de estudiar el mismo fenómeno desde las dos perspectivas de integración propuestas, se puede apreciar que las principales diferencias entre una y otra se presentan en términos del proceso de modelado y de la conceptualización del caso de estudio. Mientras que para la perspectiva de integración débil se busca crear un modelo apoyado y se ve a los sistemas de inferencia difusa como una herramienta más entre las alternativas existentes, permitiéndose así llevar a cabo el proceso hasta el diagrama de flujo-nivel sin ningún cambio apreciable; en la integración fuerte fragmentos del fenómeno se conceptualizan como sistemas de reglas y variables lingüísticas que claramente serían mejor representadas por sistemas de inferencia difusa debido a sus cualidades de toma de decisiones, categorización de la información o percepción del entorno, lo que además permite una transición más natural entre el fenómeno y el modelo.

La integración débil es viable cuando se requiera mantener la sencillez sobre el proceso de modelado, cuando sea factible la representación aproximada de los resultados obtenidos por las “otras matemáticas” mediante tablas o expresiones correspondientes a las ecuaciones diferenciales tradicionales y cuando los modeladores no poseen los conocimientos necesarios para analizar el fenómeno conscientes de la existencia de la otra posibilidad. De manera análoga, se considera adecuado el uso de integración fuerte, cuando la respuesta que se busca en los sub-sistemas modelados con “otras matemáticas” exija flexibilidad de los mismos ante un buen número de entradas y escenarios posibles.

Retornando a la situación actual real, son evidentes las limitaciones ocasionadas por el software al tratar de implementar la forma de integración débil, en el caso en el cual los sistemas de inferencia difusa requeridos poseen sólo una entrada y una salida no se presentan mayores inconvenientes en su transición a la herramienta de apoyo al modelado, pero hay que tratar de una manera especial los de dos o más entradas porque es común encontrar casos en los que las influencias que afectan el sistema de inferencia difusa no se pueden relacionar de manera directa, como en el caso de la publicidad y el precio dentro del modelo construido para este capítulo. Una opción es definir por separado el aporte de cada una de las

entradas en el FIS y posteriormente reunir estos dos efectos por medio de un polinomio que le de pesos a cada uno según su importancia para la evaluación del sistema de inferencia.

En el proceso de construcción del modelo trabajado a lo largo de este capítulo desde el enfoque de integración “fuerte”, se optó por llevar a cabo la elaboración de los sistemas de inferencia difusa con UNFuzzy. Se prefirió esta herramienta sobre MatLab, el cuál fue empleado en el trabajo del primer capítulo, debido a que el carácter de propósito general que posee MatLab hace necesario que el código generado y manipulado por el mismo posea un alto nivel de complejidad en comparación con el generado por UNFuzzy. Como se ha mencionado anteriormente, para llevar a cabo la integración de los sistemas de inferencia difusa dentro del modelo de Dinámica de Sistemas, hasta el momento, se requiere exportar los FIS como librerías de enlace dinámico y su inclusión en la herramienta de apoyo al modelado, Evolución 3.5; esto hace deseable la posibilidad de revisar el código C generado por las herramientas así como realizar ajustes en cuanto a tipos de datos y llamados a funciones de acuerdo a los requerimientos que las dll exigen, condición que en este caso UNFuzzy satisface de una mejor manera por ser una herramienta de propósito específico con carácter académico.

Dentro del primer capítulo del presente trabajo se identificaron algunas limitaciones del software y necesidades con respecto a la puesta en práctica de la integración desde la perspectiva del “modelo apoyado”, de la misma manera esta segunda situación de estudio genera requerimientos nuevos acordes con la visión integrada para la construcción de modelos con Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa, la herramienta de apoyo al modelado, Evolución, desarrollada por el grupo de investigación SIMON, no está preparada para asistir al modelador en este tipo de trabajo, para lograr el mejoramiento de dicha herramienta se hace necesario destacar los requerimientos mínimos para su posterior inclusión en una versión futura de la misma, estos requisitos se hacen más fáciles de detectar gracias a la identificación de los cambios en el proceso de modelado realizada durante la construcción del modelo y retomada en estas conclusiones.

Como se mencionó anteriormente, en la etapa de conceptualización del sistema, al construir el diagrama de influencias, éstas pueden tener un sentido dependiente del resultado de la evaluación de relaciones de manera simultánea asociadas a percepciones, clasificaciones o decisiones involucradas en el fenómeno. Esto impide determinar una orientación definitiva para dichas influencias, lo que se podría representar más adecuadamente por medio de una simbología que ilustre influencias duales o dependientes, como la observada en la Figura 40. Este tipo de construcción es imposible de elaborar actualmente con las herramientas ofrecidas por el software de apoyo al modelado.

Tal vez el cambio más importante que se podría lograr sobre el software de apoyo al modelado, es aquél que permitiría la creación de un elemento que se identificara con las características básicas de un sistema de inferencia difusa; acorde con las políticas del grupo SIMON dicho elemento requeriría una simbología especial, de las dos gráficas posibles previamente planteadas en la Figura 42 se seleccionó aquella compuesta por una circunferencia que inscribe un plano cartesiano con tres pequeñas funciones de membresía como se ilustra en la Figura 70. Esto facilitaría la identificación de este tipo de construcciones matemáticas sin la necesidad de acceder a su definición interna.



Figura 70. Representación para FIS seleccionada

Por supuesto, el cambio dentro del software debe ser ir más allá de lo estético y ofrecer facilidades prácticas en la aplicación del enfoque integrador, por ello, asociada a esta figura debe crearse una forma para la completa definición de un sistema de inferencia difusa que incluya como mínimo un editor del universo de entrada, un editor del universo de salida, opciones para manipular el motor de inferencia y un método para evaluar de manera rápida la salida.

17. BIBLIOGRAFÍA

Aracil, Javier. Introducción a la Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial S.A., Tercera Edición, Madrid, 1986.

Buckley, Walter. La Sociología y las Teorías Modernas de los Sistemas, Amorrortu Editores, Buenos Aires, 1968.

Galviz, Julio César. "SOS por las disqueras (Análisis)", Artículo publicado en el periódico EL TIEMPO, Bogotá, 20 de Junio de 2004.

Gutiérrez, Juan Carlos. "El Mundo de los Piratas", Artículo publicado en el periódico VANGUARDIA LIBERAL, Bucaramanga, 7 de Noviembre de 2004.

Madge, John. Las Herramientas de la Ciencia Social, Editorial Paidós S.A., Argentina, 1973.

Quintero, Felix Leonardo. "En Colombia, el 70% del mercado musical es de los 'piratas'", Artículo publicado en el periódico EL TIEMPO, Bogotá, 19 de Junio de 2004.

Rivera Palacios, César; Sarmiento Villamizar, Freddy; Andrade Sosa, Hugo; Memorias Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas: Integración Entre la Dinámica de Sistemas y Otras Matemáticas para la Representación del Conocimiento, División Editorial y de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2004.

Sociedad General de Autores y Editores, España. Empresa Mega Investment Business, Ltd. "Resumen del Informe Sobre la Estructura de Costes de una Red de Piratería". [en línea]. Dirección URL: <http://www.sgae.es/recursos/pdf/pirateria_2004/informe.pdf> [Última Consulta: 14 de Noviembre 2004].

Sociedad General de Autores y Editores, España. Instituto de Empresa. "Resumen del Informe Sobre Estimación de los Efectos Económicos de la Piratería". [en línea]. Dirección URL: <http://www.sgae.es/recursos/pdf/pirateria_2004/estimacion_efectos.pdf> [Última Consulta: 14 de Noviembre 2004]

University of North Carolina, North Carolina. Felix Oberholzer, Koleman Strumpf. "The Effect of File Sharing on Record Sales: An Empirical Analysis". [en línea]. Dirección URL: <http://www.unc.edu/~cigar/papers/FileSharing_March2004.pdf> [Última Consulta: 15 de Noviembre 2004].

SEGUNDA ITERACIÓN (CAPÍTULO 3)

18. INTRODUCCIÓN

Este capítulo busca continuar con el trabajo orientado a alcanzar un mayor desarrollo en cuanto a las posibilidades de aplicación de la integración en fenómenos no tratados previamente mediante la DS convencional. Además de permitir el modelamiento de un tipo de fenómeno diferente a los tratados hasta el momento, brindando bases para vislumbrar el tipo de fenómenos que pueden ser tratados por esta nueva perspectiva, se quiere clarificar y ampliar lo identificado previamente en cuanto a las necesidades que deben cubrir las herramientas empleadas para dar apoyo al proceso de modelado.

El primer fragmento del capítulo se detiene en el software empleado como ayuda en la creación de los sistemas de inferencia difusa dentro del contexto de la integración fuerte. Dicho software es la herramienta para creación y manejo de FIS llamada UNFuzzy, sobre ella se presenta un texto a modo de manual de referencia breve que explica las diferentes opciones a las que se puede acceder mediante los menús del software, así como las diferentes posibilidades, debilidades y limitaciones que se han encontrado al hacer uso del mismo en la construcción de modelos desde la perspectiva integradora fuerte.

Debido a que se desea trabajar sobre un modelo de un tipo diferente a los tratados hasta el momento se presentan unas consideraciones acerca de la relación que puede establecerse entre la Dinámica de Sistemas y la Ciencia Ambiental. En esta sección del capítulo se presentan conceptos análogos entre las dos disciplinas al considerar la manera en que cada una maneja sistemas complejos y aplica límites a los fenómenos estudiados. Al tiempo que se presentan afinidades entre las disciplinas tratadas se introduce la posibilidad de hacer uso del modelado con Dinámica de Sistemas en investigaciones de carácter ambiental. Finalmente se propone la exploración en el uso de la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa para ampliar las posibilidades de representación en la Ciencia Ambiental.

Uno de los objetivos de este proyecto es determinar el tipo de situaciones en las cuales se puede utilizar alguna forma de la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa; para estar acorde con esta necesidad en este tercer capítulo se seleccionó un fenómeno de carácter ambiental, se hizo pues necesario explicar de manera general en qué consiste el impacto ambiental que tienen los cultivos ilícitos sobre los ecosistemas en los cuales se está presentado esta situación y en particular, el daño que ocasionan algunos insumos químicos empleados en el cultivo de la hoja de coca y en el proceso de producción del clorhidrato de cocaína que es el producto final y la razón última por la cual se está destruyendo el importante patrimonio ecológico que representa la zona de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Al igual que en capítulos anteriores se construyó un modelo de Dinámica de Sistemas que emplea la perspectiva de integración fuerte para suplir ciertas necesidades que se presentan en cuanto a decisiones y percepciones de algunos elementos de la situación, en esta oportunidad a diferencia de las construcciones anteriores el énfasis en esta etapa no es determinar cambios en la forma de crear dicho modelo, sino aplicar los conceptos previamente definidos en las conclusiones del capítulo anterior. Como se indicó

previamente el modelo trata con una problemática ambiental muy vigente en Colombia que es el impacto ambiental negativo que está ocasionando el creciente número de hectáreas de planta de coca sembradas en la Sierra Nevada de Santa Marta, esta investigación fue iniciada por un grupo de estudiantes de la Universidad del Magdalena durante su curso/seminario de Dinámica de Sistemas, dictado por el profesor Hugo Andrade Sosa, en el que se les asignó la tarea de analizar un fenómeno ambiental que no hubiera sido estudiado previamente por la Dinámica de Sistemas para emplear sobre la construcción los conceptos de integración con Lógica Difusa que existían hasta el momento. En este documento, este trabajo fue reevaluado buscando su mejoramiento y acercándolo más a la situación real reconstruyendo buena parte del mismo en lo referente a las influencias, y con ello, los sistemas de inferencia difusa presentes además de emplear valores para los parámetros más ajustados con los observados en la problemática real.

Por último, las conclusiones de este capítulo permiten un mayor acercamiento a la consecución completa de los objetivos trazados al continuar el proceso de mejoramiento y realizar un aporte sustancial a la definición de requerimientos para la construcción de un software que apoye la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa, dada la familiaridad alcanzada con diversas herramientas que ha permitido realizar recomendaciones de necesidades del sistema que se deben suplir y los recursos de hardware necesarios para el mismo.

19. INSERCIÓN DE UN SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO (FIS)

- Con Evolución 3.5 -

Durante el trabajo realizado en el primer sobre el modelo del primer capítulo se identificaron varias debilidades y limitaciones en la manera de integrar la Dinámica de Sistemas con la Lógica Difusa. La visión de integración fuerte surgió buscando una manera de eliminar estos impedimentos, pero a su vez trajo consigo nuevos retos logísticos ya que se requería emplear las herramientas proporcionadas por Evolución que permiten el uso de librerías de enlace dinámico para agregar funciones inexistentes a este software de apoyo al modelado, esto trae consigo un nuevo problema: ¿cómo transformar el código generado en “C” por el toolbox de MatLab en una librería de enlace dinámico Delphi para que Evolución lo pueda emplear? En este momento determinante apareció UNFuzzy 1.2 encontrado en la red realizando búsquedas por herramientas que facilitarían la creación de sistemas de inferencia difusa y adicionalmente permitieran la generación de código fuente.

Con la presencia de UNFuzzy se agregaba otra variable a la situación y era hora de inclinarse por una de las dos herramientas. UNFuzzy presentaba varias ventajas, entre las más importantes se cuenta el hecho de que es un software de propósito específico que no requiere compartir tipos de datos entre varios módulos lo que aumenta la viabilidad de revisar y adaptar el código generado ofreciendo así garantía sobre la adecuada integración y funcionamiento de los sistemas de inferencia dentro de los modelos de Evolución.

La gama de funciones para la definición de congresores y difusores que ofrece UNFuzzy es significativamente amplia permitiendo cubrir la gran mayoría de las necesidades de representación que aparecen en la práctica del enfoque de integración aquí tratado. Esto sumado a las facilidades que ofrece el software para la evaluación rápida y detallada de los sistemas de inferencia, permite la identificación de UNFuzzy como una herramienta suficientemente versátil pero que mantiene un adecuado control sobre la complejidad de su manejo. Adicionalmente UNFuzzy es un programa de carácter académico, y su distribución y derechos de uso son completamente gratuitos para tales fines.

UNFuzzy 1.2 es una herramienta software creada en la Universidad Nacional de Colombia cuyo propósito es brindar al usuario un ambiente de trabajo adecuado para el diseño, simulación e implementación de Sistemas de Lógica Difusa.

Sus requerimientos son bastante modestos ya que comparten los de la plataforma para la cual fue construido, Windows 95 y NT; Adicionalmente, se necesitan 2Mb de espacio disponible en disco duro para su instalación básica, 10Mb adicionales si se desean instalar los ejemplos de aplicación, 4Mb adicionales si se desean instalar los archivos del informe escrito correspondientes al manual de usuario, y 12Mb extra para instalar los archivos del código fuente con los recursos, estos últimos no se encuentran disponibles para todo el público.

19.1 INSTALANDO UNFUZZY

Más que un proceso de instalación como tal, Unfuzzy requiere una descompresión de los archivos que lo componen y que usualmente vienen distribuidos en disquetes, se recomienda crear un directorio de nombre Unfuzzy y posteriormente extraer la información del primer disco que contiene los siguientes archivos:

- Unfuzzy.exe: versión ejecutable del programa
- Bwcc32.dll: librería de BorlandC para el manejo de la interfaz grafica en 32 bits
- Ejemplo.dif: un primer ejemplo para probar Unfuzzy
- Fuzzy.hpp: archivo con el encabezado de las clases necesarias para utilizar el código C++ generado por Unfuzzy.
- Fuzzy.cpp: archivo con las funciones de las clases necesarias para utilizar el código C++ generado por Unfuzzy.
- Unfuzzy.hlp: un archivo con la ayuda correspondiente al manejo del software.

Adicionalmente se pueden conseguir tres (3) ejemplos de aplicación de sistemas de inferencia difusa creados en UNFuzzy, estos se pueden descomprimir del disquete dos y tres, o descargar de la página del creador del software³³.

El inicio de UNfuzzy es muy sencillo. Si se está utilizando un ratón, se pulsa dos veces sobre el icono de Unfuzzy, que aparece en el directorio en que se descomprimió, ver Figura 71.

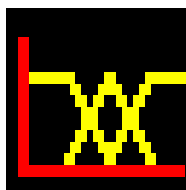


Figura 71. Icono de Unfuzzy

Esta pequeña descripción se ha creado para proporcionar una amplia visión de cada opción del entorno de Unfuzzy. No hay que preocuparse por el número de utilidades y opciones disponibles, ya que se pueden usar los parámetros por omisión de muchas de las posibilidades, para hacer más fácil el proceso de preparar y ejecutar un FIS.

19.2 EL ENTORNO DE DESARROLLO

Una vez instalado y ejecutado Unfuzzy, aparece en la pantalla una ventana como la que se muestra en la Figura 72. En la barra de herramientas solo aparece habilitada la primera opción, que permite leer archivos en disco. El espacio de trabajo estará libre y es el momento de crear un primer ejemplo, para ello se utilizará uno de los sistemas de

33 Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Seccional Bogotá. Oscar G. Duarte. [en línea]. Dirección URL: <<http://www.ing.unal.edu.co/~ogduarte/softwareDetallado.htm>> [Última Consulta: 10 May 2005]

inferencia difusa propuesto en el segundo modelo (capítulo 2) de este proyecto, sobre los cuales se menciono habían sido creados en esta herramienta y posteriormente insertados en Evolución para su ejecución en tiempo de simulación.

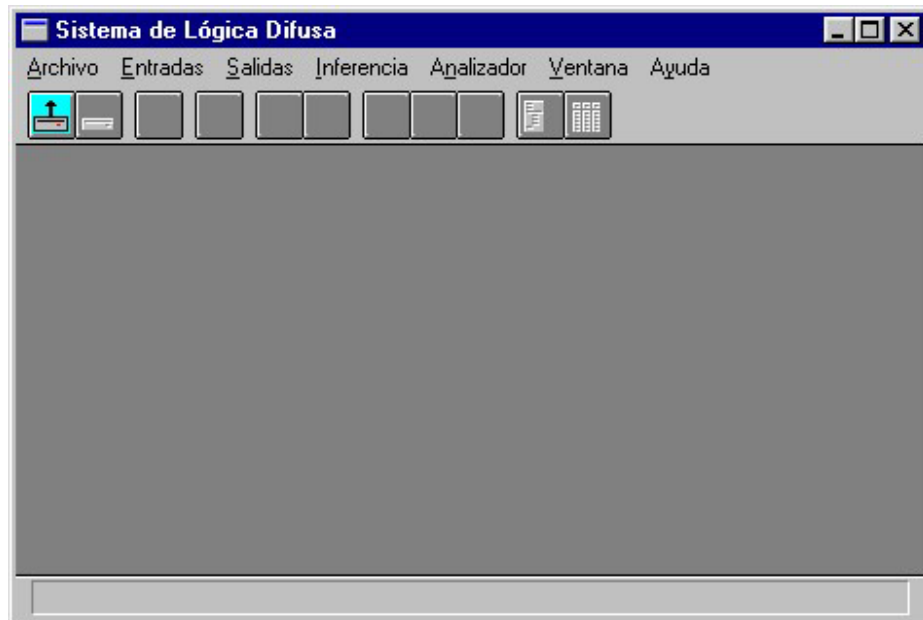


Figura 72. Ventana del entorno de desarrollo de UNfuzzy

El entorno de desarrollo de Unfuzzy posee siete (7) menús de trabajo, tres (3) de ellos comunes a varios programas populares, como el de Archivo, Ventana y Ayuda y por lo tanto tienen funcionalidades conocidas por la mayoría de los usuarios

19.2.1 El menú Archivo

El menú archivo del entorno de Unfuzzy engloba el conjunto de ordenes habituales de manipulación de archivos para la mayoría de aplicaciones de Windows. La Figura 73 muestra las opciones de órdenes disponibles en el menú Archivo.

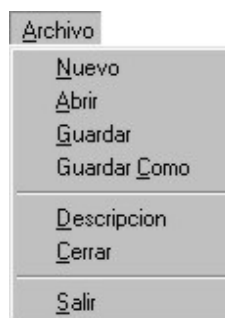


Figura 73. El menú archivo

19.2.1.1. Nuevo. El elemento de menú Nuevo abre una ventana con un editor de sistemas de inferencia difuso grafico, muy similar al que presenta el toolbox de Matlab discutido en el capítulo 1. Normalmente cualquier creación de FIS empieza en este punto. Automáticamente se le asigna un titulo y numero a cada ventana que se abre. La numeración empieza por 1 y, por tanto, el titulo de la primera ventana será Nuevo SLD 1, el titulo de la segunda Nuevo SLD 2 y así sucesivamente.

19.2.1.2. Abrir. A diferencia de Nuevo, que abre una ventana para la creación de un sistema que previamente no existe, el elemento de menú Abrir abre un cuadro de diálogo que solicita información acerca de un archivo previamente guardado. Este cuadro de diálogo es el estándar Open File (Abrir Archivo), que muestra la unidad por omisión, vía de acceso y los parámetros para búsqueda de archivo como se ve en la Figura 74.

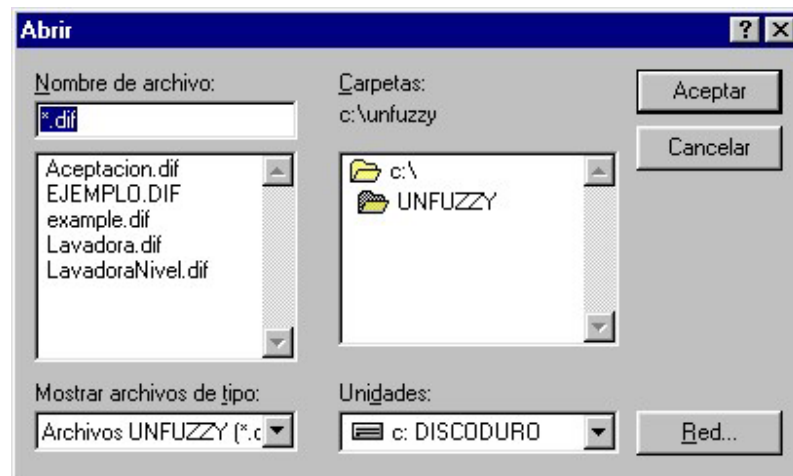


Figura 74. Opción Abrir del menú archivo

19.2.1.3. Guardar. El elemento de menú Guardar guarda los contenidos de la ventana actualmente activa o seleccionada asociada al archivo especificado. Se puede distinguir si el contenido de una ventana ha sido previamente guardado o no, simplemente comprobando la barra de titulo de la ventana. Si el titulo que tiene es el que por omisión le asigna el programa, indicara que los contenidos de la ventana actual no tienen asignado un nombre de archivo valido y, por tanto no se han guardado. Unfuzzy posee la particularidad de que no permite guardar Sistemas de Inferencia Difusa que no hayan sido definidos plenamente, por esto se recomienda asignar los valores por omisión de todas los elementos del FIS, para almacenar el trabajo de manera parcial.

19.2.1.4. Guardar como. El elemento de menú Guardar como permite guardar una copia de los contenidos de la ventana activa con un nuevo nombre, esto es particularmente útil si se desea realizar modificaciones a un trabajo terminado, por motivos de seguridad no se debe cambiar la versión actual, con Guardar como se crea una copia que posee la

misma información y en caso de que no se este a gusto con las modificaciones realizadas siempre se puede abrir de nuevo el archivo original.

19.2.1.5. Descripción. El elemento de menú Descripción permite modificar la leyenda que aparecerá bajo la ventana de desarrollo del sistema de inferencia difusa y que permitirá una mejor identificación del mismo.

19.2.1.6. Cerrar. El elemento Cerrar muy común en muchos software comerciales, permite deshacerse de uno de los sistemas de inferencia difusa que se encuentren abiertos en cualquier momento, si se han realizado modificaciones sobre el mismo desde su ultima apertura y estas no se han guardado aun en disco, aparecerá un mensaje recordándole al usuario de estos cambios para asegurarse de que desea continuar y perderlos.

19.2.1.7. Salir. El elemento del menú Salir permite abandonar el entorno de trabajo de Unfuzzy. De la misma manera que el elemento Cerrar se presenta un mensaje de advertencia en caso tal que no se hayan guardado los cambios realizados sobre el FIS.

19.2.2 El menú Entradas

Los elementos del menú Entradas permiten definir de una manera sencilla y agradable para el usuario los valores y los tipos de las funciones de membresía de cada entrada que afectara el Sistema de Inferencia Difusa. La Figura 75 muestra las opciones presentes en el menú Entradas.

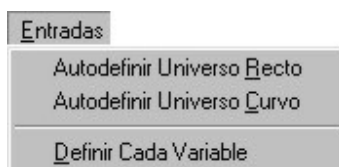


Figura 75. El menú Entradas

19.2.2.1. Autodefinir universo recto. La opción Autodefinir universo recto permite definir de una manera rápida y sin mucha profundización en los detalles, todas las variables de entrada, o modificar la forma³⁴ de las mismas para agilizar su futura especificación, el propósito es generar universos básicos de trabajo que posean el número correcto de entradas con la cantidad adecuada de funciones de membresía y sus formas básicas. Están bastante limitados en su alcance ya que todas las entradas serán construidas con el mismo número de funciones de membresía, estas serán distribuidas uniformemente en el rango de las entradas y poseerán formas triangulares en las centrales, L y gamma para las de los extremos.

34 Estas formas que corresponden con tipos de funciones serán expuestas posteriormente en esta sección.

19.2.2.2. Autodefinir universo curvo. De manera similar a la anterior opción, Autodefinir Universo curvo permite crear variables de entrada sencillas, con la diferencia de que las formas de las funciones de membresía correspondientes con este tipo de definición son versiones curvas del elemento anterior, generando formas de campana de gauss para las centrales, Z y S para las de los extremos.

19.2.2.3. Definir cada variable. Este elemento despliega una ventana como la que se muestra en la Figura 76, que permite definir con todo detalle cada una de las variables de entradas, sus rangos, la cantidad de conjuntos (funciones de membresía) que la componen, sus tipos, el sistema difusor de cada una, etc. Esta ventana permite obtener un mayor control sobre las variables de entrada, además muestra una visualización de las mismas en el rango definido.

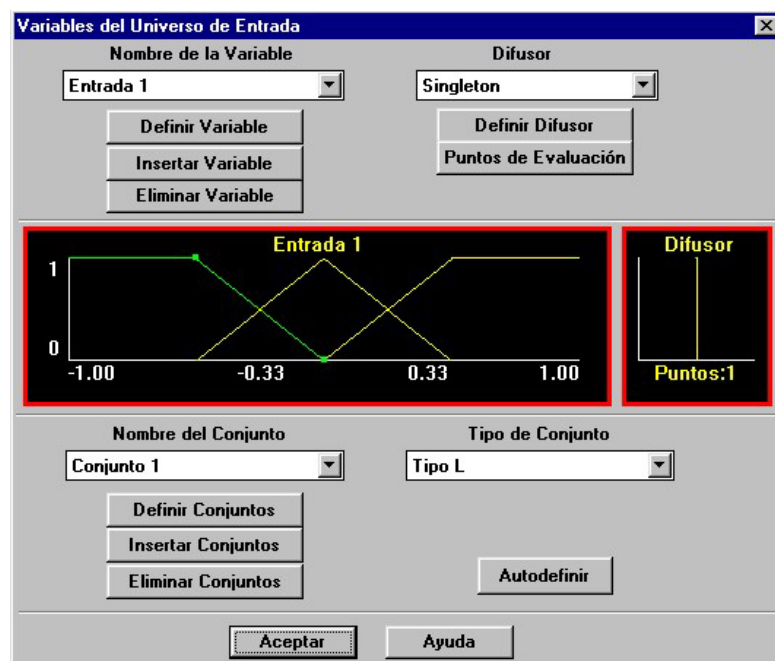


Figura 76. Ventana para la definición de variables de entrada

19.2.3 El menú Salidas

Al igual que el menú Entradas, los elementos del menú Salidas permiten definir de una manera sencilla y agradable para el usuario los valores y los tipos de las funciones de membresía de cada salida que afectara el Sistema de Inferencia Difusa. La Figura 77 muestra las opciones presentes en el menú Entradas.

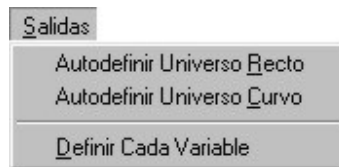


Figura 77. El menú Salidas

19.2.3.1. Autodefinir universo recto. Esta función fue creada para facilitar una definición rápida de las funciones de membresía de las salidas del Sistema de Inferencia Difusa, este elemento permite el mismo nivel de control sobre estas que el proporcionado por la autodefinición de universo recto del menú entradas.

19.2.3.2. Autodefinir universo curvo. De manera similar a las opciones encontradas en el menú Entradas, el menú Salidas permite realizar una rápida definición del universo utilizando funciones membresías curvas, esta opción puede emplearse para crear un Sistema de inferencia difusa completo que permita el almacenamiento del mismo en alguna unidad de disco para su posterior adecuación para el trabajo final.

19.2.3.3. Definir cada variable. Esta opción facilita la definición precisa de cada una de las variables que componen la salida, cambiando su número y rango, permite manipular diferentes opciones para la forma de cada una de las funciones de membresía de estas variables, así como introducir los parámetros que las esclarezcan completamente, definir el congresor para cada una, etc.

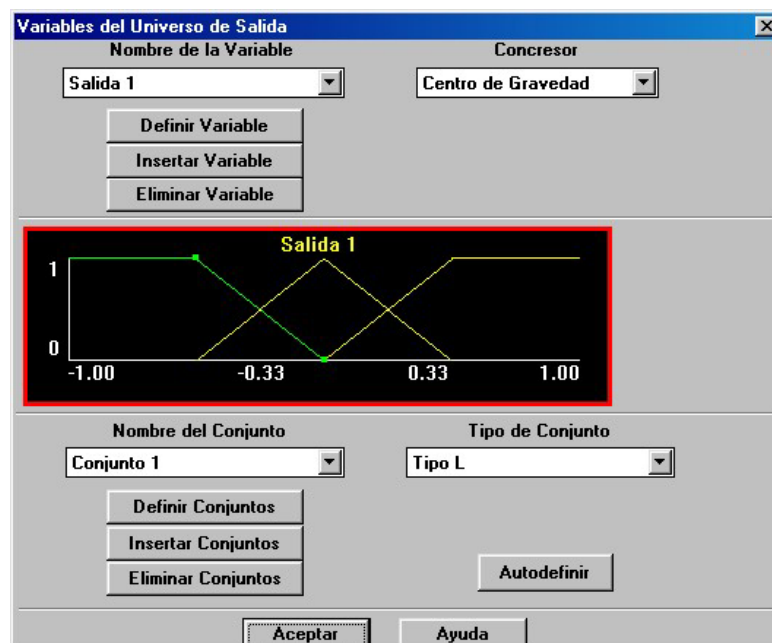


Figura 78. Cuadro de diálogo para definir variables individuales

19.2.4 El menú Inferencia

Este menú es el encargado de ayudar en la enunciación de las reglas de inferencia del sistema, incluye un elemento para una definición rápida de las mismas, opciones para la modificación de la matemática empleada en el motor de inferencia y la posibilidad de utilizar datos conocidos para entrenar el Sistema de Inferencia Difusa.

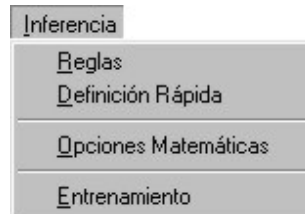


Figura 79. El menú Inferencia

19.2.4.1. Reglas. Como se puede observar en la Figura 80 esta opción del menú inferencia permite agregar y eliminar reglas utilizando la información previamente incluida para las variables de entrada y salida al seleccionar los estados de las entradas y los valores del consecuente, así como modificar el nivel de certeza, y escoger el modificador lingüístico del antecedente.

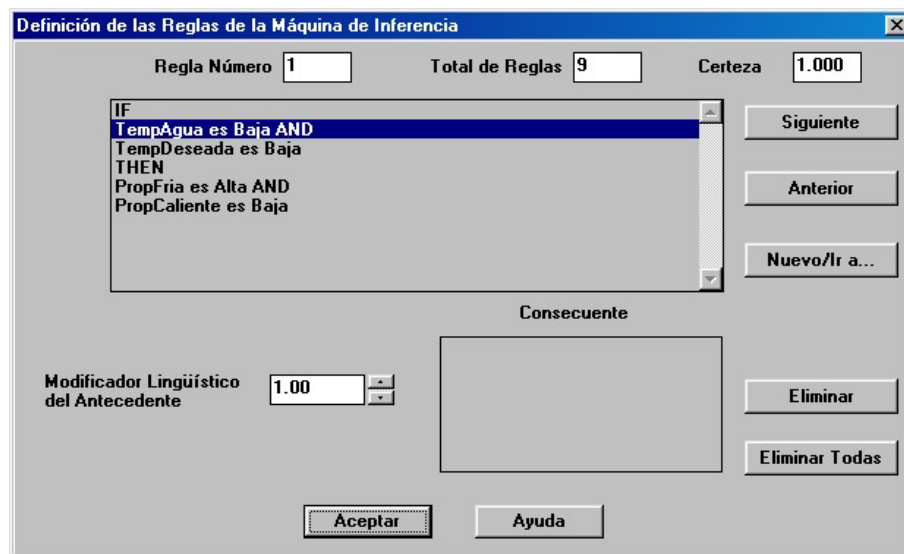


Figura 80. Cuadro de diálogo para definir y editar reglas

19.2.4.2. Definición rápida. La definición rápida permite crear el total de reglas que un sistema de inferencia puede usar, basándose en el número de entradas y la cantidad de funciones de membresía contenidas en cada una de las mismas.

19.2.4.3. Opciones matemáticas. Este menú permite modificar, por medio de la selección entre varias opciones, los métodos matemáticos mediante los cuales se llevan a cabo las operaciones lógicas del motor de inferencia para las operaciones de implicación, composición, AND y Unión-intersección.

19.2.4.4. Entrenamiento. El modulo entrenamiento sirve para construir sistemas de inferencia que se ajusten a un conjunto de entradas y salidas, leyendo la información de archivos planos de texto, esta herramienta es un acercamiento básico a los Sistemas de inferencia Neuro-adaptativos (ANFIS).

19.2.5 El menú Analizador

Este menú contiene elementos relacionados con el procesamiento de resultados del sistema, permitiendo evaluar los FIS de diversas maneras e incluso generar código fuente para exportarlo a otras aplicaciones.

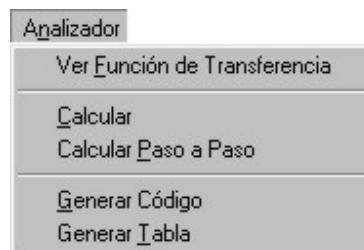


Figura 81. El menú Analizador

19.2.5.1. Ver función de transferencia. Ofrece la posibilidad de realizar una gráfica de una de las salidas del sistema de inferencia variando una de sus entradas a lo largo de todo el rango de la misma y manteniendo los demás valores de entrada fijos de acuerdo con las cantidades que el usuario defina.

19.2.5.2. Calcular. Permite el cálculo inmediato de la(s) salida(s) del sistema de inferencia difuso a partir de un vector específico de valores para cada una de las entradas del mismo.

19.2.5.3. Calcular Paso a Paso. Permite el cálculo de la(s) salida(s) del sistema de inferencia a partir de unos datos de entrada introducidos manualmente, pero a diferencia de la opción anterior, esta función ofrece la posibilidad de observar el proceso de inferencia mediante el cual se obtiene la salida ilustrando la posición de los valores dados en las funciones de membresía de entrada, y las reglas que están cumpliendo. Tiene la opción de retroceder y de avanzar rápidamente.

19.2.5.4. Generar código. Esta opción permite la generación del código fuente de un pequeño programa en C, C++ o pseudo-código, que implementa y ejecuta un sistema de inferencia difusa creado con UNFuzzy, recibiendo los datos y entregando los resultados por medio de la consola, el código generado cumple con el estándar ANSI y puede guardarse como un archivo de texto plano.

19.2.5.5. Generar tabla. Este modulo ofrece la posibilidad de generar tablas conformadas por las combinaciones de posibles valores para las entradas de acuerdo con la cantidad de intervalos definidos para las mismas, posee un encabezado con información relevante sobre el sistema de inferencia. El texto generado posee un límite para el tamaño del archivo en que desea almacenar y el programa pide que se guarde la información parcial en el momento en que se alcanza dicha restricción lo que puede generar varios archivos que contienen la totalidad de la tabla.

19.2.6 El menú Ventana

Las opciones del menú Ventana son similares a las que aparecen normalmente en todos los productos estándar para Windows, como lo muestra la Figura 82.

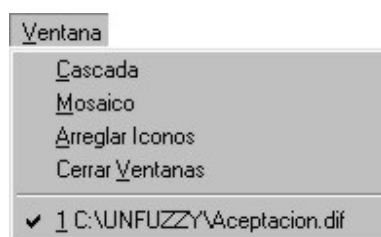


Figura 82. El menú Ventana

Figura #

19.2.6.1. Cascada. Esta opción muestra todas las ventanas abiertas de forma similar a una sección desplegable de tarjetas. Esto permite visualizar fácilmente los títulos de las ventanas.

19.2.6.2. Mosaico. Distribuye en la pantalla las ventanas abiertas de acuerdo a la configuración que considera más apropiada para cada caso, sea esta de anchura máxima, también conocida como distribución horizontal, o una distribución más equitativa del espacio, su propósito es dar a cada ventana la misma cantidad de espacio para su exhibición al usuario.

19.2.6.3. Arreglar iconos. Con esta función es posible dar una organización adecuada a las ventanas del proyecto en progreso cuando éstas se encuentran minimizadas.

19.2.6.4. Cerrar ventanas. Esta opción cierra de manera simultanea todas las ventanas que se encuentran disponibles en el momento sin salir del software, en caso de que alguno de los Sistemas de Inferencia Difuso haya sido modificado y sus cambios no fueran almacenados, se realiza un chequeo con el usuario una por una todas las ventanas que cumplan con estas condiciones para evitar perdidas de información.

19.2.7 El menú Ayuda

El menú ayuda posee los elementos clásicos de este tipo de menús en los programas de Windows como Contenido y Buscar que actúan sobre la documentación en línea estándar.

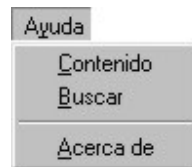


Figura 83. El menú Ayuda

19.2.7.1. Contenido. Esta opción, despliega una lista de temas tratados en la ayuda de fácil navegación, puesto que esta construida como un archivo de hipertexto con vínculos entre las distintas paginas que lo componen.

19.2.7.2. Buscar. De manera semejante a lo encontrado en otras aplicaciones, esta opción permite acceder a una ventana de búsqueda de información específica acerca de el funcionamiento de los diversos elementos de UN

19.2.7.3. Acerca de. Al igual que todos los programas comerciales, esta opción despliega una pequeña ventana con los datos del creador del software, en este caso, su nombre, el lugar y el correo electrónico para su contacto.

19.3 PROCEDIMIENTO DE INSERCIÓN

Una vez ha sido creado el FIS en UNfuzzy, se procede a generar el código para C con ayuda del menú analizador, luego se guarda con un nombre que logre identificarlo plenamente como por ejemplo, *aceptacion.c*, que correspondería con el Sistema de Inferencia Difusa usado en el capítulo anterior para representar la aceptación de la piratería por parte de los consumidores. Se recomienda que este archivo se ubique en una carpeta independiente dentro de la que contiene el modelo.

En este punto se hace necesario la creación de un proyecto en un compilador de C, para esto se puede usar Microsoft Visual C++, C++ builder de Borland u otro compilador de libre distribución. En este ejemplo y para todo el proyecto se empleo DEV C++ versión 4.9.9.1 de bloodshed software³⁵.

Dentro de este programa se parte iniciando una nueva aplicación por medio del menú File→New→Project se entra a seleccionar el tipo y el nombre del proyecto, para este caso se requiere la creación de una librería de enlace dinámico (DLL).

Esto crea tres (3) archivos:

Nombre.DEV: Archivo que contiene la información del proyecto

Nombre.C: Archivo de implementación.

Nombre.H: Archivo de cabecera.

A partir de este punto se presentarán una serie de pasos que se deben seguir dentro del compilador de C para llevar a buen término la creación de la librería de enlace dinámico:

³⁵ Bloodshed Software. Bloodshed Software. "Dev-C++". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.bloodshed.net/dev/devcpp.html>> [Última Consulta 10 de Mayo 2005]

- Cambiar el nombre de la función a exportar en el archivo de cabecera
- Reemplazar la definición de la función por la que se editó en el paso anterior
- Se elimina su contenido por defecto
- Se abre el código generado por UNfuzzy y se reemplazan todas las ocurrencias del tipo de dato float por double.
- Se incluye parte de ese código (las definiciones y el main), después de las directivas del precompilador y antes de la definición de la función a exportar (se recomienda eliminar las llamadas a librerías redundantes).
- Se copia el resto del código al final del archivo de implementación.
- A partir del main del código generado por UNfuzzy se puede construir el cuerpo de la función a exportar, este se edita para cambiar la entrada de datos por medio del teclado a una efectuada por parámetros y el método de retorno de los datos, para que se pueda comunicar con la herramienta Evolución de manera satisfactoria.
- Después el main original del archivo generado por UNFuzzy se hace innecesario y se puede eliminar.
- Por último se compila, lo que genera el archivo .dll.

Ahora se inicia un proyecto en Delphi, para este trabajo se empleó Borland Delphi 5.0, por medio de la instrucción FILE → New y se selecciona DLL.

- Se le da un nombre al proyecto que sea diferente al de la función a exportar.
- En la directiva *uses* se incluye la unidad de Windows (escribir WINDOWS)
- Antes del begin, se define la función a exportar
- Se construye el cuerpo que haga el llamado, la evaluación y retorne el resultado, a la función contenida en el dll construido previamente en el compilador³⁶
- Luego se exporta con la directiva *exports* de delphi.
- Se graba y se compila.

Se recomienda ubicar los dlls en la carpeta del modelo, para su fácil y rápida localización.

Por último se ejecuta Evolución y se realiza el proceso para agregar función que se describió en el capítulo anterior y que explica la ayuda de Evolución.

19.4 DEBILIDADES DE UNFUZZY

Todas las herramientas software pasan a través de un proceso de identificación y corrección de errores, tan estricto como el tiempo y los recursos lo permiten. Las mayores falencias son detectadas casi instantáneamente y en muchas oportunidades hasta por los mismos desarrolladores; una vez han sido corregidas y el software ha alcanzado un nivel satisfactorio de respuesta a sus propósitos iniciales es entregado para su calificación dentro del entorno académico o para su producción en masa dentro del ámbito comercial. Sin embargo no es sino hasta el momento en que el producto llega a manos del

³⁶ Para ver más información acerca de cómo realizar estos procesos se recomienda consultar la siguiente bibliografía: TEIXEIRA, Steve; PACHECO, Xavier. Guía de Desarrollo DELPHI 5, Prentice Hall, Madrid, 2000.

consumidor final y este lo utiliza frecuentemente que se descubren algunas otras limitaciones y errores que se hace necesario corregir para una futura versión del software o por medio de un parche de distribución gratuita en caso de que la mejora no pueda esperar. Lamentablemente el software de desarrollo académico no cuenta con el grupo de personal necesario para su mejoramiento continuado y la versión de entrega será la única y última a que los usuarios tendrán acceso. Dicho esto se han detectado algunas falencias en el software empleado para construcción de los sistemas de inferencia difusa, las que a continuación se hacen públicas para que otros usuarios las tengan en cuenta a la hora de realizar su trabajo en UNFuzzy 1.2.

19.4.1 Limitaciones

- Como se indicó previamente, la opción “Generar Tabla” del menú “Analizador” crea un archivo de texto que contiene las diferentes entradas y las respuestas que se obtienen de ellas ubicándolas en un archivo de texto plano, pero éstos poseen una restricción en el número de líneas que se pueden almacenar y cuando se llega al límite se pide al usuario un nombre para guardarlo y se empieza la generación de un segundo archivo con el resto de la información, este proceso se repite hasta que todas las entradas hayan sido evaluadas lo cual es común en sistemas de inferencia difusa que posean gran cantidad de intervalos de evaluación o que requieran combinaciones de entradas que puedan dar lugar a matrices o tablas muy extensas. El usuario es obligado a ser muy cuidadoso a la hora de asignar nombres a los diversos archivos generados para evitar confusiones.
- Aunque UNFuzzy ofrece herramientas para la visualización de curvas de nivel en sistemas de inferencia con más de una entrada, no posee opciones para la visualización de superficies de inferencia que podrían mejorar la comprensión de los mismos.
- La ayuda no posee una curva de aprendizaje adecuada, ya que el ejemplo que se sugiere para la enseñanza posee un grado de dificultad muy alto para el usuario inexperto.
- Los editores de entradas y salidas no permiten la modificación de las mismas de manera gráfica aún cuando se dispone de esta forma de presentación para las funciones de membresía, lo que dificulta el manejo intuitivo del proceso de definición de conjuntos para cada una de las variables del sistema de inferencia.
- El usuario avanzado puede encontrarse con una necesidad específica que requiera de su propia definición de congresores y difusores para ser resuelta efectivamente. UNFuzzy carece de una opción que permita al usuario adelantado definir congresores y difusores.

19.4.2 Errores

- UNFuzzy fue desarrollado para trabajar sobre el sistema operativo “Windows 98”, por esto al utilizar el programa en “Windows xp”, se genera una serie de errores gráficos que ocasionan la superposición de las graficas creadas por UNFuzzy sobre las ventanas de los demás programas. Incluso al minimizar todas las ventanas utilizando la opcion de “mostrar escritorio” (Windows + D), las graficas de UNFuzzy se sobreponen.
- Cuando se emplean algunos tipos específicos de congresores para la defuzzificación de las salidas en los sistemas de inferencia difusa, el código C generado por la herramienta, no puede ser compilado debido a que presenta algunas variables no definidas, lo cual dificulta en exceso la utilización de estas opciones de concreción.
- Con algunas configuraciones específicas, no totalmente identificadas ni predecibles, la operación del sistema de inferencia dentro de la herramienta se lleva a cabo de manera normal, pero al exportarse el código C correspondiente y ejecutarlo externamente, se presentan intervalos dentro del dominio en los que las salidas calculadas entregan valores constantes no correspondientes con el correcto procesamiento del sistema de inferencia difusa. Un ejemplo de lo anteriormente descrito se observa al ingresar estos datos:

Entrada:

Rango: de 0 a 1

Funciones de membresía: 4

Primera: Tipo Z [0.35 0.5]

Segunda: Tipo Pi [0.2 0.4 0.52 0.7]

Tercer: Pi-Camp[0.5 0.65 0.75 0.9]

Cuarta: Tipo S [0.8 0.9]

Salida:

Rango: de 0 a 0.09

Funciones de membresía: 4

Uno: Tipo Z [0 0.03]

Dos: Pi-Campana [0 0.015 0.045 0.06]

Tres: Pi-Campana [0.03 0.045 0.075 0.09]

Cuatro: Tipo S [0.06 0.09]

Reglas:

Si x es cuarta, entonces y es uno
Si x es tercer, entonces y es dos
Si x es segunda, entonces y es tres
Si x es primera, entonces y es cuatro

19.5 COMPARACIÓN CON MATLAB

No se puede realizar algún tipo de comparación entre UNFuzzy y MatLab, puesto que hay que tener en cuenta que este último es un producto comercial, que lleva varios años en desarrollo y evolución, con un gran equipo de trabajo, que es de carácter profesional y multipropósito. Por tanto la posibilidad de realizar un paralelo entre estas dos herramientas, de manera directa, no se daría en el mismo ámbito con UNFuzzy que sólo es un trabajo de maestría, con énfasis en su uso académico, desarrollado por un único individuo, con un tiempo limitado para su trabajo, pero con la ventaja de poseer un propósito específico.

20. LA CIENCIA AMBIENTAL Y LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Los seres vivos, por la misma constitución de sus organismos, se mantienen en permanente interacción con el medio en el que existen, este medio se compone por seres vivos de diversas especies incluida la propia, así como de un conjunto de sustancias inanimadas que de una u otra forma dan soporte a la vida de estos seres, quienes a su vez se soportan unos a otros realizando diversas acciones cuyos resultados favorecen a unos u otros. Al ser la interacción entre seres vivos inherente al transcurrir de la vida, se hace importante, para el ser humano la identificación y estudio de estos seres como conjunto, de los subgrupos que aparecen dentro de dicho conjunto, de las relaciones que surgen entre ellos y de los patrones de dichas relaciones.

Cuando se considera el conjunto de seres pertenecientes a una especie en un determinado lugar, a este conjunto se le denomina comunidad. De forma semejante, a las diversas comunidades que conviven dentro de un espacio específico, se les designa en conjunto como población de ese lugar. Y a todos estos seres que conviven y se interrelacionan de múltiples maneras y que se desarrollan dentro de un espacio del que toman y al que entregan minerales y productos necesarios para el funcionamiento de sus organismos, se le puede denominar ecosistema. Ha surgido con el tiempo la necesidad de identificar de alguna forma al conjunto dentro del que se puedan ubicar las regiones del planeta tierra en las que se desarrolla vida y se constituyen ecosistemas, a esta zona se le ha llamado biosfera, es decir, la esfera en la que se puede desarrollar la vida en la tierra. Estas consideraciones en las que se concibe a grupos de seres y sus interrelaciones como unidades complejas dentro de la Ciencia Ambiental, es afín a los conceptos de holismo y totalidades que maneja el Pensamiento Sistémico, el cual da sustento a la Dinámica de Sistemas.

El movimiento de sistemas formado a partir de la propuesta que Ludwig Von Bertalanfy hiciera en 1968 en su libro "General System Theory", se ha apoyado desde sus inicios en conceptos derivados de la Biología la cual estudia la organización y funciones vitales que llevan a cabo los seres animados.

Como se mencionó anteriormente la Ciencia Ambiental se ocupa de los seres vivos, las interacciones y relaciones que se dan entre ellos, y los patrones de estas relaciones. Sin embargo, esto no la distancia de la Biología tanto como podría suponerse debido a la diferencia de dominio entre estas dos ciencias naturales. El enfoque de la Ciencia Ambiental basado en relaciones entre seres resulta afín a la perspectiva de relaciones funcionales que se adopta en el estudio de los diversos subsistemas de los organismos en los individuos. De la misma manera, la identificación de subsistemas en los individuos dentro de la Biología guarda notables relaciones con la identificación de subgrupos y subconjuntos en la caracterización de grupos de individuos en la Ciencia Ambiental.

Debido a que la Dinámica de Sistemas toma algunos conceptos fundamentales de la Biología, como los de la información y la entropía negativa, en cuanto ésta es medida del orden o de la organización; causalidad y teleología representadas en los organismos vivos por la adaptabilidad, intencionalidad, persecución de metas, etc; y sistemas abiertos por el

constante flujo de material e información que se presentan en los fenómenos que involucran la presencia de seres vivos; las relaciones entre Biología y Ciencia Ambiental pueden extenderse al estudio Dinámico Sistémico de fenómenos ambientales.

En Dinámica de Sistemas se recurre a totalidades para delimitar dominios que constituyen, en términos conceptuales, sistemas o sub-sistemas de entidades mayores. Este útil es aplicable a fenómenos ambientales y permite asociar conjuntos de seres vivos con subsistemas constituidos por los individuos y las interrelaciones que se dan entre ellos; un caso de esto es el de las comunidades que pueden ser concebidas como subsistemas de poblaciones, y a su vez, las poblaciones pueden verse como subsistemas de un ecosistema. El nivel de abstracción, al igual que en la ciencia ambiental depende de la escala del fenómeno estudiado, es así como en un fenómeno de carácter global se puede hablar de la biosfera terrestre, o en una situación de escala menor se puede estudiar un ecosistema localizado, de esta manera se tiene un punto de encuentro entre los alcances y propósitos de los estudios ambientales y los modelos de Dinámica de Sistemas como medio para estudiar estos fenómenos.

Otro aspecto de la Dinámica de Sistemas que puede favorecer la construcción de modelos con la misma para el estudio de fenómenos ambientales es la facilidad que este tipo de construcciones posee para la representación de relaciones estructurales, la consideración de propiedades emergentes y el manejo de relaciones cíclicas. Estas características son deseables en un lenguaje de representación para la ciencia ambiental, ya que en muchas ocasiones se hace necesario considerar cadenas de relaciones entre diversas sustancias y entidades pertenecientes a un ecosistema, así como las relaciones y estructuras de relaciones que surgen entre diferentes actores dentro de los fenómenos estudiados. De esta manera se hace importante considerar el estudio de cadenas trópicas y ciclos tanto energéticos como químicos que intervienen en aspectos del medio ambiente.

Un caso particular en el que los conceptos holistas y características exhibidas por la Dinámica de Sistemas pueden involucrarse en la ciencia ambiental es en el estudio de la Teoría de Gaia propuesta por Lovelock en 1979, en la que plantea la consideración de la biosfera y la noosfera³⁷ sintetizadas en una gran entidad que se autorregula y está en capacidad de mantenerse saludable al controlar el medio ambiente desde el aspecto tanto físico como químico. En esta situación la Dinámica de Sistemas puede aportar su fundamentación holista y su capacidad para estudiar sistemas de alta complejidad de manera que se pueda disponer de útiles en el lenguaje de las ecuaciones diferenciales para precisar relaciones estructurales y propiedades emergentes, así como posibles comportamientos que puedan analizarse al abordar este gran sistema desde una visión de grandes conjuntos representados en sus tendencias medias e interacciones con otras agrupaciones de gran tamaño.

20.1 OPORTUNIDAD PARA LA INCLUSIÓN DE LA INTEGRACIÓN

37 Concepto desarrollado por Vernadsky hacia 1945 en el que “la noosfera o área de pensamiento, es un fenómeno geológico nuevo en nuestro planeta, donde el hombre se convierte en una fuerza geológica de cambio a gran escala”.

El considerar la posibilidad de involucrar una forma de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa para el tratamiento de fenómenos ambientales, abre la posibilidad de explorar la representación de tendencias y comportamientos cuyo desarrollo no sea completamente definido o estructurado, y su caracterización sea conveniente por medio de variables cualitativas y construcciones lingüísticas generadas por el ser humano al desarrollar teorías e identificar generalidades sobre sistemas ambientales.

Los organismos superiores pueden percibir información del medio y efectuar apreciaciones análogas a operaciones sencillas de categorización o estratificación, y aún sin sistemas avanzados de análisis toman decisiones o exhiben comportamientos reactivos individuales o grupales que afectan al ecosistema y que pueden ser modelados por medio de conjuntos de reglas que simulen su primitivo sistema de respuesta a estímulos. Tanto las percepciones como las reacciones pueden ser modeladas mediante sistemas de Lógica Difusa, y gracias a la integración de éstos con la Dinámica de Sistemas, es de interés analizar la viabilidad de estudiar este tipo de fenómenos mediante una integración que permita aprovechar las características de ambas formas de representación.

21. EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CULTIVOS ILÍCITOS DE COCA

La literatura referida al sistema productivo de la coca está fuertemente influida con un componente ideológico maniqueo³⁸ que oscurece los hechos. Muchos de los argumentos ecológicos usados para justificar los proyectos de erradicación y de sustitución del cultivo de coca no se sostienen sobre la base del conocimiento científico ecológico o agronómico presente. Por otro lado, encuentran en la bibliografía afirmaciones que enaltecen las ventajas de los cultivos de planta de coca en algunas regiones de la topografía andina por evitar la erosión y otros problemas relacionados con el deterioro natural del suelo, estas tampoco tienen sustento científico desde el punto de vista ecológico.

Es importante tener presente que la irrupción de cultivos ilícitos, al igual que muchos cultivos legales, en varias regiones de Colombia ha generado impactos de un valor incalculable relacionados con alteraciones irreversibles del medio natural, como primera acción de carácter antrópico³⁹ que se ejerce en los diferentes ecosistemas del país, generando pérdidas irreversibles en la biodiversidad de nuestro territorio. Además, los cultivos ilícitos han generado impactos negativos en la economía tradicional, procesos migratorios e incremento de los fenómenos de violencia, ya que se han constituido en la fuente de financiación de diversos y numerosos grupos armados ilegales, trasgrediendo en muchos casos la población de campesinos e indígenas frente a procesos fuertes de colonización e intervención de éstos en esta actividad.

Se calcula que la pérdida de cobertura boscosa ocasionada por los cultivos de coca es un 30% del total anual del país, además, en las zonas de cultivos ilícitos, son variados los agroquímicos utilizados para el establecimiento del cultivo de coca y su mantenimiento para la producción de hoja y posterior extracción y refinamiento de la cocaína, se estima que en proporción el uso de pesticidas es diez (10) veces superior comparado con el utilizado en los cultivos de cacao. Los residuos químicos finalmente son depositados en las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, las que a pesar de los escasos o inexistentes procedimientos para su potabilización, terminan siendo utilizadas para el consumo humano. Las consecuencias de esta contaminación se relacionan con la pérdida de flora y fauna acuática; pérdida del recurso como fuente de agua y alimento; intoxicación humana y animal.

De igual manera, las personas que participan en el proceso de transformación de la hoja de coca a la pasta de coca, se ven afectadas en su salud y comportamiento. En muchas de ellas, se presentan problemas de conducta adictiva por la manipulación e inhalación de químicos.

Puesto que es tan difícil conseguir datos que no estén teñidos de subjetividad y aún más, es difícil juzgar la validez de la información que reciben estudiantes o profesionales ajenos a las ciencias biológicas y ecológicas, es importante empezar proporcionando algunos

38 El maniqueísmo es una secta religiosa fundada por Manes en el siglo III. Es una mezcla de doctrinas gnósticas, zoroástricas y cristianas; se funda en la existencia de dos principios eternos y absolutos: el del bien (la luz) y el del mal (las tinieblas), cuya constante lucha constituya la historia.

39 De carácter humano

conocimientos generales del agroecosistema coca y su entorno natural que permitan evaluar con mayor rigor ciertas informaciones y juicios sesgados.

21.1 ERYTHROXYLUM NOVOGRANATENSE (LA PLANTA DE COCA)

El *Erythroxylum* es un arbusto que crece silvestre en las regiones andinas de Sudamérica. Existen 283 variedades conocidas de las cuales sólo dos (2) son usadas para la extracción de la materia prima de la cocaína. El *Erythroxylum coca*, conocido como "huanaco" de Bolivia, puede alcanzar hasta cuatro metros de altura si no se cuida, lo más común es que se poda para que se mantenga entre uno y tres metros, extienda sus ramas y produzca más hojas. Sus flores son color crema y sus frutos son de color escarlata parecidos a los arándanos. Las hojas, que es donde se encuentra el preciado alcaloide denominado cocaína, son lisas y ovaladas, de entre tres y seis centímetros de longitud, según la variedad. Además del huanaco boliviano, la otra variedad que se cultiva para producir el alcaloide es la *Erythroxylum novogranatense*⁴⁰ conocida como "trujillo" de Perú y Colombia; sus hojas son más pequeñas y su contenido en cocaína es menor por la presencia de otros alcaloides.

La planta de coca es un cultivo permanente, con una producción promedio de 4 cosechas al año. El ciclo de vida útil del cultivo con una producción de biomasa promedio, es de 5 años pero rara vez superan los 4 años de vida. La primera cosecha que es también conocida como "raspado" se puede efectuar después de ocho (8) meses de establecido el cultivo, si éste ha sido cuidado de la manera correcta. La altitud ideal para su cultivo es 1000 a 2000 metros sobre el nivel del mar (donde el contenido de cocaína es mayor), con precipitación media anual óptima de 2000 mm, pero se cultiva entre los 700 y 2000 msnm y con precipitación media anual de 1000 a 4200 mm.

21.2 EL PROCESO DEL CULTIVO ILÍCITO

Aproximadamente desde hace tres décadas se han desarrollado actividades relacionadas con cultivos ilícitos de marihuana, coca y amapola, y por ende, se han establecido el procesamiento y tráfico de sustancias estupefacientes derivadas de estas plantas. Para realizar una evaluación del impacto ambiental que la producción de drogas ilícitas ejerce sobre el medio ambiente, es necesario determinar las etapas secuenciales de dicho proceso:

Primero, se escogen las áreas en las que se pretende implantar los cultivos, posteriormente estas áreas deben ser adecuadas para la siembra, la construcción de las instalaciones para el procesamiento de la hoja y la extracción de la droga, adecuación de "bodegas" para almacenar las sustancias químicas y, en algunos casos se realiza la construcción de pistas para el tráfico.

40 En adelante se hará referencia a esta variedad de *Erythroxylum* solo como la planta de coca, dado que es la variedad que se cultiva en Colombia.

21.2.1 Elección de las áreas

En Colombia los cultivos ilícitos se localizan en áreas estratégicamente seleccionadas por los narcotraficantes y que cumplen con ciertos requisitos que para ellos son indispensables, entre otros están los siguientes:

- Zonas geográficas aisladas de los centros urbanos donde la presencia estatal se dificulta en razón de la inexistencia de vías de penetración y presencia de extensas áreas selváticas. Especialmente en los departamentos de Caquetá, Guaviare, Meta, Vichada, Putumayo, Santander y Guainía.
- Presencia de abundantes cuerpos de agua que permiten su utilización en el procesamiento, eliminación de los desechos y preparación de alimentos. Por otro lado, la presencia de ríos navegables facilita la introducción de sustancias químicas, mediante contrabando abierto procedente de países vecinos y la salida de grandes volúmenes de producto terminado.

En Colombia, algunas de las zonas productoras de coca y cocaína están situadas en los valles altos del Apaporis y el Caquetá, que toma el nombre de Japurá en Brasil, así como Dirección Nacional de Estupeficientes Subdirección Estratégica y de Investigaciones en los valles del alto Vaupés y del Putumayo, llamado Iça en Brasil. Los valles andinos colombianos comunican con Manaus a través de Venezuela, mediante caminos en su mayoría asfaltados.

- Ecosistemas con abundante presencia de biomasa vegetal que dificultan la ubicación de los cultivos, chagras, laboratorios y bodegas para las sustancias químicas.
- Ecosistemas que se adapten a las exigencias climáticas de las variedades de plantas que se desean cultivar. En este sentido nuestro país posee pisos térmicos que permiten un excelente desarrollo de las especies que se utilizan para la extracción de sustancias psicotrópicas.
- Zonas con presencia de grupos alzados en armas que dificultan la acción de las autoridades y que al parecer prestan servicios de seguridad a los cultivos y complejos de procesamiento.

21.2.2 Preparación de los terrenos

La primera y más obvia acción para la implementación de un cultivo consiste en la deforestación de la flora nativa, que en la mayoría de los casos se trata de bosques primarios, donde nunca había existido actividad humana. El método más utilizado para erradicar los bosques es la tala y/o quema de miles de hectáreas; acciones que ejercen drásticos efectos sobre los ecosistemas, entre los que se destacan los siguientes:

- Destrucción de nichos ecológicos y cadenas tróficas.
- Destrucción de potencial genético desconocido.
- Erosión edáfica.
- Destrucción de cobertura vegetal nativa.
- Alteraciones en los regímenes de lluvias y clima local.
- Aumento considerable de emisiones de CO₂.
- Desaparición de bellezas escénicas y paisajísticas.
- Extinción de especies endémicas.⁴¹
- Deterioro de nacimientos de agua.

41 Propias de cada región.

De acuerdo con los estudios realizados en los últimos años se ha establecido que para implementar una hectárea de coca los cultivadores tienen que destruir cuatro (4) hectáreas de selva y para una de amapola dos y media (2.5) de bosque andino⁴².

ESTIMACION DE AREA DE BOSQUE DESTRUIDO POR LA ACCION DE LOS CULTIVOS ILICITOS DE COCA (PERIODO 1987 - 1998)		
AÑO	AREA ESTIMADA DE CULTIVO DE COCA (1) (ha)	AREA ESTIMADA DE BOSQUE DESTRUIDO (2) (ha)
1987	25.600	102.400
1988	34.000	136.000
1989	42.400	169.600
1990	40.100	178.800
1991	37.500	178.800
1992	37.100	178.800
1993	39.700	178.800
1994	45.000	198.400
1995	50.900	
1996	67.200	287.200
1997	79.500	336.400
1998	101.800	425.600
FUENTE: Las cifras anuales estimadas por el Gobierno de los Estados Unidos son reportadas por la Agencia CNC/CIA, Oficina que reporta al Departamento de Estado. (1) Se estima 4 hectáreas de bosque tropical destruidas para establecer 1 hectárea de cultivo ilícito de coca. Este efecto de borde y daños colaterales fue hecho en 1994. (2) Las cifras de área estimada de bosque destruido se presentan en forma acumulada.		

Tabla 7. Estimación de Bosque destruido por la acción de los cultivos ilícitos de coca

La quema de los bosques y selvas significan la destrucción de 380 toneladas de biomasa por hectárea, lo que implica un total acumulado de 152 millones de toneladas de biomasa, que se han convertido en cenizas, CO₂ y sedimentos⁴³.

La destrucción de estos ecosistemas altera severamente la homeóstasis ecológica, que en el caso de Colombia está determinada por la gran diversidad florística única en el planeta, un número desconocido de especies menores, además de la microflora y microfauna con potencial genético incalculable.

42 Esta cifra ha sido manejada de acuerdo a los estudios realizados por Auditoria Ambiental, Dirección Nacional de Estupefacientes

43 Ibíd.

21.2.3 Implementación de los cultivos

Luego de haber realizado la tala y quema de bosques se procede con la implementación del cultivo, es decir, con los procesos agrícolas inherentes a la siembra, cuidado y cosecha de los plantíos. Es en esta etapa que ingresan productos químicos al medio ambiente, no solamente a los cultivos comerciales, sino también a las pequeñas parcelas.⁴⁴

La amapola y la coca son cultivos que se caracterizan por la demanda de espacio y nutrientes, esto implica que no son fácilmente consorciables, por lo tanto, es necesario eliminar la competencia.

Los cultivadores de coca, sean estos campesinos o comerciales tienen como objetivo obtener la mayor producción posible de hoja (biomasa), para esto y debido a la escasa vocación agrícola de los suelos, es común la introducción de bioestimulantes, abonos y pesticidas para el control de plagas y malezas.

Es común que las autoridades encuentren envases de herbicidas, plaguicidas, fungicidas y abonos en los cultivos. En muchos casos los productores utilizan sustancias que son prohibidas como es el caso del insecticida Parathion y sustancias organocloradas⁴⁵. Los envases y residuos de toda la gama de biocidas introducidos al medio y utilizados en las máximas concentraciones y cantidades posibles inexorablemente terminan en los cursos de agua, adsorbidos a las partículas del suelo y, en el peor de los casos, asimilados a las cadenas tróficas. Es en este punto que la presión sobre el medio ambiente, no solamente se circunscribe al área del cultivo, sino que es exportada a todo el ecosistema.

La introducción de sustancias agroquímicas en los cultivos, tanto de orden campesino como industrial, se realiza invariablemente en el total de las parcelas cultivadas.

En el informe preparado para la Dirección Nacional de Estupefacientes y la Sección de Asuntos de Narcóticos de la Embajada de Estados Unidos⁴⁶ se verificó que el 98.7% de los cultivadores utilizan insecticidas y fungicidas para controlar las plagas y enfermedades; el 92.5% utiliza fertilizantes químicos y el 95.5% controla la competencia de otras plantas con herbicidas. Por otro lado, la investigación del Instituto SINCHI⁴⁷, demuestra que los productores, al contrario de lo que acostumbran a hacer con su producción de pan coger, se esmeran por realizar labores culturales en sus cultivos ilícitos, al igual que acostumbran a desyerbar y a controlar químicamente los insectos y plagas.

44 De acuerdo a la Policía Antinarcóticos en Colombia el 70% de los cultivos de coca se clasifican como campesinos, con menos de tres hectáreas, el 30% restante se clasifican como comerciales con más de tres hectáreas. Dirección Nacional de Estupefacientes Subdirección Estratégica y de Investigaciones

45 Algunos de los agroquímicos reportados a la DNE por las autoridades son los siguientes: Gramoxone, Crecifol, Furadan, Tamarón, Tordón, Round up (es el mismo Glifosato), Faena 323, Desarrollo, Babistem, Agrotín, Malathion, Parathion, Benlate, Manzate, Nutrifolia, etc.

46 URIBE, S., Proyecto sobre rendimientos de las plantaciones de coca en Colombia., Informe de progreso #5. Octubre 25 de 1999.

47 ARCILA, N.O., RODRIGUEZ, S. A., Estudio de Caso de la Producción de Coca en el Departamento del Guaviare. INSTITUTO AMAZONICO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS SINCHI. Área de Asentamientos Humanos, Santa Fe de Bogotá, Septiembre de 1997.

Anota SINCHI que la lógica económica de estos disímiles comportamientos radica en que mientras en la producción agroalimentaria se trata de aprovechar al máximo la fertilidad natural del suelo, en los cultivos de coca, debido a las expectativas de ingresos, el productor se ve obligado a incorporar tecnología química.

Normalmente se utilizan dos metodologías para mantener limpios los cultivos de coca y de esa forma obtener una gran producción de biomasa; la primera establece la utilización de azadón, que demanda en promedio diez jornales y, la segunda, establece la aplicación de Gramoxone cada 2 o 3 meses. La coca por ser un cultivo intenso en tecnología química, implica que la compra de estos productos participa en más de dos quintas partes de los costos totales de insumos.

Se ha establecido que no existen diferencias significativas entre los productores de las regiones donde se cultiva la coca, en cuanto a la intensidad del uso de agroquímicos, independientemente de que se trate de pequeños cultivadores o de cultivos de tipo industrial. En este sentido, URIBE (1999) establece la utilización de por lo menos 75 marcas diferentes de agroquímicos. La diferencia regional en cuanto al tipo de sustancia utilizada esta determinada por su disponibilidad en el mercado, siendo que muchos de ellos entran por medio de contrabando abierto directamente a las zonas de cultivo.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Concentración	Clasificación toxicológica*
Herbicidas			
Gramoxone ⁴⁸	Paraquat		II DL Oral ^{**} : 150 mg/kg
Faena	Glifosato		IV DL Oral: 4300 mg/kg
Anikilamina	2,4,D		I DL Oral: 699 mg/kg
Insecticidas			
Tamaron	Metamedofos	600/lit	I
Sevin	Carbaryl	80%	II
Metavin	Metomil	90%	I
Funguicidas			
Manzate	Mancozeb	80%	III: Ditiocarbamato
Benlate	Benomil		III: Benzimidazol
Dithane	Mancozeb		III: Ditiocarbamato
* Categorías toxicológicas según el ministerio de protección social I: Extremadamente tóxico II: Altamente tóxico III: Medianamente tóxico IV: Ligeramente tóxico ** DL Oral: Dosis Letal Oral			

Tabla 8. Algunos de los herbicidas, insecticidas y funguicidas más usados en los cultivos ilícitos

48 Se encuentran entre los plaguicidas considerados a nivel mundial como los “Doce del Patíbulo” o los “Doce Sucios” cuyo uso es prohibido en los países industrializados, pero son ampliamente utilizados en países agrícolas en vía de desarrollo. Además del Paraquat, es común el uso del Lindano para el control de la pediculosis y sarna; el Pentaclorofenol empleado como fungicida y termitas en la madera y el Parathion potente biocida cuya acción abarca desde control de plagas en plantaciones alimenticias, hasta el exterminio de insectos.

El número y variedad de plaguicidas (insecticidas y fungicidas) es mayor que el de herbicidas y es notorio el uso de sustancias que presentan alto grado toxicológico, el cual se acrecienta si se tiene en cuenta que muchos de los agricultores aún conservan la teoría que “entre más cantidad y concentración del agroquímico, mayor la efectividad”, por lo que es común que las dosificaciones que se utilizan no concuerden con las recomendadas por los fabricantes. Además las sustancias que con mayor frecuencia se utilizan están clasificadas con un alto grado de toxicidad, por lo que es de esperar que el efecto que están ejerciendo sobre estos ecosistemas y en especial sobre las comunidades, sea bastante negativo.

	Herbicidas	Insecticidas	Fungicidas
Promedio Anual	11.4 Lt/Ha	5.7 Lt/Ha	5.7 Lt/Ha

Tabla 9. Cantidades de Plaguicidas usados en los cultivos de coca.⁴⁹

Por otro lado, los suelos de los bosques andinos que se caracterizan por su alta capacidad supresiva de patógenos están perdiendo esta característica, en la medida que los agroquímicos que se utilizan son de amplio espectro.

21.3 EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE COCA:

En la mayoría de los cultivos los datos de rendimientos se obtienen de las planillas de venta o consignación de los mercados y de los datos de superficie cultivada que lleva el Estado. Ambas fuentes de información son inexistentes en el caso de la coca, especialmente en un país como Colombia en el que la plantación esta prohibida en todo el territorio; solo algunos datos se consiguen acerca de plantaciones en el Perú y Bolivia donde el cultivo de la coca estaba supervisado por el estado, ya que se consideraba un producto comercial como cualquier otro, pero aun estos son antiguos dadas las más severas restricciones que en la actualidad se aplican sobre este tipo de actividad agrícola, dada su tendencia a convertirse en materia prima para la producción de Clorhidrato de cocaína, una sustancia ilegal en la mayor parte del mundo.

Sin embargo la lucha que se libra constantemente en Colombia contra la producción y comercialización de la cocaína ha generado la necesidad de conocer a fondo el funcionamiento de este negocio ya que la base para solucionar un problema radica en su plena identificación, por lo tanto curiosamente los datos acerca de rendimiento, cantidades de producción, requerimientos de insumos para el cultivo y la transformación, así como precios y otras variables relevantes son conocidos por estudios realizados y solicitados por diferentes estamentos gubernamentales como la Dirección Nacional de Estupefacientes, la Dirección Antinarcóticos de la policía nacional, el ministerio del medio ambiente y la universidad nacional entre otros.

La producción promedio de hoja de coca durante el primer año para un cultivo es de 625 Kg/Ha/Cosecha, a partir del segundo año se pueden obtener hasta 2000 Kg/Ha/Cosecha y posteriormente comienza a decrecer paulatinamente durante el periodo vegetativo. El promedio de producción de coca durante la vida de la planta se puede estimar en 1257

49 Fuente Dirección Antinarcóticos DIRAN, 2002

Kg/Ha/Cosecha. Es decir con un promedio de 4 cosechas al año se podrán obtener hasta 5028 Kg/Ha.

Estos valores varían de acuerdo con la precipitación anual de lluvias, la calidad de los terrenos y en muchos casos con la cantidad de fertilizantes químicos empleados en el cultivo. En los últimos años se ha visto un incremento de la producción de la cocaína a pesar de que los territorios cultivados se han reducido paulatinamente, en un reportaje publicado por el *Financial time* se afirmaba que los productores, con ayuda de agrónomos extranjeros, podrían estar manipulando genéticamente la planta para conseguir una variedad más resistente a los pesticidas y que puede generar cuatro (4) veces más cocaína. Debido a unos descubrimientos realizados durante los operativos antidrogas, que el gobierno de Colombia efectuaba en la Sierra Nevada en los que descubrió plantas de coca ocho veces más grandes que las normales.

El toxicólogo colombiano, Camilo Uribe, dijo a la agencia de noticias Reuters que esto no es una prueba de que la planta de coca haya sido genéticamente modificada. Las plantas de coca excesivamente grandes pueden ser el producto del "uso excesivo de fertilizantes".⁵⁰

21.4 EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA COCAÍNA

El proceso de producción de la cocaína se divide en tres pasos, que transforman las hojas de la planta de *Erythroxylum coca* en el clorhidrato de cocaína que es el producto final requerido por los distribuidores de drogas en el extranjero, el proceso de transformación requiere una cantidad nada despreciable de precursores químicos muy dañinos para el ambiente y que contaminan el agua y los suelos de las regiones utilizadas para el cultivo de la planta de coca.

21.4.1 De la hoja a la pasta

Este proceso generalmente se realiza cerca del cultivo. Las hojas se colocan en un recipiente o un hoyo forrado en plástico en el que se vierte ácido sulfúrico, agua y combustible. Después de agitar la mezcla, se separan del agua y las hojas los alcaloides y el combustible y a esta solución se agrega carbonato de sodio para producir un precipitado. Esta solución se arroja al suelo y/o se vierte en un arroyo o río cercano, mientras que el precipitado se filtra y seca para producir la pasta de coca

En esta primera parte de la transformación se presentan las siguientes salidas de sustancias:

- Residuos de hojas de coca
- Vertimiento de ácidos diluidos a cuerpos de agua y suelos aledaños
- Emisiones de sustancias orgánicas volátiles por el uso de gasolina o kerosene. Estas sustancias se reciclan.

50 De la noticia publicada en <http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/news/default.stm> por la agencia de noticias BBC

Los residuos vegetales contaminados con ácido son acumulados en pilas o montones que se dejan secar al ambiente donde pueden sufrir todos los procesos de descomposición que darán origen a la materia orgánica al incorporarse al suelo.

21.4.2 De la pasta de coca a la base de coca

Puede realizarse en el sitio donde se refina la pasta de coca o en un laboratorio que puede o no estar cerca del cultivo. La pasta de coca se disuelve en agua con ácido sulfúrico o clorhídrico. Posteriormente se mezcla permanganato de potasio con agua y se agrega a la solución de pasta y ácido. Esta solución resultante se filtra y el precipitado se desecha. Se agrega agua de amoníaco a la solución filtrada para precipitar la base de cocaína y los residuos químicos se vierten en un arroyo o río cercano.

En esta segunda parte del proceso se producen los siguientes desechos:

- Precipitado compuesto por bases (óxido de calcio, carbonato de calcio, etc.) y contaminado con ácido sulfúrico o clorhídrico y permanganato de potasio.
- Soluciones de ácido.

Las soluciones ácidas son vertidas de forma directa al suelo o al cuerpo de agua más cercano; esto dependerá de la ubicación del laboratorio. Es posible que los efectos del vertido de soluciones ácidas alteren el PH en suelos y agua destino.

21.4.3 De la base de coca a la cocaína HCL

se utiliza acetona o éter para disolver la base de coca, se agrega a la solución ácido clorhídrico diluido en acetona o éter y el solvente restante se desecha o recicla.

Estudios del departamento de Estado de los Estados Unidos indican que 10 millones de litros de ácido sulfúrico, 16 millones de litros de etil éter, 8 millones de litros de acetona y de 40 a 770 millones de litros de kerosene son vertidos cada año directamente en el suelo por procesadores de cocaína en la región andina, principalmente en Colombia.

En el análisis del ciclo del cultivo de coca se estableció que por cada kilo de hoja de coca se pueden obtener entre 1.28 y 1.6 gramos de base de cocaína. Además, se estiman desechos del proceso de transformación de la hoja de coca a base de cocaína. Los vertimientos son ácido sulfúrico (1.9 litros/kilo de base de cocaína), amoníaco (1.25 litros/kilo de base de cocaína), agua contaminada (193.75 litros/kilo de base de cocaína) y residuos sólidos de hoja de coca contaminados por sustancias químicas (625 kilos/kilo de base de cocaína).

21.5 LA ERRADICACIÓN DE CULTIVOS

No se debe desconocer que cualquier actividad antrópica que se realice en estos ecosistemas ejerce un efecto negativo, incluida, evidentemente la erradicación por aspersión. Las autoridades colombianas se encuentran enfrascadas en una constante lucha para eliminar la mayor cantidad de cultivos de sustancias ilícitas como les sea posible, pero también están en la obligación de proteger el medio ambiente en el proceso, el programa de erradicación a cargo de la dirección nacional de estupefacientes cuenta con auditoria ambiental, que ayuda a desarrollar un programa técnicamente adecuado y

que proteja la ecología. La decisión de recomendar el glifosato obedeció a un procedimiento sistemático y científico, el cual consideró las variables ambientales y de riesgo toxicológico, como elementos que rigen el criterio para su selección. Las características toxicológicas son las siguientes:

- Baja toxicidad (Categoría IV) según el ICA que es el organismo científico del gobierno para estos fines y Minsalud.
- Reducido potencial tóxico en humanos y animales. Dosis letal media, 4.900 - 5.000 miligramos por kilogramo de peso vivo.
- No posee características teratogénicas, cancerígenas o mutagénicas.
- No posee acción residual. Su vida media en el suelo es de 1 a 4 semanas como máximo.
- Se biodegrada por la acción microbiana en productos como dióxido de carbono, agua, nitrógeno y ciertos fosfatos.
- Es un herbicida sistémico (actúa como vacuna) es decir se manifiesta desde dentro de la planta.
- No es un producto volátil o corrosivo
- El efecto de deriva es prácticamente nula o menor del 2%

Ahora bien, si hacemos un análisis de costo-beneficio ambiental, vemos como dentro de las actividades relacionadas con todo el proceso de producción-tráfico, el efecto que produce la aspersión es mínimo, pero no insignificante, por esto las zonas declaradas parques nacionales protegidos por la nación esta exentos del uso de este producto químico para la erradicación de la planta de coca y se recomendó, dada su gran diversidad de flora y fauna que se impulsen labores de remoción manual de los cultivos, por esto el alcance de la erradicación dentro las áreas protegidas como el parque nacional de la Sierra Nevada es mucho menor que en otras zonas.

22. MODELO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CULTIVOS ILÍCITOS DE COCA EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA

Las sustancias ilícitas más consumidas en el mundo provienen de cultivos agrícolas que se dan bastante bien en países en vía de desarrollo, que además se encargan de continuar con la cadena de fabricación que transforma dichas plantaciones en el producto final requerido por el mercado internacional de alucinógenos. Curiosamente estos países usualmente basan su economía en la actividad agropecuaria legal y la exportación de los productos derivados de la misma a otros países.

En la presente etapa del proyecto se requiere trabajar sobre un modelo, del cual no se conocen construcciones anteriores basadas en Dinámica de Sistemas convencional. Del mismo modo es deseable que el fenómeno tratado por el modelo sea de una clase diferente a las previamente estudiadas en este trabajo, ello motivó la búsqueda de una situación de carácter ambiental que cumpliera con los requisitos mencionados. Después de explorar entre algunos trabajos ya existentes en el ámbito nacional, se encontró un antecedente acorde con estos requerimientos, el cual fue realizado por un grupo de estudiantes de la Universidad del Magdalena durante el desarrollo de la materia “Taller de Simulación” dirigida por el profesor Hugo Andrade Sosa, director del grupo SIMON y que fue mostrado durante el Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. En la construcción de dicho modelo se emplearon los resultados del trabajo de grado “Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones” y resultados preliminares de la presente investigación.

El problema de las drogas ha sido analizado ya desde varias perspectivas: la de la salud, que se interesa en la forma como las sustancias psicotrópicas ilegales afectan de manera negativa el cuerpo y la psique del ser humano; la económica, orientada principalmente hacia el impacto del tráfico y comercialización de los estupefacientes en las economías de los países productores, de tráfico y consumidores, donde se tratan el lavado de activos, la dolarización en las economías, fuga de capitales entre otros; desde el punto de vista legal, que incluye las implicaciones morales del negocio y el deterioro del estado de derecho; y finalmente, la visión ambiental de la cual se va a tomar un caso específico en el presente trabajo de investigación con el fin de mostrar el impacto ambiental de los cultivos ilícitos en el área específica de la Sierra Nevada de Santa Marta, parque nacional resguardado por numerosas leyes de protección ambiental y que se ha visto invadido en los últimos años por grupos al margen de la ley que aprovechan las limitaciones que a la erradicación por aspersión imponen las normas ya mencionadas y así cultivar de manera desmedida plantas de Coca para su posterior procesamiento.

22.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA, IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y RELACIONES FUNDAMENTALES

En concordancia con lo observado en los anteriores casos de estudio, la situación de los cultivos de Coca en la Sierra Nevada de Santa Marta y sus implicaciones ambientales se estudia con Dinámica de Sistemas buscando identificar implicaciones y posibilidades de

adaptación de la propuesta de integración presentada en este trabajo frente a una categoría específica como lo es la ambiental. Por ello, de manera semejante a los casos anteriores, los principales individuos interesados en su análisis mediante un modelo de Dinámica de Sistemas son la comunidad académica de la Universidad Industrial de Santander y dentro de ella incluidos, los realizadores de este proyecto de investigación.

El desarrollo y estudio de este modelo busca, además de presentar las implicaciones ambientales que supone el cultivo de *erythroxylum novogranatense* para el ecosistema de la Sierra Nevada de Santa Marta, identificar de cierta manera la factibilidad de llevar a cabo la construcción de modelos de tipo integrado en la conjunción de Dinámica de Sistemas con Lógica Difusa propuesta dentro de este trabajo investigativo. Esto a su vez permite, con base en la metodología propuesta para desarrollar el presente proyecto, lograr un nuevo estado de maduración en la propuesta metodológica para el estudio de situaciones con un enfoque integrador entre las disciplinas mencionadas.

Con mucha frecuencia se discuten las implicaciones sociales y económicas de la producción de Cocaína, sin embargo, el carácter ambiental de este cultivo sólo es relevante a la hora de aprobar o descalificar diversas políticas de erradicación con variadas sustancias químicas y se enfocan principalmente en examinar las consecuencias ecológicas de la utilización de dichos productos. Sin embargo se ignora el grave impacto ecológico del cultivo en sí mismo, que al igual que cualquier tipo de cultivo con posibilidades de comercialización se encuentra en variedades campesinas e industriales y que de la misma forma afecta al medio ambiente dada la participación activa del hombre que busca aumentar la producción por medio de la utilización de diversas técnicas e insumos que no hacen parte del balance ecológico natural de la zona.

La situación que se presenta con los cultivos ilícitos es más apremiante, ya que la búsqueda de zonas capaces de sostenerlos y libres de la presencia militar del estado ha generado una migración de los mismos a áreas protegidas por la ley fuera del alcance de las políticas más agresivas de eliminación de cultivos como la aspersión de químicos capaces de destruirlos. La Sierra Nevada de Santa Marta como zona declarada parque natural nacional se presenta como una excelente opción, más aún si se tiene en cuenta su cercanía con puertos marítimos que facilitarían la distribución de la droga y diferentes pisos térmicos que mejorarían la producción del alcaloide. Sin embargo esta área de 383.000 hectáreas no está preparada para recibir cultivos de ninguna especie, mucho menos los que son altamente exigentes con el ambiente. Se estima que para poder sembrar una hectárea de Coca se requiere la deforestación de cuatro (4) hectáreas de bosque tropical, se ha calculado que la pérdida de cobertura boscosa ocasionada es de un 30% del total anual del país y que la cantidad de insumos químicos empleados en el plantío es diez (10) veces superior a la utilizada en cultivos tradicionales como el Cacao.

Un cultivo cualquiera requiere de ciertos cuidados para llevarlo a buen término (una cosecha exitosa), si a esto agregamos el interés en su comercialización a los insumos normales del cuidado se deben agregar los necesarios para agilizar el proceso y mejorar la cantidad y calidad del producto. El cultivo de la planta de coca no es ajeno a esta situación, se puede afirmar incluso que es más propenso ya que existen dos factores apremiantes: uno, la alta rentabilidad del mismo y dos, la presión de las autoridades que buscan su eliminación. Durante el proceso de cultivo del *erythroxylum novogranatense* se incluyen gran cantidad de fertilizantes químicos, insecticidas, fungicidas y herbicidas que

buscan eliminar las plagas a las que es susceptible el cultivo y las plantas que podrían generar una competencia por los recursos ya que la Coca es un sembradío que no mezcla fácilmente con otros. Además de los químicos empleados durante la etapa de cultivo se encuentran los utilizados en la transformación de las hojas en Clorhidrato de Cocaína, labor que se realiza en muchas ocasiones en el mismo lugar de cosecha. Todos los elementos externos al medio utilizados tienen un tiempo de vida media de permanencia en los suelos y en las corrientes de agua que en muchas oportunidades es superior a lo recomendado, lo que genera una alta contaminación al medio ambiente.

22.1.1 Contaminantes en el proceso de cultivo

En su afán de aumentar la producción de hoja de Coca en los cultivos, los distribuidores han creado una cultura agroquímica muy fuerte, fomentando el uso de grandes cantidades de insecticidas, funguicidas y herbicidas que mantienen a raya las plagas que arremeten naturalmente contra la planta de Coca y además evitan situaciones de competencia por recursos con otras especies botánicas de la zona. Los productos empleados son variados y están determinados en gran parte por la facilidad con la que puedan introducirse, por medio del contrabando, en la región en que se desean utilizar. Una característica que muchos comparten es su alta toxicidad al punto que algunos de ellos fueron retirados del mercado legal y está prohibido su uso.

Una vez aplicados sobre los cultivos, los plaguicidas no desaparecen ni son absorbidos en su totalidad, muchos quedan en el suelo por largos periodos de tiempo y otros se filtran a las aguas que circulan por el plantío, en el peor de los casos algunos incluso son asimilados por las cadenas tróficas y permanecen en el ambiente por décadas. Entre los más usados se encuentran el gramoxone, un peligroso herbicida que tiene un tiempo de vida media mayor a mil días y de difícil degradación tanto en suelos como en aguas, el tamarón un insecticida de alta movilidad, por lo que es fácil encontrarlo en aguas subterráneas, y es absorbido con facilidad por raíces y hojas, su tiempo de vida media es de 5 días⁵¹ y el manzate un fungicida de baja clasificación tóxica y tiempo de vida media de 2 días.

22.1.2 Contaminantes en el proceso de producción

En la mayoría de las ocasiones el proceso de extracción del alcaloide de la cocaína de las hojas de la planta se realiza en el mismo lugar del cultivo o en un sitio muy cercano al mismo, ya que los requerimientos de los laboratorios se asemejan mucho al de las plantaciones, abundantes fuentes de agua, gran cantidad de biomasa vegetal que dificulte el descubrimiento de los centros de procesamiento y lugares aislados donde la presencia militar sea mínima.

La producción de la cocina también genera gran cantidad de contaminantes que son adsorbidos por el medio ambiente y que son perjudiciales para la microfauna de la región, por cada kilo de cocaína producida se estima la utilización de 1.9 litros de ácido sulfúrico, 1.25 litros de amoníaco, además se desechan 193.75 litros de agua contaminada y 625 kilos de residuos sólidos vegetales con sustancias químicas dañinas. El tiempo que se

51 Valor calculado en base a experimentos en tomates.

mantienen en el ambiente es variado para cada sustancia y depende muchas veces de las formas de eliminación que cada laboratorio tenga a su disposición.

22.1.3 La presión del estado

El gobierno colombiano ha instaurado una agresiva política de erradicación que busca contrarrestar los problemas que la producción y el tráfico de estupefacientes ejercen sobre el país en materia económica y de prestigio frente a la comunidad extranjera, además de asegurarse el apoyo internacional en sus políticas de seguridad nacional mostrando resultados positivos en su lucha contra los cultivos ilícitos, para ello se han generado diversos programas en la dirección nacional de estupefacientes encaminados a disminuir las zonas cultivadas de coca en el territorio nacional tratando en la medida de lo posible reducir el impacto ambiental de las acciones encaminadas a este fin.

La erradicación por aspersión con glifosato es tal vez la acción que más ha generado controversia entre las organizaciones involucradas y aunque se ha permitido su uso en general se ha restringido el empleo de esta técnica en las áreas protegidas por el estado, puesto que este herbicida puede acabar con plantas únicas que existen dentro de estas zonas. Para continuar con la presión a los cultivos ilícitos y respetar la ley, los organismos del estado han implementado la erradicación manual como alternativa al glifosato en regiones protegidas, pero este método da resultados mucho menores a los que se consiguen con la fumigación con el químico y no pueden calcularse basándose en el promedio del país, gracias a la investigación de las autoridades existen datos para la efectividad de este tipo de soluciones alternativas.

22.1.4 La posibilidad de ganancias

La situación actual del campesinado en Colombia es bastante drástica; muchos de los productos tradicionales arrojan rendimientos paupérrimos ocasionados muchas veces por la alta competencia producida por la importación de productos agrícolas y la falta de políticas efectivas de ayuda al productor primario. Además la constante presión de los grupos armados al margen de la ley los empuja a considerar el cultivo de la hoja de Coca como una forma viable de garantizar su supervivencia. Ellos deben tomar esta decisión consciente teniendo en cuenta si las ganancias que se esperan del cultivo son lo suficientemente grandes para opacar los riesgos de la actividad. Muchos de los cultivadores perciben un nivel de riesgo menor al real ya que nunca han caído presa de las campañas de eliminación del estado y su propia ignorancia los hace cándidos sobre la alta peligrosidad de las sustancias agroquímicas que manipulan día a día.

22.1.5 La metodología

Para la construcción del modelo de Dinámica de Sistemas aquí comentado el grupo de desarrolladores de la Universidad del Magdalena empleó el prototipado evolutivo, deteniendo el ciclo de mejoramiento en su segunda iteración la cual corresponde con el tercer prototipo. Sin embargo, el material presentado como trabajo de clase y posteriormente llevado al segundo encuentro colombiano de Dinámica de Sistemas en calidad de póster carece de una documentación apropiada en cuanto al proceso de modelado (descripción del sistema, identificación de elementos y relaciones fundamentales; diagrama de influencias; sistema de ecuaciones) ya que su énfasis se

centra en mostrar un primer modelo que integrara Lógica Difusa y Dinámica de Sistemas en tiempo de simulación. Partiendo de ese tercer prototipo, en el presente trabajo de grado se crea una cuarta versión que corrige y mejora el modelo presentado con anterioridad, además se incluyeron todos los aspectos del proceso de modelado que fueron ignorados o se omitieron en las presentaciones realizadas.

22.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA: DIAGRAMA DE INFLUENCIAS

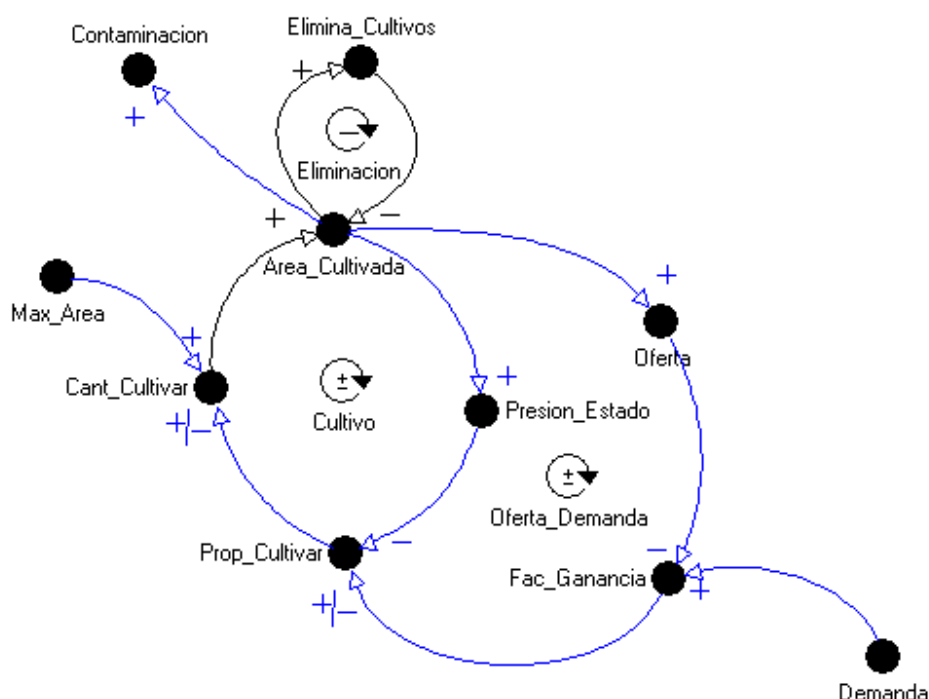


Figura 84. Diagrama de influencias para los cultivos de Coca en la Sierra Nevada

22.3 DEFINICION PRECISA DE CADA MAGNITUD: CÓDIGO DE VARIABLES

TIPO	NOMBRE EN EL MODELO	SECTOR DE DINÁMICA DE CULTIVOS DEFINICIÓN O NOMBRE COMPLETO	UNIDADES
N	AREA_CULTIVADA	Area cultivada	Ha de Coca
F	Nuevos_Cultivos	Nuevos cultivos	Ha de Coca/trimestre
F	Elimina_Cultivos	Eliminación de cultivos	Ha de Coca/trimestre
A	Max_Area	Máxima área cultivable	Ha de Coca
A	Cant_Cultivar	Cantidad a cultivar	Ha de Coca
A	Oferta	Oferta de Clorhidrato de Cocaína	Kg de Cocaína/trimes

FIS	Factor_Ganancia	Factor de ganancia percibido por el cultivador	tre Adimensional
FIS	Prop_Cultivar	Proporción a cultivar decidida por el cultivador	Adimensional
P	Tasa_Deforest	Tasa de deforestación	Ha de Bosque/ Ha de Coca
P	Ext_Cultivable	Extensión cultivable en la Sierra Nevada	Ha de Bosque
P	Fac_Cambio_Re	Factor REAL de conversión de Ha de Coca a Kg de Clorhidrato de Cocaína	Kg de Cocaína/Ha de Coca
P	Fac_Cambio_Id	Factor IDEAL de conversión de Kg de Clorhidrato de Cocaína a Ha de Coca	Ha de Coca/Kg de Cocaína
P	Efectividad_Erra	Efectividad de la erradicación	Adimensional / trimestre
T	Presion_Estado	Presión del estado sobre los cultivos ilícitos	Adimensional
E	Demanda	Demanda de los narcotraficantes por Clorhidrato de Cocaína	Kg de Cocaína/trimes tre
TIPO	SECTOR DE USO DE QUÍMICOS EN EL CULTIVO NOMBRE EN EL MODELO DEFINICIÓN O NOMBRE COMPLETO		UNIDADES
N	FUNGICIDAS	Acumulación de fungicidas empleados en el cultivo de la Coca	Lt de Fungicida
N	HERBICIDAS	Acumulación de herbicidas empleados en el cultivo de la Coca	Lt de Herbicida
N	INSECTICIDAS	Acumulación de insecticidas empleados en el cultivo de la Coca	Lt de Insecticida
F	Fung_Utilizado	Fungicida utilizado en el cultivo de la Coca	Lt de Fungicida/trim estre
F	Fung_Degradado	Fungicida degradado de manera natural	Lt de Fungicida/trim estre
F	Herb_Utilizado	Herbicida utilizado en el cultivo de la Coca	Lt de Herbicida/trime stre
F	Herb_Degradado	Herbicida degradado de manera natural	Lt de Herbicida/trime stre
F	Insect_Utilizado	Insecticida utilizado en el cultivo de la Coca	Lt de Insecticida/trim estre
F	Insect_Degradado	Insecticida degradado de manera natural	Lt de Insecticida/trim estre

P	Prop_Fung	Proporción de fungicida requerido por cada Ha	Lt de fungicida/Ha de Coca trimestre
P	VM_Fung	Vida media del fungicida	Lt de herbicida/Ha de Coca trimestre
P	Prop_Herb	Proporción de herbicida requerido por cada Ha	Lt de insecticida/Ha de Coca trimestre
P	VM_Herb	Vida media del herbicida	Lt de insecticida/Ha de Coca trimestre
P	Prop_Insect	Proporción de insecticida requerido por cada Ha	Lt de insecticida/Ha de Coca trimestre
P	VM_Insect	Vida media del insecticida	Lt de insecticida/Ha de Coca trimestre
SECTOR DE USO DE QUÍMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CLORHIDRATO DE COCAÍNA			
TIPO	NOMBRE EN EL MODELO	DEFINICIÓN O NOMBRE COMPLETO	UNIDADES
N	AMONIACO	Acumulación de Amoniaco durante el proceso de producción de Cocaína	Lt de Amoniaco
N	AC_SULFURICO	Acumulación de Ácido Sulfúrico durante el proceso de producción de Cocaína	Lt de Ácido Sulfúrico
N	AGUA_CONT	Acumulación de Agua Contaminada durante el proceso de producción de Cocaína	Lt de Agua Contaminada
N	RES_VEGETAL	Acumulación de Residuos Vegetales durante el proceso de producción de Cocaína	Kg de Residuos Vegetales
F	Vert_Amoniaco	Vertimiento de Amoniaco	Lt de Amoniaco / trimestre
F	Deg_Amoniaco	Degradación del Amoniaco	Lt de Amoniaco / trimestre
F	Vert_Ac_Sulf	Vertimiento de Ácido Sulfúrico	Lt de H2SO4 / trimestre
F	Deg_Ac_Sulf	Degradación del Ácido Sulfúrico	Lt de H2SO4 / Trimestre
F	Prod_Agua_Cont	Producción de Agua Contaminada	Lt de Agua Cont. / trimestre
F	Deg_Cont_Agua	Degradación de los Contaminantes en el Agua	Lt de Agua Cont. / trimestre
F	Prod_Res_Veg	Producción de Residuos Vegetales	Kg de Res. Veg. / trimestre
F	Deg_Res_Veg	Degradación de los Residuos Vegetales	Kg de Res. Veg. /

P	Prop_Amoniaco_Ha	Proporción de Amoniaco usado por Ha	trimestre Lt de Amoniaco / Ha * trimestre
P	Vm_Amoniaco	Vida media del Amoniaco	Trimestre
P	Prop_Ac_Sulf_Ha	Proporción de Ácido Sulfúrico usado por Ha	Lt de H2SO4 / Ha * trimestre
P	Vm_Ac_Sulf	Vida media del Ácido Sulfúrico	Trimestre
P	Pr_Agua_Cont_Ha	Producción de Agua Contaminada por Ha	Lt de Agua Cont. / Ha * trimestre
P	Vm_Cont_Agua	Vida media de los contaminantes en el Agua	Trimestre
P	Pr_Res_Veg_Ha	Producción de Residuos Vegetales por Ha	Kg de Res. Veg. / Ha * trimestre
P	Deg_Res_Veg	Vida media de los Residuos Vegetales	Trimestre

Tabla 10. Variables para el modelo de cultivos ilícitos de Coca en la Sierra Nevada

22.4 DIAGRAMA FLUJO NIVEL

Para mayor facilidad en su interpretación el diagrama fue dividido en tres sectores llamados respectivamente: Dinámica de Cultivos, Uso de Químicos en el Cultivo y Uso de Químicos en la Producción de Clorhidrato de Cocaína. Como se puede observar en la Figura 85 la nueva simbología propuesta para estos diagramas ya fue incluida dentro de los mismos.

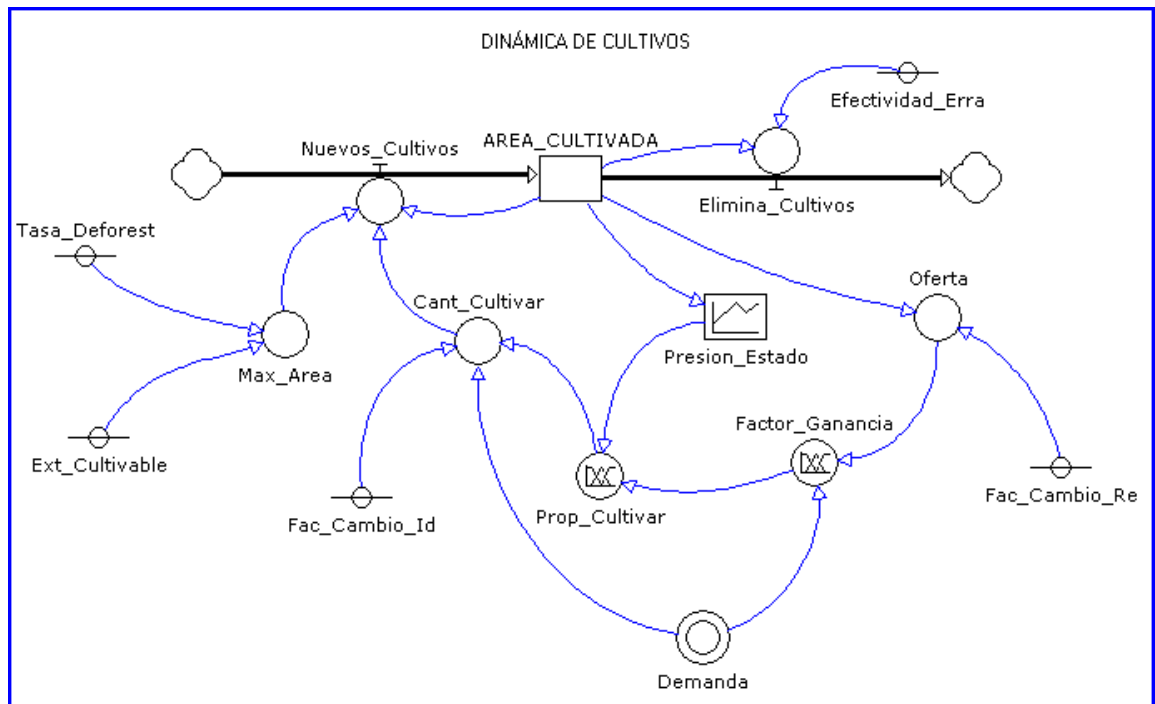


Figura 85. Sector de Dinámica de Cultivos

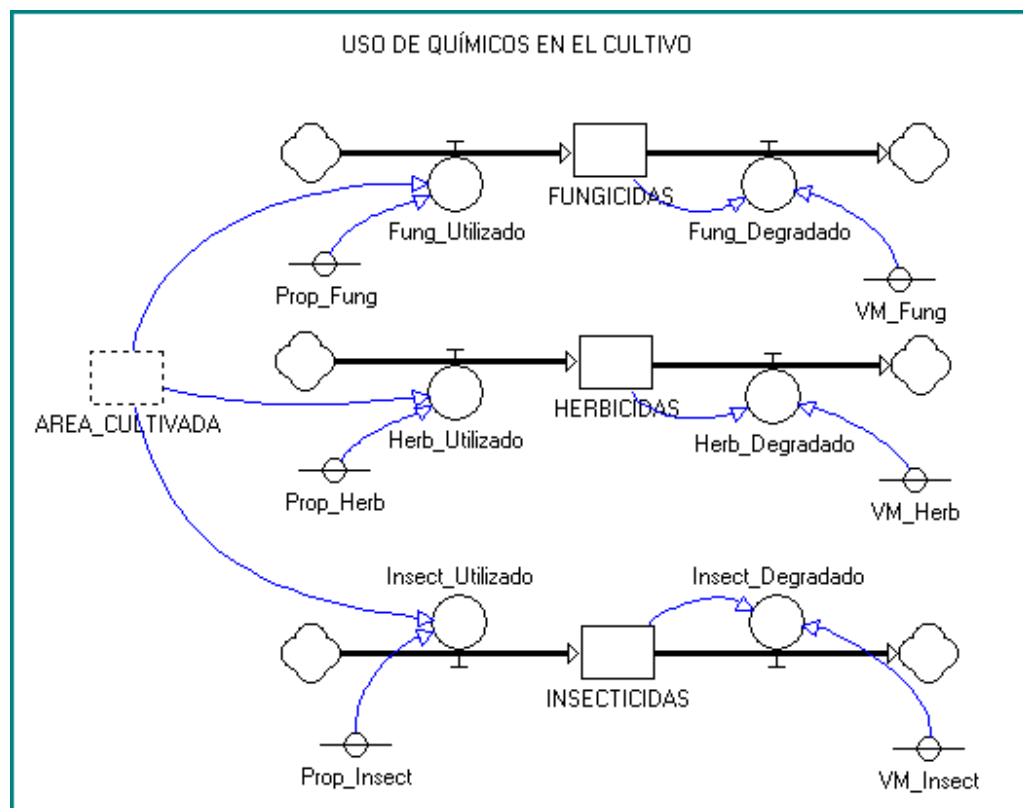


Figura 86. Sector de Uso de Químicos en el Cultivo

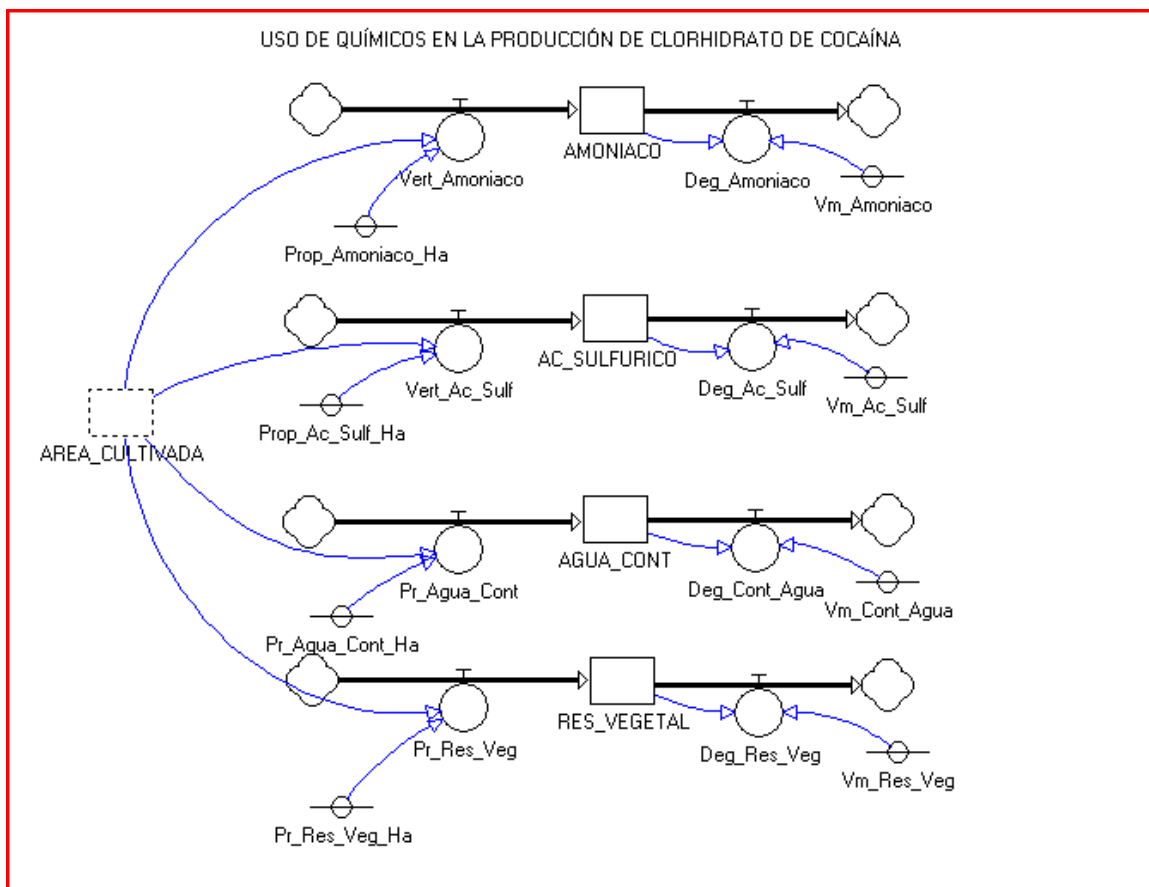


Figura 87. Sector de Uso de Químicos en la Producción de Clorhidrato de Cocaína

22.5 DEFINICIÓN DE ECUACIONES

22.5.1 Niveles

22.5.1.1. Sector de Dinámica de Cultivos

■ Nombre: AREA_CULTIVADA
 Definición: $AREA_CULTIVADA(T) = AREA_CULTIVADA(T-1) + DT(Nuevos_Cultivos - Elimina_Cultivos)$

22.5.1.2. Sector de Uso de Químicos en el Cultivo

■ Nombre: FUNGICIDAS
 Definición: $FUNGICIDAS(T) = FUNGICIDAS(T-1) + DT(Fung_Utilizado - Fung_Degradado)$

-  Nombre: HERBICIDAS
 Definición: $HERBICIDAS(T) = HERBICIDAS(T-1) + DT(Herb_Utilizado - Herb_Degradado)$
-  Nombre: INSECTICIDAS
 Definición: $INSECTICIDAS(T) = INSECTICIDAS(T-1) + DT(Insect_Utilizado - Insect_Degradado)$

22.5.1.3. Sector de Uso de Químicos en la Producción de Clorhidrato de Cocaína

-  Nombre: AC_SULFURICO
 Definición: $AC_SULFURICO(T) = AC_SULFURICO(T-1) + DT(Vert_Ac_Sulf - Deg_Ac_Sulf)$
-  Nombre: AGUA_CONT
 Definición: $AGUA_CONT(T) = AGUA_CONT(T-1) + DT(Pr_Agua_Cont - Deg_Cont_Agua)$
-  Nombre: AMONIACO
 Definición: $AMONIACO(T) = AMONIACO(T-1) + DT(Vert_Amoniac - Deg_Amoniac)$
-  Nombre: RES_VEGETAL
 Definición: $RES_VEGETAL(T) = RES_VEGETAL(T-1) + DT(Pr_Res_Veg - Deg_Res_Veg)$

22.5.2 Flujos

22.5.2.1. Sector de Dinámica de Cultivos

-  Nombre: Elimina_Cultivos
 Definición: $AREA_CULTIVADA * Efectividad_Erra$
-  Nombre: Nuevos_Cultivos
 Definición: $IF(AREA_CULTIVADA + Cant_Cultivar > Max_Area, Max_Area - AREA_CULTIVADA, Cant_Cultivar)$

22.5.2.2. Sector de Uso de Químicos en el Cultivo

-  Nombre: Fung_Degradado
 Definición: $FUNGICIDAS / VM_Fung$
-  Nombre: Fung_Utilizado
 Definición: $AREA_CULTIVADA * Prop_Fung$
-  Nombre: Herb_Degradado
 Definición: $HERBICIDAS / VM_Herb$
-  Nombre: Herb_Utilizado
 Definición: $AREA_CULTIVADA * Prop_Herb$
-  Nombre: Insect_Degradado
 Definición: $INSECTICIDAS / VM_Insect$
-  Nombre: Insect_Utilizado
 Definición: $AREA_CULTIVADA * Prop_Insect$

22.5.2.3. Sector de Uso de Químicos en la Producción de Clorhidrato de Cocaína

☞	Nombre:	Deg_Ac_Sulf
	Definición:	AC_SULFURICO/Vm_Ac_Sulf
☞	Nombre:	Deg_Amoniac
	Definición:	AMONIACO/Vm_Amoniac
☞	Nombre:	Deg_Cont_Agua
	Definición:	AGUA_CONT/Vm_Cont_Agua
☞	Nombre:	Deg_Res_Veg
	Definición:	RES_VEGETAL/Vm_Res_Veg
☞	Nombre:	Pr_Agua_Cont
	Definición:	AREA_CULTIVADA*Pr_Agua_Cont_Ha
☞	Nombre:	Pr_Res_Veg
	Definición:	AREA_CULTIVADA*Pr_Res_Veg_Ha
☞	Nombre:	Vert_Ac_Sulf
	Definición:	AREA_CULTIVADA*Prop_Ac_Sulf_Ha
☞	Nombre:	Vert_Amoniac
	Definición:	AREA_CULTIVADA*Prop_Amoniac_Ha

22.5.3 Variables Auxiliares

22.5.3.1. Sector de Dinámica de Cultivos

○	Nombre:	Cant_Cultivar
	Definición:	IF(Demanda>Oferta,(Demanda-Oferta)*Fac_Cambio_Id *Prop_Cultivar, 0)
○	Nombre:	Max_Area
	Definición:	Ext_Cultivable/Tasa_Deforest
○	Nombre:	Oferta
	Definición:	AREA_CULTIVADA*Fac_Cambio_Re

22.5.4 FIS

22.5.4.1. Sector de Dinámica de Cultivos. Como se indicó en el capítulo anterior, las personas tienen un nivel de paralelismo mucho menor que las máquinas lo que les impide evaluar muchas entradas de manera simultánea. En el caso de este modelo el propósito no es buscar la mejor decisión posible, sino representar la más factible teniendo en cuenta el tipo de individuo que la está realizando, en este caso un campesino colombiano; es por esto que es más acertado evaluar en forma de cascada los tres parámetros más importantes durante la toma de decisiones, en lugar de realizar un análisis simultáneo de las mismas.

Factor de Ganancia. Un primer aspecto de la realidad que determina la participación del cultivador de coca en el negocio, es el factor de ganancia percibido por el mismo. Este factor se concibe a partir de un examen que hace el cultivador al considerar tanto el

volumen de la oferta como el nivel de la demanda de su producto. Dependiendo de la diferencia entre lo demandado y la actual oferta, el cultivador percibe una oportunidad de negocio que se traduce en el factor de ganancia estimado por él mismo.

Reglas:

Si la oferta es baja y la demanda es baja, entonces el factor de ganancia es bajo
Si la oferta es baja y la demanda es media, entonces el factor de ganancia es alto
Si la oferta es baja y la demanda es alta, entonces el factor de ganancia es alto
Si la oferta es media y la demanda es baja, entonces el factor de ganancia es bajo
Si la oferta es media y la demanda es media, entonces el factor de ganancia es

medio

Si la oferta es media y la demanda es alta, entonces el factor de ganancia es alto
Si la oferta es alta y la demanda es baja, entonces el factor de ganancia es bajo
Si la oferta es alta y la demanda es media, entonces el factor de ganancia es bajo
Si la oferta es alta y la demanda es alta, entonces el factor de ganancia es medio

Definición de la Cantidad de Funciones de Membresía

En el FIS para el factor de ganancia se toma el estado de la oferta y la demanda mediante tres (3) funciones de membresía cada una (baja, media, alta), y el factor de ganancia se maneja también con tres (3) funciones de membresía (bajo, medio, alto).

Proporción a cultivar. Según el factor de ganancia percibido y el riesgo del negocio ocasionado por la presión del estado y sus campañas de eliminación de cultivos, el sembrador decide que proporción de la brecha existente entre demanda y oferta desea suplir.

Reglas

Si el factor de ganancia es bajo y la presión del gobierno es permisiva,
entonces la proporción a cultivar es poca
Si el factor de ganancia es bajo y la presión del gobierno es blanda,
entonces la proporción a cultivar es poca
Si el factor de ganancia es bajo y la presión del gobierno es normal,
entonces la proporción a cultivar es poca
Si el factor de ganancia es bajo y la presión del gobierno es elevada,
entonces la proporción a cultivar es poca
Si el factor de ganancia es medio y la presión del gobierno es permisiva,
entonces la proporción a cultivar es media
Si el factor de ganancia es medio y la presión del gobierno es blanda,
entonces la proporción a cultivar es media
Si el factor de ganancia es medio y la presión del gobierno es normal,
entonces la proporción a cultivar es moderada
Si el factor de ganancia es medio y la presión del gobierno es elevada,
entonces la proporción a cultivar es poca
Si el factor de ganancia es alto y la presión del gobierno es permisiva,
entonces la proporción a cultivar es alta
Si el factor de ganancia es alto y la presión del gobierno es blanda,

entonces la proporción a cultivar es alta
Si el factor de ganancia es alto y la presión del gobierno es normal,
entonces la proporción a cultivar es media
Si el factor de ganancia es alto y la presión del gobierno es elevada,
entonces la proporción a cultivar es moderada

Definición de la Cantidad de Funciones de Membresía

La proporción a cultivar se determina a partir del valor para el factor de ganancia que se incluye mediante tres (3) funciones de membresía (bajo, medio, alto), y se trabaja sobre la salida con otras tres (3) funciones de membresía (poca, normal, mucha).

22.5.5 Tablas

22.5.5.1. Sector de Dinámica de Cultivos

Presion_Estado. La presión del estado representa el esfuerzo que éste realiza para conseguir la eliminación de los cultivos ilícitos en la zona de la Sierra Nevada de Santa Marta. A pesar de que la inversión requerida para efectuar la eliminación de cultivos en estas zonas es muy superior a la necesaria en el resto del país debido a aspectos legales y ambientales asociados a su estatus como parques naturales, el gobierno tiene el deber moral y ecológico con sus ciudadanos y con organismos internacionales de mantener controlado este flagelo. Debido a ello, el estado ejerce una presión creciente contra los cultivos ilícitos a medida que el área de los mismos aumenta, sin embargo por causa de los mencionados costos que esto ocasiona hay un límite superior en la capacidad de ejercer presión por parte del mismo, lo que implica una forma sigmoideal creciente para esta no-linealidad. El elemento de la presión del estado recibe la cantidad de hectáreas cultivadas con coca dentro de la Sierra Nevada, este valor está acotado entre cero (0) y 19500 hectáreas que sería el caso extremo en que toda el área de la Sierra Nevada consistiera de cultivos ilícitos de coca. La salida se maneja como un porcentaje de efectividad y por consiguiente es adimensional entre cero (0) y uno (1).

22.6 CALIBRADO

22.6.1 Sistemas de Inferencia Difusa (FIS)

Factor de Ganancia Percibido por el Cultivador

Entradas:

Categorización de la Oferta de clorhidrato de Cocaína generada por los cultivadores de Coca de la Sierra Nevada de Santa Marta (Oferta)

Rango: 0 a 35300 Kg de Clorhidrato de Cocaína

Funciones de Membresía: 3

Baja: Tipo Z [500 870]

Media: Tipo Campana [500 870 1300]

Alta: Tipo S [870 1300]

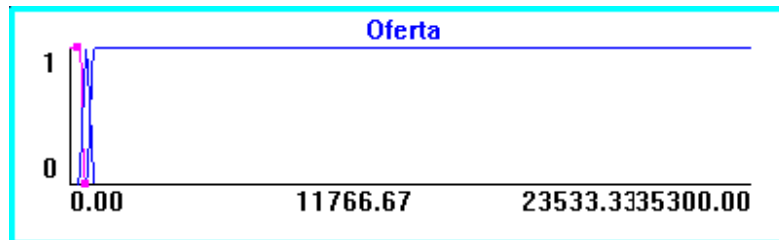


Figura 88. Funciones de membresía para la entrada Oferta

Percepción de la Demanda de los Narcotraficantes por Clorhidrato de Cocaína (Demanda)

Rango: 300 a 1500 Kg de Clorhidrato de Cocaína

Funciones de Membresía: 3

Baja: Tipo Z [600 900]

Media: Tipo Campana [600 900 1200]

Alta: Tipo S [900 1200]

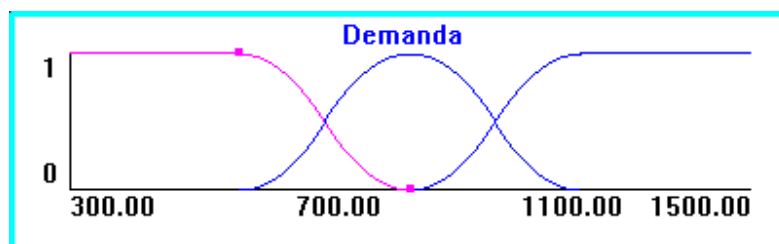


Figura 89. Funciones de membresía para la entrada Demanda

Salidas:

Factor de Ganancia percibido por los cultivadores de la Sierra Nevada (Factor_Ganancia)

Rango: 0 a 1

Funciones de Membresía: 3

Bajo: Tipo Z [0.15 0.40]

Medio: Tipo Campana [0.15 0.40 0.65]

Alto: Tipo S [0.40 0.65]

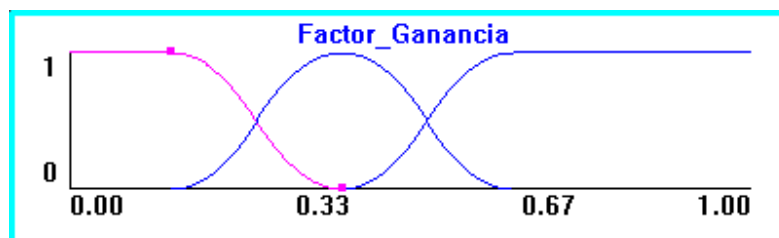


Figura 90. Funciones de membresía para la salida Factor_Ganancia

Proporción a Cultivar Decidida por el Cultivador

Entradas:

Factor de Ganancia estimado por los cultivadores de la Sierra Nevada (Factor_Ganancia)

Rango: 0 a 1

Funciones de Membresía: 3

Bajo: Tipo Z [0.15 0.40]

Medio: Tipo Campana [0.15 0.40 0.65]

Alto: Tipo S [0.40 0.65]

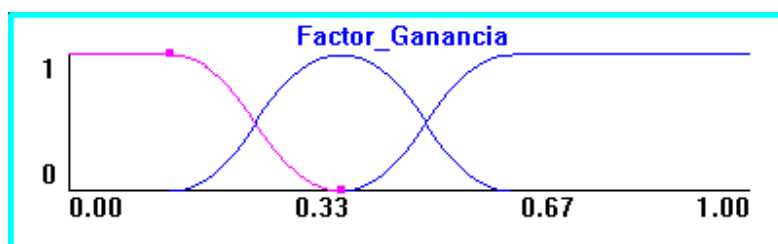


Figura 91. Funciones de membresía para la entrada Factor_Ganancia

Percepción de la presión del estado en contra de los cultivos ilícitos (Presion_Estado)

Rango: 0 a 1

Funciones de Membresía: 4

Permisiva: Tipo Z [0.2 0.4]

Moderada: Tipo Campana [0.2 0.4 0.6]

Normal: Tipo Campana [0.4 0.6 0.8]

Elevada: Tipo S [0.6 0.8]

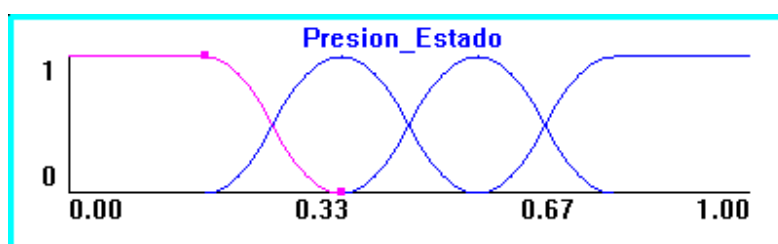


Figura 92. Funciones de membresía para la entrada Presion_Estado

Salidas:

Decisión de la proporción a cultivar de la cantidad necesaria para cubrir la demanda (Prop_Cultivar)

Rango: 0 a 1

Funciones de Membresía: 4

Poca: Tipo Z [0.2 0.4]

Moderada: Tipo Campana [0.2 0.4 0.6]

Media: Tipo Campana [0.4 0.6 0.8]

Alta: Tipo S [0.6 0.8]

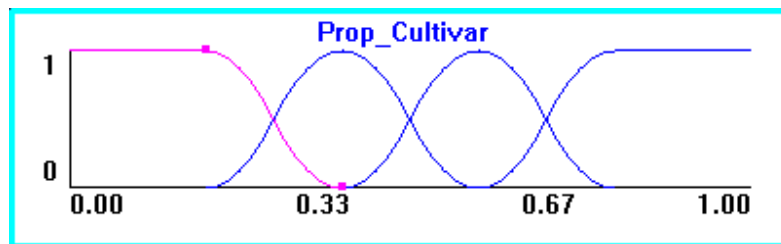


Figura 93. Funciones de membresía para la salida Prop_Cultivar

22.6.2 Parámetros

22.6.2.1. Sector de Dinámica de Cultivos

Efectividad de la Erradicación. Este valor representa el porcentaje de cultivos ilícitos que las autoridades y la misma vida media de las plantas eliminan trimestre a trimestre. Hay que recordar que la erradicación en esta zona debe realizarse de manera manual debido a la legislación actual.

Nombre: Efectividad_Erra
Definición: 0.05

Extensión Cultivable en la Sierra Nevada. Corresponde con el dato estimado por los estudiosos de esta región del país del área total de la Sierra Nevada de Santa Marta que es apta para cualquier tipo de cultivo, incluido aquella zona que está cubierta por selvas y bosques.

Nombre: Ext_Cultivable
Definición: 78000

Factor Ideal de Conversión de Kg de Clorhidrato de Cocaína a Ha de Coca. El método para estimar la cantidad de hectáreas de hoja de Coca que se requieren para alcanzar los objetivos que se tracen consiste en transformar los kilogramos de Clorhidrato de Cocaína en hectáreas de Coca. Estos cálculos generalmente se hacen con base en valores promedio para condiciones ideales. Para este caso la media de producción de Coca durante la vida de la planta se puede estimar en 1257 Kg/Ha/Cosecha, en el análisis del ciclo del cultivo de Coca se estableció que por cada kilogramo de hoja de coca se pueden obtener entre 1.28 y 1.6 gramos de base de cocaína.

Nombre: Fac_Cambio_Id
Definición: 1/1.81008

Factor Real de Conversión de Ha de Coca a Kg de Clorhidrato de Cocaína. Algo diferente sucede para el caso inverso al del factor ideal, una vez cosechadas las hojas éstas son transformadas en clorhidrato y se puede establecer con bastante exactitud cuál fue el factor de cambio real entre hectáreas de Coca y Kg de Clorhidrato en cada cosecha. Por cuestiones de sencillez se ha decidido mantener estos dos parámetros iguales pero se representan por separado para recalcar las diferencias entre ellos.

☛ Nombre: Fac_Cambio_Re
Definición: 1.81008

Tasa de Deforestación. Con base en estudios realizados por la Dirección Nacional de Estupefacientes se ha calculado este parámetro que expresa el número de hectáreas de bosque o selva tropical requeridos para obtener una hectárea completa de cultivo de hoja de Coca libre de competidores con los cuales deba compartir recursos.

☛ Nombre: Tasa_Deforest
Definición: 4

22.6.2.2. Sector de Uso de Químicos en el Cultivo. Los parámetros que pertenecen a este sector son:

- Proporción de fungicida requerido por cada Ha
- Proporción de herbicida requerido por cada Ha
- Proporción de insecticida requerido por cada Ha
- Vida media del fungicida
- Vida media del herbicida
- Vida media del insecticida

Su función dentro del modelo es bastante clara: ayudar a calcular la acumulación de los diferentes productos químicos utilizados en los cultivos de hoja de Coca, y su método de estimación es similar para todos ellos, las proporciones de fungicidas, herbicidas e insecticidas utilizadas en la siembra de este producto ilegal se encuentran en los diferentes reportes que la Dirección Nacional de Estupefacientes presenta sobre el impacto ecológico de los mismos en las diferentes regiones en que se dan, y las vidas medias son datos que se encuentran publicados en varios estudios y libros ambientales hasta la fecha.

☛ Nombre: Prop_Fung
Definición: 1.42

☛ Nombre: Prop_Herb
Definición: 2.85

☛ Nombre: Prop_Insect
Definición: 1.42

☛ Nombre: VM_Fung
Definición: 1.16

☛ Nombre: VM_Herb

Definición: 10.95
 - Nombre: VM_Insect
 Definición: 1.73

22.6.2.3. Sector de Uso de Químicos en la Producción de Clorhidrato de Cocaína.

Los parámetros que pertenecen a este sector

- Producción de Agua Contaminada por Ha
- Producción de Residuos Vegetales por Ha
- Proporción de Ácido Sulfúrico usado por Ha
- Proporción de Amoníaco usado por Ha
- Vida media del Ácido Sulfúrico
- Vida media del Amoníaco
- Vida media de los contaminantes en el Agua
- Vida media de los Residuos Vegetales

De manera similar al sector de uso de químicos en el cultivo, en el sector de uso de químicos en la producción de clorhidrato de Cocaína se tiene una serie de parámetros que facilitan estimar la acumulación de diferentes contaminantes empleados en el proceso de la obtención del clorhidrato. La producción de agua contaminada y residuos vegetales, así como el vertimiento de ácido sulfúrico y amoníaco al medio ambiente, se encuentran estimados en estudios realizados por diferentes universidades del país y por la Dirección Nacional de Estupefacientes.

- Nombre: Pr_Agua_Cont_Ha
 Definición: 193.75
 - Nombre: Pr_Res_Veg_Ha
 Definición: 625
 - Nombre: Prop_Ac_Sulf_Ha
 Definición: 1.9
 - Nombre: Prop_Amoníaco_Ha
 Definición: 1.25
 - Nombre: Vm_Ac_Sulf
 Definición: 1.93
 - Nombre: Vm_Amoníaco
 Definición: 1.014
 - Nombre: Vm_Cont_Agua
 Definición: 6.17
 - Nombre: Vm_Res_Veg
 Definición: 4

22.6.3 Exógenas

22.6.3.1. Sector de Dinámica de Cultivos.

Demanda de los Narcotraficantes de Clorhidrato de Cocaína. Quienes adquieren el clorhidrato de Cocaína procesado por los productores son los narcotraficantes quienes cumplen el papel de comercializadores y se encargan de distribuir de manera ilegal el alcaloide en los mercados internacionales. Dependiendo de los requerimientos de consumo de los países compradores y de las cantidades incautadas por las autoridades, la cantidad demandada de clorhidrato de cocaína por parte de los narcotraficantes puede variar trimestre a trimestre, sin embargo es muy difícil de calcular el valor exacto para una determinada zona del país; para la construcción de este modelo se supuso una demanda mayor que la oferta actual ya que los cultivos ilícitos parecen estar en constante crecimiento lo que lleva a pensar que la producción actual no alcanza a suplir la demanda. De esta manera se determinó una demanda aleatoria con distribución normal que se mantiene alrededor de 1100 Kg de clorhidrato de cocaína con una desviación estándar de 90 Kg para cada trimestre.

⊙ Nombre: Demanda
Definición: $NORMAL(1100,90)$

22.6.4 Tablas

22.6.4.1. Sector de Dinámica de Cultivos

Presión del Estado Sobre los Cultivos Ilícitos

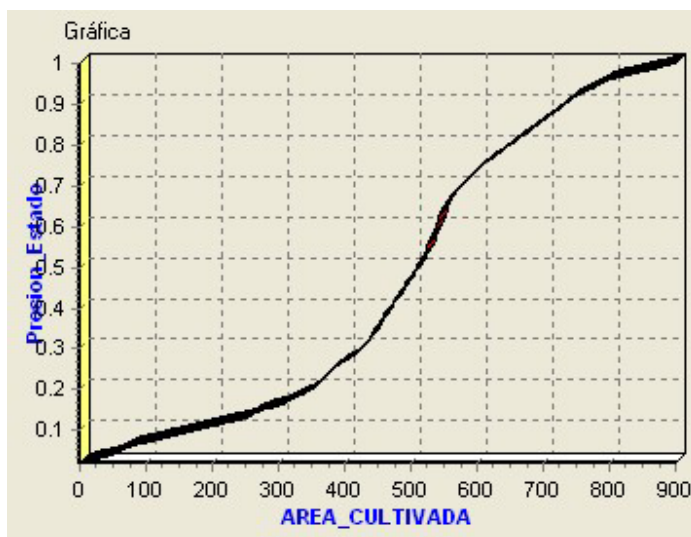


Figura 94. Presión del Estado Sobre los Cultivos Ilícitos

Como se comentó anteriormente el Estado Colombiano incurre en elevados costos al poner en práctica acciones dirigidas a la erradicación de cultivos ilícitos en zonas protegidas como es el caso de la Sierra Nevada de Santa Marta. Esto provoca que la presión ejercida no pueda ser la misma en todo momento y dependa de la cantidad de hectáreas cultivadas. De esta manera, cuando se detectan muy pocos cultivos o ninguno la presión que ejerce el gobierno es de un 2% lo que equivale al valor mínimo para esta no-linealidad; en el caso extremo e improbable que la gran mayoría de la Sierra Nevada o más se encontrara cultivada con paltas de Coca (teniendo en cuenta que por cada hectárea de cultivo se hace necesario desforestar 4 hectáreas de bosque) la presión del gobierno (para 900 hectáreas cultivadas o más) se va al máximo posible que es un 100% de esfuerzos dirigidos a la inhibición de esta actividad, de erradicación de cultivos y de represalias para quienes la ponen en práctica; el punto de esfuerzo medio (50%) se halla alrededor de 500 hectáreas cultivadas con Coca, en cuyo caso el gobierno emplea un 50% de su capacidad total en combatir este fenómeno.

 Nombre: Presion_Estado
Definición: INTSPLINE(2,0,25,0.02,0.03,0.04,0.06,0.07,0.08,0.09,0.1,0.11,0.12,0.13,0.15,0.16,0.18,0.20,0.24,0.27,0.3,0.36,0.42,0.48,0.55,0.65,0.7,0.74,0.77,0.8,0.83,0.86,0.89,0.92,0.94,0.96,0.97,0.98,0.99,1)

22.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Al considerar la pertinencia y propósito del modelo se seleccionó una única variable sobre la cual se realizaran modificaciones ya que por las características mismas del fenómeno, el modelador y los diferentes organismos que pudieran estar interesados en la construcción del mismo tienen poca incidencia sobre otras variables de la situación estudiada.

Los elementos seleccionados para estudiar su comportamiento frente a alteraciones de la variable endógena escogida son los siguientes:

- Área Cultivada: Porque es la base sobre la cual se generan los cálculos de contaminantes encontrados en este tipo de actividad agrícola.
- Proporción a Cultivar: Porque representa la intención de los agricultores de plantar nuevas hectáreas de Coca al haber evaluado las posibilidades de obtener beneficios económicos y el riesgo de ser capturados o sometidos por la presión del gobierno.
- Acumulación de Herbicidas: Porque uno de los propósitos del modelo es observar en que forma los cultivos ilícitos generan altos niveles de elementos tóxicos en el ambiente.

La variable endógena seleccionada es la “Cantidad de Hectáreas” inicialmente cultivadas con Coca en la Sierra Nevada de Santa Marta. Y se considerará la respuesta del modelo con valores por encima y por debajo del valor por defecto que ha sido determinado durante la etapa de calibrado para este elemento.

Todas las trayectorias derivadas de la simulación serán registradas dentro de un horizonte de tiempo de 40 trimestres equivalentes a 10 años porque es un periodo razonable sobre el cual se puede evaluar un impacto ambiental, sobre todo si se tiene en cuenta el alto nivel tóxico de muchos de los insumos empleados durante el proceso de cultivo y producción de este producto.

De manera semejante a lo presentado durante la etapa de análisis de sensibilidad para el modelo trabajado durante el capítulo anterior, en este modelo se tiene un elemento de tipo estocástico para representar un aspecto de la situación de estudio, y en consecuencia es viable realizar un análisis preliminar para determinar la sensibilidad del modelo al reemplazar la distribución de probabilidad por su media y por las cotas superior e inferior de la misma. El mencionado elemento corresponde con la demanda de clorhidrato de cocaína que como ya se indicó es bastante compleja de determinar debido a los pocos datos que se poseen y a la sectorización del problema. Adicionalmente como se puede observar en la Figura 95 y Figura 96, a modo de una ayuda visual adicional a la comparación, se agregó la trayectoria obtenida en una de las simulaciones empleando los valores estocásticos del elemento.

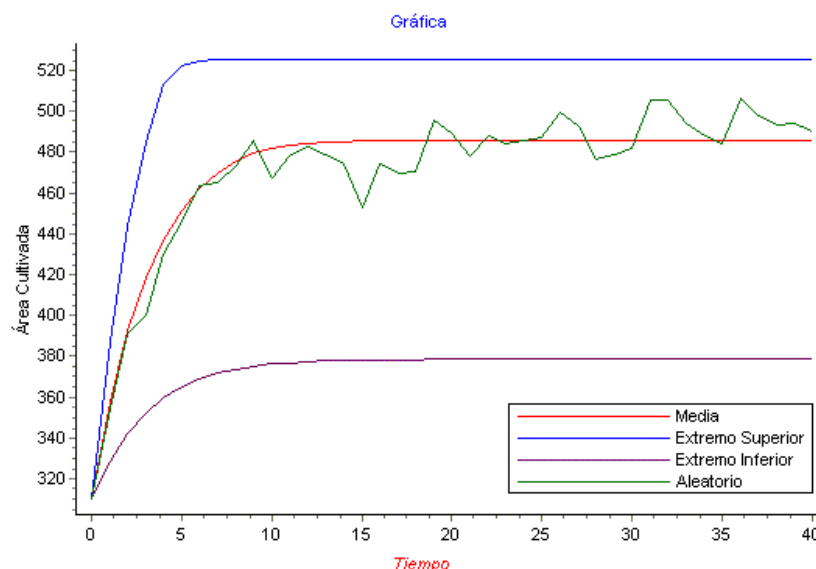


Figura 95. Comportamientos del Área Cultivada sobre variaciones en la Demanda

Se evaluaron los extremos para tratar de cubrir todo el espectro de posibilidades, aunque estadísticamente es poco probable que una función normal se mantenga durante un largo periodo de tiempo en valores extremos. Los resultados muestran una relativa baja sensibilidad a las variaciones de la demanda con respecto al promedio, haciéndose más evidentes a medida que el valor constante de éste se reduce, es decir, presenta mayores cambios cuando la demanda es menor. Esto se hace más sencillo de explicar observando la Figura 96 que corresponde con el comportamiento de la proporción a cultivar que se ve duramente afectado por una reducción sostenida en la demanda de narcóticos ya que la misma es lo suficientemente baja para cambiar de categoría dentro de la percepción del cultivador que es un criterio fundamental a la hora de decidir la proporción de la misma que se desea cubrir.

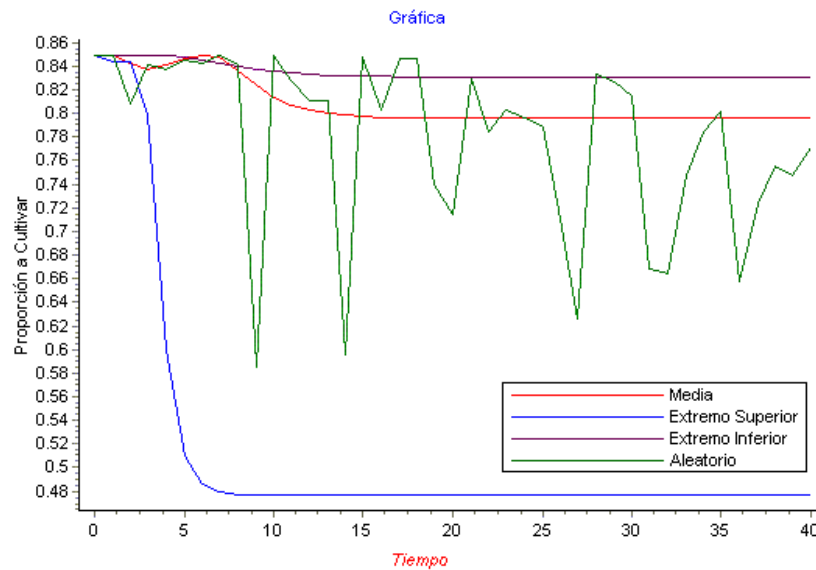


Figura 96. Comportamiento de la Proporción a Cultivar sobre variaciones en la Demanda

22.7.1 Variación del Área Cultivada Inicial

En el escenario “Por Defecto” el “Área Cultivada” inicial para el modelo es de 310 Hectáreas de Coca; la variación que se propone para observar la sensibilidad del comportamiento exhibido por el modelo es de 90 Hectáreas de Coca por encima o por debajo, lo que da origen a dos escenarios: el escenario “Area Cultivada 220” y el escenario “Area Cultivada 400” que corresponden con una reducción e incremento de cerca del 29% respectivamente.

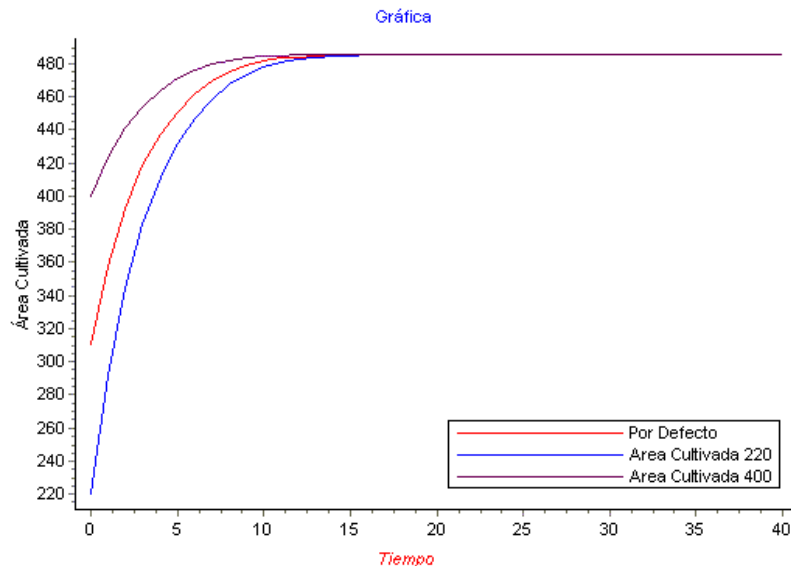


Figura 97. Comportamiento del Área Cultivada de Coca sobre variaciones en la cantidad de Área Cultivada con Coca inicialmente

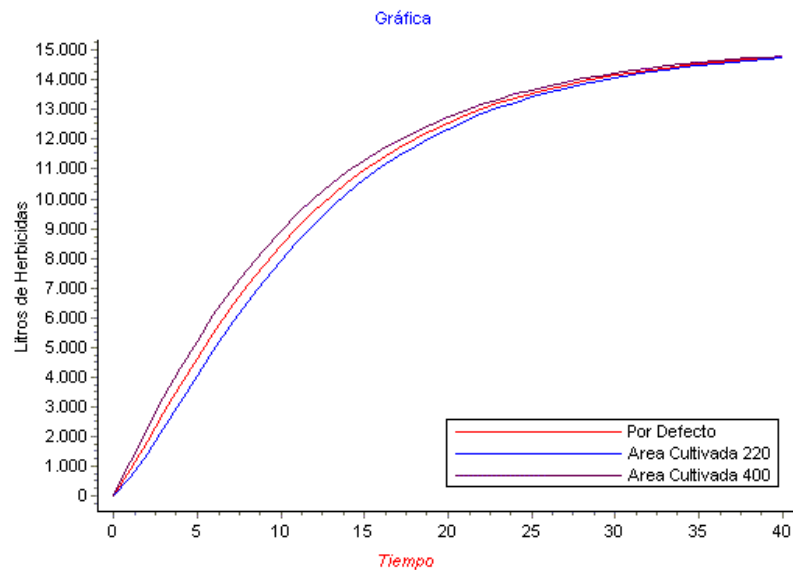


Figura 98. Comportamiento de la acumulación de Herbicidas sobre variaciones en la cantidad de Área Cultivada con Coca inicialmente

A pesar de que las variaciones de la cantidad inicial de hectáreas cultivadas son bastante grandes, los comportamientos resultantes se mantienen convergentes y presentan las mismas tendencias de comportamiento. Esto muestra poca sensibilidad del modelo frente a las variaciones propuestas ya que el cambio en las hectáreas cultivadas únicamente provoca un aumento o disminución de la pendiente con la que el nivel de Área Cultivada llega al equilibrio, y en menor proporción el tiempo en el que lo hace; esto ocasiona que ante mayor o menor generación de cultivos se tenga un cambio en ese mismo sentido para el vertimiento de Herbicidas en el medio ambiente, siendo este último el que presenta trayectorias menos variables.

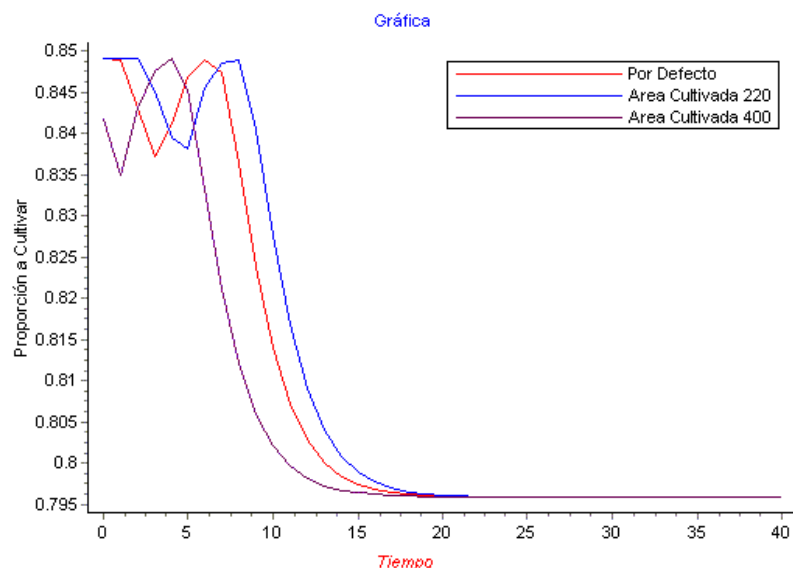


Figura 99. Comportamiento de la Proporción a Cultivar sobre variaciones en la cantidad de Área Cultivada con Coca inicialmente

Proporcionalmente con las necesidades de cultivo que se presentan por las variaciones de pendiente, se puede observar en la Figura 99 que los cambios en la proporción a cultivar se desplazan sobre el eje horizontal. Esto para responder con un aumento del ritmo de generación de cultivos ante una brecha favorable entre oferta y demanda de clorhidrato de cocaína en el caso de un área cultivada inicial baja, y con una reducción en la labor agrícola para el escenario con una oferta mayor al inicio de la simulación.

22.8 EVALUACIÓN

La etapa de evaluación requiere la comparación entre los datos reales generados por la situación y los proporcionados por el modelo construido. Para este caso en particular los datos que se tienen a disposición para tal fin son los proporcionados por la Dirección Nacional de Estupeficientes⁵², lamentablemente los estudios que ha realizado esta organización sobre áreas específicas del territorio nacional son bastante escasos y usualmente consideran las áreas cultivadas de departamentos enteros, con algunas excepciones de estudios realizados a petición de entidades sobre diferentes municipios. El área que comprende la Sierra Nevada de Santa Marta está distribuida irregularmente entre tres departamentos y desafortunadamente no existen estudios específicos sobre la zona. Dada la falta de cualquier dato para la comparación directa, el único tipo de evaluación que se puede hacer sobre el modelo consiste en valorar las hipótesis lógicas que se desprenden del fenómeno y comprobar que el comportamiento del modelo corresponde con la manera general en que la situación se manifiesta en dicha región,

⁵² Policía Nacional – Dirección Antinarcoóticos y Dirección Nacional de Estupeficientes. Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos – SIMCI. Procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales LANDSAT y SPOT.

encontrando que el crecimiento del área cultivada y la generación de cultivos están acordes, en términos cualitativos, con los comportamientos conocidos para este fenómeno.

Esto no impidió que con los pocos datos que se poseen sobre el área cultivada de Coca en los tres departamentos que contienen a la Sierra Nevada (Guajira, Cesar y Magdalena) correspondientes a los años 1999, 2000 y 2001 se tratara de realizar algún tipo de comparación directa. Sin embargo, este trabajo no dio frutos debido a la falta de zonificación de la información lo que impedía definir si las reducciones o aumentos que se presentaban en cada periodo correspondían a cultivos cercanos a la Sierra o a los encontrados en otros lugares de los mismos departamentos.

22.9 UTILIZACIÓN

De acuerdo a los propósitos concernientes a este proyecto en particular la utilización del modelo se lleva a cabo en el ejercicio mismo del proceso de modelado al permitir explorar la aplicación de la propuesta de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa frente al estudio de un fenómeno de carácter ambiental que, hasta donde se conoce, no ha sido abordado por medio de la metodología clásica para la construcción de modelos dinámico-sistémicos.

Aunque los objetivos que se trazaron para el modelo se ven plenamente satisfechos con la construcción del mismo, se pueden obtener interesantes conclusiones sobre la situación de estudio al analizar los comportamientos que arroja la simulación. De esta manera se puede observar que el impacto ecológico de los cultivos ilícitos en la región, a pesar de que se estabiliza el área cultivada y por tanto la cantidad de contaminantes acumulados en el medio ambiente; este punto de equilibrio es demasiado alto para los niveles que el ser humano puede tolerar, ni hablar de los que una zona de tanta importancia ecológica, por su alta biodiversidad, puede permitirse.

Adicionalmente, el modelo es lo suficientemente maleable para que los grupos o individuos interesados realicen un estudio sobre las variaciones que se presentan al realizar modificaciones sobre los parámetros iniciales como la demanda del alcaloide y la efectividad de la erradicación, o sobre políticas y reglas como la presión del estado o campañas educativas a los habitantes de la región que alterarían el modo de pensar de los individuos e incluso el peso que se asignaría a cada variable a la hora de tomar la decisión de cultivar y la proporción de la demanda que desean cubrir.

23. CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores se hizo énfasis en los cambios al proceso de modelado provocados al emplear las propuestas de integración tratadas hasta el momento. Se identificaron algunas etapas en las que debía serse especialmente cuidadoso ya que el desarrollo de las mismas se hizo más complejo, y otras cuya ejecución permaneció prácticamente sin modificaciones. Para este capítulo se decidió poner especial atención en las herramientas que se están utilizando para hacer posible las propuestas de integración realizadas y trabajar en la consecución a futuro, ya sea de una herramienta independiente que facilite la integración, o de un módulo para el software de apoyo al modelado desarrollado por el grupo de investigación SIMON, Evolución. Para este propósito se propondrán una serie de requisitos de software y del sistema fruto del trabajo realizado hasta el momento y de la manipulación de varias herramientas ya existentes.

En las conclusiones del primer capítulo se presentó una metodología para la construcción de modelos de Dinámica de Sistemas que se apoyan en la lógica difusa para aumentar su rango de representación de tal manera que se identificaron cambios al proceso de modelado clásico haciendo un especial énfasis en el trabajo adicional que se debe realizar para construcción de sistemas de inferencia difusos, ubicando cada uno de estos fragmentos de su construcción en cada una de las etapas que constituyen dicho proceso y que fueron previamente identificadas dentro de ese mismo capítulo. En el segundo capítulo al construir el modelo correspondiente, se optó por mostrar detalladamente cómo las etapas del proceso de modelado son influenciadas y modificadas por la nueva perspectiva de integración fuerte entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa al recalcar en cada una de las etapas los cambios a que se da lugar. Para el presente capítulo se buscó poner en práctica el proceso de modelado con las modificaciones identificadas en la segunda parte de esta investigación, para lo cual en el desarrollo de cada etapa del proceso de construcción del modelo, se consolidaron los aportes de la integración con los de la Dinámica de Sistemas convencional sin diferenciar los unos de los otros y abordando la situación de estudio directamente desde la integración como una forma de representación en sí misma.

La construcción del modelo para la situación de estudio presentada en este capítulo se llevó a cabo tomando como base un primer prototipo realizado por otro equipo de trabajo, el cual a su vez empleó resultados parciales obtenidos durante el desarrollo de las primeras etapas de la presente investigación. De esta manera se pudo obtener una evolución de la propuesta de estudio inicial sobre el fenómeno, en la que se buscaban dos cosas: por un lado el estudio de una situación sobre la que no se tuviera conocimiento de propuestas de modelado con Dinámica de Sistemas clásica, y por otro, el complemento y depuración de lo observado en cuanto al proceso de modelado ante la aplicación de la propuesta integradora “fuerte”.

El uso de sistemas de inferencia difusa permitió una representación intuitiva de la forma en la que los sembradores de Coca toman decisiones concernientes a la producción de cultivos, permitieron el uso de lenguaje natural en lugar de valores numéricos para la realización de cuestionarios que los campesinos directamente involucrados están en capacidad de responder. Además se facilitó la creación de un sistema que evaluara los

diferentes criterios de decisión de manera similar a como lo hace un ser humano en la realidad formando parejas de variables de elección, según la relevancia que tengan el mismo.

La principal dificultad que se ha identificado en el uso de los sistemas de inferencia difusa como parte de los modelos de Dinámica de Sistemas se encuentra en la etapa de análisis de sensibilidad, labor que se complica de manera nada despreciable, especialmente si hay varios FIS en la representación del fenómeno. La propuesta que se ha realizado para la ejecución del análisis de sensibilidad en modelos que empleen la integración fuerte, consiste en modificar los parámetros de las funciones de membresía que componen los sistemas de inferencia difusa, sin embargo estas variaciones en la forma de las funciones de membresía pueden hacerse sobre: una función de membresía de una variable, varias funciones de membresía de una variable, una función de membresía de varias variables, o varias funciones de membresía de varias variables, lo que generaría un análisis de sensibilidad exhaustivo muy dispendioso de realizar.

La tercera situación seleccionada fue de un marcado énfasis ambiental y ecológico; con esto se completan ya tres tipos diferentes de fenómenos en los que se ha podido utilizar satisfactoriamente alguna de las perspectivas de integración. El primero, un modelo económico-financiero en el que las organizaciones e individuos que participan toman decisiones con base a la información disponible para manipular inventarios y realizar pedidos, buscando mantener rentable el negocio sin perder clientela frente a los competidores; el segundo, un fenómeno social con un pequeño matiz económico que trata la problemática de la piratería musical desde una perspectiva tan alejada del negocio de la venta legal de música como fue posible, analizando las razones que empujan o invitan a los desempleados a ingresar en esta actividad delictiva, y las consecuencias negativas que los afectan a ellos mismos y a las personas que laboran en el mercado legal.

Hablando sobre el tercer fenómeno, se parte de su carácter marcadamente ambiental y de la intervención del hombre en la zona, ya que por regla general los diferentes ecosistemas libres de la intervención humana se encuentran en un equilibrio dinámico inherente, pero la intervención de los seres humanos que buscan un mecanismo para obtener o mejorar sus ingresos ya sea por medio de la tala de madera, o los cultivos lícitos o ilícitos, rompen este equilibrio y generan situaciones en las que la nueva interacción debe ajustarse para encontrar un nuevo balance. La contaminación es una medida de los agentes dañinos para el hombre y para otras especies, que contempla sustancias que usualmente el mismo ser humano introduce en los ecosistemas. El estudio de los niveles de estos contaminantes son muy propios de la presencia del hombre al ser su generador y muchas veces su principal afectado, es muy difícil de concebir un análisis ambiental en el que el ser humano no intervenga ya sea como actor o como intérprete.

Se empieza a vislumbrar una característica común a los modelos que han sido tratados por medio de las diferentes propuestas de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa, ésta es la presencia del ser humano en todas las situaciones o fenómenos analizados. Aún es pronto para realizar una afirmación contundente en este sentido, pues se requiere de la construcción de una mayor cantidad de modelos o la aparición de, por así llamarlos, contraejemplos en las que sea viable la construcción utilizando algún tipo de integración sin que el ser humano esté involucrado en el fenómeno directa o indirectamente.

En la práctica del enfoque integrador entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa propuesto bajo el distintivo de “integración fuerte” se busca que los sistemas de inferencia difusa se encuentren inmersos dentro de los modelos de Dinámica de Sistemas y se comporten como un elemento más de los mismos ya que desde las primeras etapas del proceso de modelado se han considerado aspectos de la situación a estudiar como representables por medio de sistemas de inferencia difusa, quedando de esta manera incluidos los FIS dentro del lenguaje de representación de la Dinámica de Sistemas. También se hace necesario que la operación de los FIS se haga en tiempo real con el fin de poder responder adecuadamente ante cualquier comportamiento en el modelo e interactuar con los demás elementos en un espacio continuo de valores sin ser necesario predefinir todas las posibles combinaciones de entradas y salidas para el sistema de inferencia, así como la precisión en los valores de los mismos. Para lograr este tipo de construcciones a lo largo de este trabajo se ha estado empleando un software especializado en la construcción de sistemas de inferencia difusa y se ha recurrido a librerías de enlace dinámico para la inclusión de los FIS dentro de los modelos. Esto permite concluir, erradamente, que por medio del desarrollo de una herramienta especializada que facilite la creación de los sistemas de inferencia difusa y que genere, ya sea el código en Delphi para la creación del archivo .dll o directamente la librería de enlace dinámico, se puede realizar satisfactoriamente este tipo de integración.

Si se creara dicha herramienta se partiría de una construcción de software inadecuada, ya que ésta sería construida con base a su interacción con otro programa que pide la información de una cierta manera y a medida que la primera se logra especializar para facilitar la interfase pierde funcionalidades lo que se considera una concepción errada de diseño, además al tratarse de una adición a las posibilidades de representación de la Dinámica de Sistemas, se concibe a los sistemas de inferencia difusa como un tipo más de elemento que puede aparecer en los diagramas de Flujo-Nivel, por lo tanto es necesario disponer de una caracterización para los mismos dentro de la herramienta de apoyo al modelado empleada por el grupo de investigación SIMON.

De esta manera se hace preferible disponer de un módulo más que una herramienta software externa, ya que cuando se recurre a este tipo de ayudas, se impone una carga adicional sobre el trabajo de modelado al obligar a llevar a cabo procedimientos de exportación e inclusión dentro de la herramienta de apoyo al modelado de los sistemas de inferencia, dificultándose de esta manera efectuar modificaciones y ajustes necesarios a los FIS durante el proceso de modelado, lo que requiere conocimientos de programación que no siempre poseen los modeladores de Dinámica de Sistemas, y de manejo de software especial el cual a su vez necesita de la adquisición de sus respectivas licencias las cuales suelen ser bastante costosas especialmente si la única utilidad para la cual se adquieren es realizar este proceso de inclusión. Adicionalmente las etapas de calibrado y análisis de sensibilidad del proceso de modelado se ven afectadas negativamente por la cantidad de procedimientos auxiliares a los que hay que recurrir cuando se emplea un paquete externo de creación de sistemas de inferencia difusa.

23.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS

Gracias a la experiencia adquirida a lo largo del desarrollo del presente trabajo de investigación en la construcción de modelos con las diferentes perspectivas de integración y en la manipulación de las herramientas software requeridas para cada una de ellas, se puede realizar una primera especificación de requisitos que serían ideales para tener en cuenta a la hora de construir un módulo para el software de apoyo al modelado Evolución en su versión más reciente 3.5, que facilite la labor de incluir Sistemas de Inferencia Difusa en las construcciones de ecuaciones diferenciales lineales y no-lineales que componen los modelos de Dinámica de Sistemas.

Dicha especificación de requisitos puede ser aprovechada por un grupo de estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la UIS, miembros del grupo SIMON al que se les ha encargado la tarea, por medio de un proyecto de grado, de construir el módulo anteriormente mencionado. El trabajo realizado hasta el momento les sirve pues como justificación de su proyecto y se espera que en cierta medida ayude a definir y delimitar el trabajo que ellos han de realizar.

23.1.1 Requisitos para el Usuario

- Poder crear dentro de los diagramas de Flujo-Nivel de Evolución un elemento que corresponda con un sistema de inferencia difusa.
- Poseer un símbolo propio para los FIS que los haga fácilmente distinguibles de otros elementos de Evolución.
- Ofrecer una descripción completa que incluya definición, ecuación y elementos relacionados.
- Debe trabajar como una función con n parámetros y que esté en capacidad de entregar más de una salida.
- Permitir la edición de tres partes del FIS que serían: el universo de entrada, el universo de salida y el motor de inferencia con su conjunto de reglas.
 - Especificaciones para el universo de entrada:
 - Se deben poder agregar, modificar y eliminar variables de entrada (definir y redefinir rangos, nombres, tipos y parámetros de los difusores).
 - Incluir, modificar y eliminar funciones de membresía para cada una de las variables de entrada.
 - Definir el tipo de las funciones de membresía de manera general por medio de la selección de la representación de la ecuación que la describe. Las funciones entre las que se debe poder seleccionar son, pero no están limitadas a: Tipo Z, Campana Gaussiana, Tipo S, Tipo L, Triángulo, Pi, Pi-Campana, Singleton y Tipo Gamma.
 - Incluir de manera precisa los parámetros de las funciones.

- Manipular de manera gráfica la forma de las funciones, si así se desea.
- Especificaciones para el universo de salida:
 - Se deben poder agregar, modificar y eliminar variables de salida (definir y redefinir rangos, nombres, tipos y parámetros de los congresores).
 - Incluir, modificar y eliminar funciones de membresía para cada una de las variables de salida.
 - Definir el tipo de las funciones de membresía de manera general por medio de la selección de la representación de la ecuación que la describe. Las funciones entre las que se debe poder seleccionar son, pero no están limitadas a: Tipo Z, Campana Gaussiana, Tipo S, Tipo L, Triángulo, Pi, Pi-Campana, Singleton y Tipo Gamma.
 - Incluir de manera precisa los parámetros de las funciones.
 - Manipular de manera gráfica la forma de las funciones, si así se desea.
- Especificaciones para el motor de inferencia con su conjunto de reglas:
 - Determinar el sistema de inferencia como Mamdani o Sugeno.
 - Poder determinar diferentes métodos para las operaciones lógicas.
 - Agregar y eliminar reglas
 - Asignar pesos a cada una de las reglas
 - Asignar antecedentes y consecuentes según las funciones de membresía definidas para las entradas y salidas.
 - Permitir definir operadores lógicos como negaciones, conjunciones y disyunciones para los antecedentes y consecuentes de cada una de las reglas.
- Ofrecer facilidades para realizar cálculos paso a paso sobre valores evaluados por el FIS.
- Permitir graficar las curvas y superficies de transferencia a partir de la evaluación de todo el espectro del sistema de inferencia.
- Permitir la evaluación rápida de valores de entrada definidos por el usuario.
- Agregar la ayuda especializada de este elemento a la ayuda que ofrece el software de Evolución.

23.1.2 Requisitos para el Sistema

Debido a que se propone un módulo para Evolución, es deseable que los requisitos de sistema para este nuevo componente no provoquen que los requisitos del software en general sean muy superiores a los de la versión original de la herramienta. Sin embargo esto tal vez no sea posible ya que la cantidad de cálculos generados por un sistema de inferencia difusa no son pocos, ahora se debe prever que un solo modelo de Dinámica de Sistemas puede incluir varios de estos elementos.

- Sistema Operativo Windows 95 o superior
- Procesador Pentium II de 300 Mhz
- 64 MB de RAM
- Espacio libre en Disco Duro de 10 MB
- Teclado y Ratón

24. BIBLIOGRAFÍA

Arcila, N.O., Rodríguez, S. A., Estudio de Caso de la Producción de Coca en el Departamento del Guaviare. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Área de Asentamientos Humanos, Santa Fe de Bogotá, Septiembre de 1997.

BBC World Service. BBC News. "Manipulación Genética de Cultivos Ilícitos". [en línea]. Dirección URL: < <http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/news/default.stm> > [Última Consulta: Diciembre 4 de 2004].

Diccionario enciclopédico lexis 2, volumen 13. Bibliograf S. A, 1976, Editorial Printer latinoamericana Ltda.

Dirección Nacional de estupefacientes. Hernando Bernal Contreras y Martha Paredes Rosero. "Impacto Ambiental Ocasionado por las Sustancias Químicas, los Cultivos Ilícitos Y Las Actividades Conexas". [en línea]. Dirección URL: < <http://www.dnecolombia.gov.co/doc/Publicaciones/estrategica/problematika.pdf> > [Última Consulta: Diciembre 12 de 2004].

Fester, Phillips W. Introducción a la Ciencia Ambiental. El Ateneo, Buenos Aires, 1975.

Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente de la Universidad de Buenos Aires (GEPAMA-UBA). Silvia Diana Matteucci y Jorge Morello. "Aspectos Ecológicos del Cultivo de la Coca". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.gepama.com.ar/matteucci/downloads/Coca.pdf> > [Última Consulta: Diciembre 5 de 2004].

Masters, Gilbert M. Introduction to Environmental Engineering and Science. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 1998.

Policía Nacional – Dirección Antinarcóticos y Dirección Nacional de Estupefacientes. Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos – SIMCI. Procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales LANDSAT y SPOT.

Policía Nacional – Dirección Antinarcóticos y Dirección Nacional de Estupefacientes. Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos – SIMCI. Procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales LANDSAT y SPOT. "Cultivos Ilícitos y el Programa de Erradicación". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.dnecolombia.gov.co/doc/Publicaciones/estrategica/libblanco.pdf>> [Última Consulta: Diciembre 3 de 2004].

Punks Unidos, Argentina. Punks Unidos. "Coca". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.punksunidos.com.ar/salud/coca.htm>> [Última Consulta: Diciembre 5 de 2004].

Sindicado Profesional de Policía Uniformada, España. Sindicato Profesional de Policía Uniformada. "Cocaína". [en línea]. Dirección URL: <

<http://www.sppu.com/noticias/especiales/drogas/cocaina.htm>> [Última Consulta: Diciembre 4 de 2004].

Universidad de los Andes, Colombia. R. E. Ramos C., J. P. Ramos B. "Evaluación ambiental del impacto de cultivos de coca y el procesamiento de la hoja de coca". [en línea]. Dirección URL: <http://www.cultivosilicitoscolombia.gov.co/documentos/eval_ambiental.pdf> [Última Consulta: Diciembre 6 de 2004].

Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Seccional Bogotá. Oscar G. Duarte. "Software Desarrollado". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.ing.unal.edu.co/~ogduarte/softwareDetallado.htm>> [Última Consulta: 10 May 2005]

URIBE, S., Proyecto sobre rendimientos de las plantaciones de coca en Colombia., Informe de progreso #5. Octubre 25 de 1999.

TERCERA ITERACIÓN (CAPÍTULO 4)

25. INTRODUCCIÓN

Ya se han dejado atrás tres etapas de desarrollo de la investigación en las que se ha tratado, por medio del mejoramiento continuo, obtener respuestas satisfactorias a las inquietudes planteadas por la definición del problema las cuales fueron incluidas en el objetivo general y específicos de este proyecto. Aunque en todas las etapas se abordaron de alguna manera todos los objetivos, evidentemente en cada una de ellas se presentó con un enfoque particular. Esta cuarta etapa, y tercera iteración, no es diferente. Si se analiza cada uno de los objetivos específicos propuestos en el plan de trabajo y retomados en este documento, se puede observar que hasta este punto se ha respondido adecuadamente a las metas trazadas para el primero que habla sobre el análisis crítico y la depuración del proceso, para el cuarto que trata sobre los cambios al proceso de modelado que se presentan debido a la integración, y para el quinto que pide proponer una especificación de requerimientos para el mejoramiento del software de apoyo al modelado existente.

Con la creación de un cuarto modelo que emplee la propuesta de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa se pretende repasar y complementar, si así se hiciera necesario, las respuestas dadas a los objetivos anteriormente expuestos, y además complementar las soluciones parciales que a través de las conclusiones de capítulos anteriores se han presentado a los objetivos específicos dos y tres, que hablan acerca de la determinación de aplicabilidad de los lineamientos metodológicos y procedimentales generados por la integración así como la tipología de los fenómenos abordables desde la misma.

De manera particular cabe destacar que durante las conclusiones del capítulo anterior se presentó la manifestación de una tendencia común entre todos los modelos tratados hasta el momento con alguna de las propuestas de integración. La situación de estudio seleccionada para la construcción del modelo de esta etapa fue fuertemente influenciada por la necesidad de buscar un contraejemplo que confirme la sospecha existente, o por el contrario, abra los horizontes de aplicación de la metodología al demostrar que las barreras creadas para limitar su utilización son únicamente imaginarias.

Por último, cabe mencionar que se ha modificado un poco la estructura interna de este fragmento del documento, dejando a un lado el marco teórico que caracterizaba el inicio del desarrollo de capítulos anteriores; la principal razón es el agotamiento de los recursos que para este fin se disponen, y forzar la creación de dicha sección generaría redundancia que es muy molesta para el lector. Sin embargo, no se puede ni ignorar, ni eliminar la teoría correspondiente al fenómeno a modelar, puesto que se carecería de bases teóricas para la correcta comprensión del trabajo que sobre la situación se lleva a cabo posteriormente.

26. INFLUENCIA DE LA NUTRICIÓN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE UN NIÑO

Resumiendo los modelos creados hasta el momento se tiene una situación de marcado tema económico financiero como lo es el funcionamiento interno de un negocio de importación y distribución de accesorios para vehículos y el análisis realizado sobre un producto en particular. Luego se construyó un modelo en el que se resaltó el carácter social de una problemática muy común para la ciudadanía colombiana la cual es la venta de material discográfico ilegal como herramienta para subsistir a la difícil situación de empleo; el modelo socio-económico resultante se aleja de la perspectiva del negocio que estudian las compañías afectadas y el mismo estado como recaudador de impuestos. Por último, la tercera situación se centra en el problema ambiental generado por la aparición de cultivos ilícitos en zonas clasificadas como reservas naturales específicamente, el parque natural Sierra Nevada de Santa Marta. Hasta el momento todos estos modelos poseen un denominador común, que es la presencia del ser humano representado por individuos, organizaciones o sociedades que participa como intérprete y actor en el sistema.

Antes de hacer una afirmación categórica sobre el alcance de cualquiera de las formas de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa basándose en los fenómenos estudiados y modelos construidos hasta el momento, es necesario buscar, ya sea una reafirmación de la presencia permanente del ser humano en los modelos, o un contraejemplo que muestre que aún sin la participación del factor humano⁵³ en la situación es válida la creación de modelos con por lo menos una de las perspectivas de integración.

La selección del fenómeno que se va a modelar en este capítulo del trabajo debe responder a las inquietudes planteadas, al incluir una situación de estudio con características que permitan la exploración del involucramiento del factor humano en la situación, lo que puede ayudar a definir el tipo de realidades abordables con los lineamientos presentados por este proyecto. Esta definición temprana y limitante para la selección del fenómeno también ayuda a definir un propósito anticipado para el mismo que consiste en la evaluación de la posibilidad de integración que se emplee además de un análisis descriptivo del fenómeno.

La situación seleccionada corresponde con una extraída del área biológica y consiste no en una problemática como en casos anteriores, sino en un hecho cotidiano de gran interés para los estudiosos del desarrollo de los organismos, el crecimiento fisiológico de los niños, tema analizado por pediatras, nutricionistas e incluso algunas organizaciones y gobiernos preocupados por la salud pública. Este fenómeno tiene la particularidad de incluir al ser humano en un papel de observador mas no de actor directo, ya que el estudio de la misma implica la consideración de procesos internos al individuo y sobre los cuales el mismo no posee ninguna posibilidad de intervención directa.

53 Entiéndase factor humano, para propósitos de este documento como la presencia del ser humano representado por individuos, organizaciones o sociedades que participa como intérprete y actor en el sistema.

26.1 CARACTERÍSTICAS DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO FÍSICO

El crecimiento y desarrollo de un individuo es un fenómeno continuo que se inicia en el momento de la concepción y culmina al final de la pubertad, período durante el cuál se alcanza la madurez en su aspecto físico. Esta transformación involucra cambios en el tamaño, organización espacial y diferenciación funcional de tejidos y órganos. El aumento en el tamaño y masa corporal es el resultado de la multiplicación e hiperplasia celular, proceso conocido como crecimiento.

Los procesos de crecimiento y desarrollo son fenómenos simultáneos e interdependientes. Ambos procesos tienen características comunes a todos los individuos de la misma especie, lo que los hace predecibles, sin embargo presentan amplias diferencias entre los sujetos, dadas por el carácter individual del patrón de crecimiento y desarrollo. Este patrón típico emerge de la interacción de factores genéticos y ambientales, que establecen, por una parte, el potencial del crecimiento y por otra, la magnitud en que este potencial se expresa. La información genética establece en forma muy precisa la secuencia y los tiempos en que estos procesos deben ocurrir, de modo que si algún suceso perjudicial actúa en estos períodos, impidiendo que un evento ocurra en los plazos establecidos, puede producir un trastorno definitivo del crecimiento y/o desarrollo. Estos períodos se los denomina períodos críticos.

El patrimonio hereditario le procura a cada individuo un patrón de crecimiento y desarrollo específico, el cual puede ser modificado por factores ambientales. En relación a la talla, los efectos genéticos se ven claramente ejemplificados al observar el patrón de crecimiento de los diferentes grupos étnicos, encontrándose el ejemplo más extremo al comparar la diferencia marcada de talla que existe entre individuos de origen nórdico y los pigmeos de Nueva Guinea. Las diferencias familiares son tan evidentes como las diferencias que existen entre las razas. Estudio de los coeficientes de correlación en familias, sugiere que los factores determinantes del crecimiento provienen de ambos progenitores y que cada uno de ellos tiene una influencia teórica de un 50% en la talla de los hijos. Estudios clínicos y de genética experimental, evidencian que la determinación de la talla es poligénica, participando genes ubicados tanto en los autosomas como en los cromosomas sexuales. La herencia no sólo influye en la talla final y proporciones corporales de un individuo, sino también en diversos procesos dinámicos madurativos, tales como secuencia de maduración ósea y dentaria, la velocidad de crecimiento, la edad de menarquia, etc.

La influencia ambiental está determinada por diversos factores del ambiente físico, psicosocial y sociocultural de los individuos, siendo particularmente importantes el nivel de educación e ingreso familiar, así como la composición y estabilidad de la familia entre otros. La interacción de todos ellos, crea las condiciones de riesgo para contraer enfermedad. Dentro de los factores ambientales, la nutrición y las enfermedades infectocontagiosas son particularmente importantes en las comunidades en desarrollo. Esto hace que la evaluación del crecimiento y desarrollo sea un buen indicador de las condiciones de salud del individuo o grupo poblacional evaluado. Un buen ejemplo de la influencia de los factores ambientales sobre el crecimiento, está representado por la menor estatura que alcanzan adultos provenientes de niveles socioeconómicos bajos, en relación a los de estratos con mejores ingresos, dentro de una misma población.

26.1.1 Papel de las hormonas en el crecimiento y desarrollo

Las hormonas son ejecutantes del programa genético y juegan un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo físico, especialmente a través de su acción sobre el tejido óseo y cartilaginoso. El papel de las distintas hormonas sobre el crecimiento es diferente según se trate de crecimiento pre- o postnatal. En el crecimiento prenatal influyen preponderantemente insulina, somatomedinas, lactógeno placentario y numerosos factores locales de crecimiento tisular. En cambio, el crecimiento postnatal es regulado principalmente por hormona de crecimiento, somatomedinas y hormonas tiroideas, interviniendo además la hormona paratiroidea y la vitamina D en el desarrollo esquelético. Los esteroides sexuales tienen especial importancia en el crecimiento puberal.

26.1.2 Velocidad de crecimiento

Es definida como el incremento de talla en un determinado período de tiempo y tiene variaciones significativas según edad, sexo y estaciones del año.

1. Según la edad se pueden distinguir tres períodos:
 - a. un período de crecimiento rápido, que comprende los cuatro primeros años de vida, caracterizado por una disminución progresiva de la velocidad desde 25 cm. el primer año a 12 cm. el segundo, 10 cm. el tercero y 8 cm. el cuarto año.
 - b. un período de crecimiento más lento y sostenido, desde los cuatro años hasta el inicio puberal, con una velocidad de crecimiento que varía entre 4,5 - 7,0 cm./año.
 - c. un nuevo período rápido durante el desarrollo puberal, en que la velocidad de crecimiento máxima puede llegar hasta 12 cm./año en el varón y 9 cm./año en la mujer.
2. Las diferencias relacionadas con el sexo, son evidentes en el momento de nacer: los varones tienen talla y peso mayores que las niñas. Sin embargo, esta diferencia disminuye después progresivamente y casi no se aprecia al año de edad. Las variaciones más notables en cuanto a sexo son las que ocurren durante la pubertad, y tienen relación tanto con el momento del inicio del incremento en talla como con su magnitud y duración.
3. Diferencias estacionales: el máximo crecimiento ocurre durante la primavera y el verano, alcanzando en estos períodos velocidades hasta 2,5 veces mayores que en otoño e invierno. Hay niños que pueden tener incrementos imperceptibles durante algunos meses del año, característica que debe considerarse al interpretar una velocidad de crecimiento.

La velocidad de crecimiento se estima calculando el incremento de la talla entre dos medidas sucesivas. Debido a que la velocidad de crecimiento es mayor durante los primeros cuatro años de vida, en este período se puede hacer el diagnóstico de desaceleración del crecimiento mediante la observación de algunos meses. En cambio, en edades posteriores debe evaluarse durante periodos más largos. La constatación de velocidad de crecimiento normal, hace poco probable una patología activa, incluso en pacientes con talla entre menos 2 a menos 3 desviaciones estándar.

26.1.3 Evaluación de la carga genética

Considerando que el factor hereditario es fundamental en cuanto a la determinación de la talla final, se han establecido algunas fórmulas que permiten correlacionar cuán adecuado es el canal de crecimiento de un niño en relación al promedio de talla de sus padres. Los

padres deben ser medidos en presencia del examinador, ya que habitualmente sobreestiman sus tallas.

Si es niña: $[(\text{talla paterna} - 13) + \text{talla materna}] : 2$

Si es niño: $[(\text{talla materna} + 13) + \text{talla paterna}] : 2$

El resultado de estas fórmulas se lleva a la curva de talla/edad al nivel de los 18 años y se ve si el canal de crecimiento del niño corresponde al que se ha calculado con los datos de sus padres. Se acepta que puede haber una diferencia de ± 7.5 cm. en los varones y ± 6 cm. en las niñas, entre el resultado de la fórmula y el canal de crecimiento que lleva el niño. Esto es válido en la medida que los padres hayan sido sanos, y crecido en un ambiente adecuado durante su niñez, de tal manera que la carga genética de los padres haya podido expresarse apropiadamente.

Por otra parte, los niños pequeños con talla adecuada a su carga genética, con padres patológicamente pequeños (-2 Desviaciones Estándar), deben ser estudiados puesto que los padres pueden ser portadores de una patología que esté afectando también al hijo.

26.1.4 Evaluación del crecimiento y desarrollo

Los índices comúnmente utilizados para evaluar el crecimiento y desarrollo físico son: peso, talla y perímetro craneal. Estos índices son fáciles de estandarizar y tienen suficiente sensibilidad para detectar alteraciones del proceso. Se recomienda, cuando ello es posible, utilizar simultáneamente otros índices, tales como circunferencia torácica y braquial, grosor de pliegues cutáneos (tricipital, bicipital, subescapular, suprailíaco) y segmentos corporales. El perímetro braquial, junto con la medición de pliegues cutáneos nos permite una evaluación más precisa del estado nutricional y de la composición corporal. La medición de segmentos corporales debe realizarse siempre que se evalúe un paciente con talla baja.

La Organización Mundial de la Salud con el objeto de unificar criterios de evaluación del crecimiento, y después de haber realizado un acabado análisis de todos los patrones existentes a nivel mundial, recomienda el uso de las curvas del National Center for Health Statistics (NCHS), que se muestran en la Figura 100.

2 a 20 años: Niños

Nombre _____

Percentiles de Estatura por edad y Peso por edad

de Archivo _____

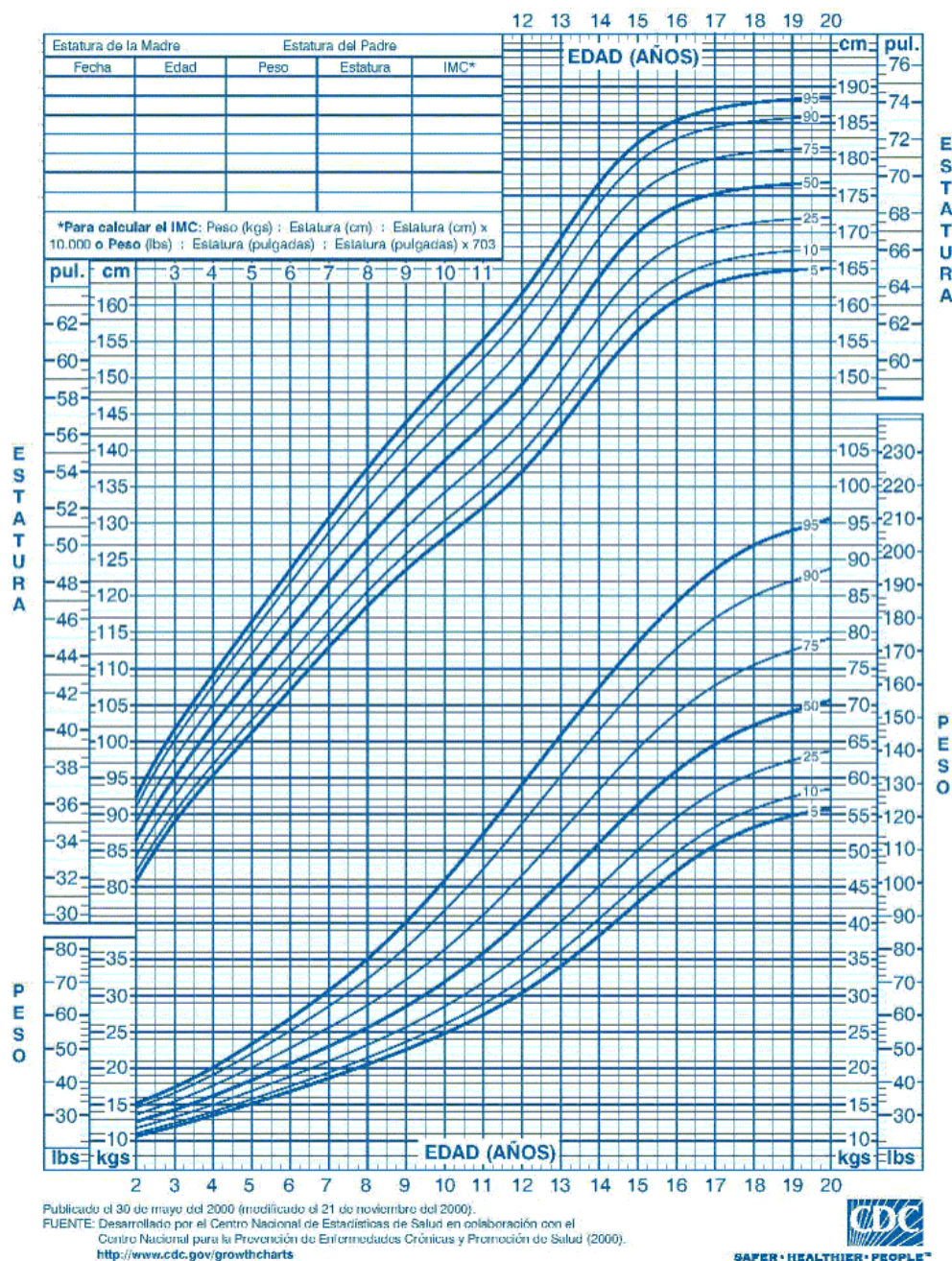


Figura 100. Tablas de crecimiento y desarrollo para niños entre los 2 y los 20 años (Fuente: NCHS)

26.1.5 Talla Baja

El retraso de crecimiento es un problema médico frecuente, que representa alrededor del 50% de las consultas endocrinológicas de niños y adolescentes. Sin embargo, sólo un pequeño porcentaje de éstos presenta una enfermedad, al ser evaluados en el contexto familiar o de su grupo étnico.

Definición

Se considera que un paciente tiene talla baja cuando su relación talla/edad está a dos desviaciones estándar (DE) o menos bajo el promedio poblacional esperado para su edad y sexo, o por debajo del percentil tres. El 80% de una población de niños cuya talla está entre -2 y -3 DE corresponde a una variante normal (talla baja familiar o constitucional). En cambio, la mayoría de los que están bajo 3 DE tienen una talla baja patológica. Este retraso de crecimiento grave, con talla 3 DE bajo el promedio, se denomina enanismo. Existe un retraso de crecimiento cuando la velocidad de crecimiento, medida durante un período mínimo de 6 meses de observación, está bajo el percentil 10 de las curvas de crecimiento de Tanner. Entre los 4-10 años debe considerarse anormal un crecimiento menor de 4,5 cm./año.

26.2 LA NUTRICIÓN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO

El crecimiento y el desarrollo de un individuo están determinados por factores genéticos y ambientales, siendo la nutrición un componente fundamental entre estos últimos. El aporte adecuado de nutrientes permite un crecimiento armónico que refleja fielmente el potencial genético. En cambio, la alimentación insuficiente puede comprometer el ritmo de crecimiento. La menor expresión del potencial genético puede ser permanente si ocurre en etapas tempranas y por períodos prolongados.

26.2.1 Requerimientos de Energía

El crecimiento implica síntesis de tejidos y, por lo tanto, una acumulación progresiva de macro y micronutrientes, los que deben ser proporcionados por la alimentación de acuerdo a los requerimientos establecidos para cada grupo de edad.

El requerimiento energético del niño puede definirse como la ingesta calórica necesaria para mantener un estado de salud y crecimiento normal, así como un nivel de actividad física adecuado. Habitualmente se expresa en función del peso corporal y corresponde a la suma de la energía requerida para metabolismo basal, crecimiento, actividad física y efecto termogénico de los alimentos.

El metabolismo basal es la energía (medida en calorías) que un cuerpo quema cuando está en completo reposo. La tasa de metabolismo basal (TMB) es el nivel de energía necesario para mantener en funcionamiento los procesos involuntarios del cuerpo. Estos procesos incluyen la palpitación, la respiración, la generación de calor corporal, la transpiración para mantener la temperatura, y la transmisión de mensajes al cerebro. Para una persona sedentaria, la TMB cuenta por el 60-70 % del gasto energético diario.⁵⁴

54 Sona Nutrition. *Sona Nutrition*. [en línea]. Dirección URL: < <http://www.sona.ie/glossary.asp> > [Última Consulta: 12 May 2005]

El requerimiento para crecimiento incluye la energía que se almacena como grasas, proteínas e hidratos de carbono en el nuevo tejido, así como la energía utilizada en la síntesis de las moléculas depositadas. El costo energético promedio del crecimiento es de 5 Kcal. por gramo de tejido depositado, de las cuales aproximadamente 4 Kcal./g corresponden al contenido energético del tejido y 1 Kcal./g al costo de síntesis. El gasto energético para crecimiento es máximo durante el primer trimestre de la vida, etapa en la cual corresponde aproximadamente al 30% del requerimiento total, de aquí en adelante disminuye en forma progresiva hasta alcanzar no más del 2% en el adolescente. La disminución o detención del crecimiento es la respuesta más característica a la deprivación calórica, cualquiera sea la edad del niño

En niños de uno a diez años, los requerimientos de energía se han establecido a partir de ingestas observadas en niños sanos, que crecen normalmente y que viven en países desarrollados.

Es conveniente recordar que las recomendaciones de ingesta de energía corresponden al requerimiento promedio estimado, ya que no solo debe evitarse el riesgo de desnutrición, sino también el aporte excesivo que lleve a sobrepeso u obesidad. Por lo tanto, la vigilancia periódica del crecimiento es el mejor método para evaluar la suficiencia del aporte calórico.

En mayores de diez años, la estimación del Tasa metabólica basal (TMB) sirve de base para el cálculo del requerimiento energético total. Las ecuaciones de predicción de TMB, para ambos sexos, en el grupo de diez a dieciocho años son las siguientes:

Hombres: $TMB \text{ (Kcal/24 hrs.)} = 17.5 \times \text{Peso (Kg)} + 651$
 Mujeres: $TMB \text{ (Kcal/24 hrs.)} = 12.2 \times \text{Peso (Kg)} + 746$

El requerimiento total estimado se obtiene multiplicando el TMB por 1.5 a 2.0, dependiendo de la intensidad de la actividad física realizada, como lo muestra la Figura 100.

Nivel de Actividad Física (NAF)	Categoría
$1.0 \leq NAF < 1.4$	Sedentario
$1.4 \leq NAF < 1.6$	Poco Activo
$1.6 \leq NAF < 1.9$	Activo
$1.9 \leq NAF < 2.5$	Muy Activo

Tabla 11. Nivel de Actividad Física y factores correspondientes para cada categoría

Adicionalmente a estas formulas existen muchas otras utilizadas satisfactoriamente en todo el mundo por diferentes entidades medicas, un estudio realizado en Houston, Texas⁵⁵ concluyo que las formulas sugeridas y empleadas por la Food and Agriculture

55 United States Department of Agriculture/Agricultural Research Service Children's Nutrition Research Center, Department of Pediatrics, Baylor College of Medicine, Houston, Texas. William W. Wong, Nancy F. Butte, Albert C. Hergenroeder, Rebecca B. Hill, Janice E. Stuff, and E. O'Brian

Organization of the United Nations (FAO)/World Health Organization (WHO)/United Nations University (UNU) son las que mejores resultados ofrecen para los estudios en general pero no son aplicables en todas las etnias del mundo ni para ambos géneros. La ecuación universal propuesta por estos organismos es:

Edad entre tres (3) y dieciocho (18) años: $TMB \text{ (Kcal/24 hrs.)} = 7.4 \times \text{Peso (Kg.)} + 4.82 \times \text{Altura (cm.)} + 217$

Se recomienda que el requerimiento energético sea aportado en un 40 a 60% por carbohidratos, en un 30 a 45% por lípidos, correspondiendo esta última cifra a la recomendada para menores de dos años, y sólo un 7 a 15% por proteínas.

Las actuales recomendaciones de ingesta energética para los diferentes grupos etarios se muestran en la Tabla 12.

<i>Grupo de Edad</i>	<i>Recomendación de Aporte (Kcal/Kg/día)</i>	
0-3 meses	116	
3-6 meses	100	
6-9 meses	95	
9-12 meses	100	
1 a 3 años	102	
4 a 6 años	90	
7 a 10 años	70	
	<i>Mujeres</i>	<i>Hombres</i>
11 a 14 años	47	55
15 a 18 años	40	45

Tabla 12. Recomendaciones de Ingesta calórica por grupos de edad (FAO/OMS/UNU-1985)

26.2.2 Requerimientos de Proteínas

Las proteínas proporcionan aminoácidos esenciales y no esenciales necesarios para la síntesis proteica, el crecimiento y la reparación tisular. Los aminoácidos esenciales en el niño son: isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina e histidina.

Las necesidades de proteínas en los menores de seis meses, se han estimado por datos de ingesta en niños alimentados al pecho que crecen a velocidad satisfactoria. En mayores de seis meses, los requerimientos de manutención han sido calculados mediante estudios de balance nitrogenado de corto plazo, en tanto que las necesidades de nitrógeno para crecimiento se han estimado considerando la velocidad de ganancia de peso esperada y la concentración de nitrógeno corporal.

Smith. "Are basal metabolic rate prediction equations appropriate for female children and adolescents?". Journal of Applied Physiology Vol. 81, No. 6, pp. 2407-2414, December 1996. [en línea]. Dirección URL: <<http://jap.physiology.org/cgi/content/full/81/6/2407> > [Última Consulta: 12 May 2005]

El nivel seguro de ingesta (NSI) se ha definido en dos desviaciones estándar sobre el promedio estimado, a fin de cubrir los requerimientos del 97% de la población (Tabla 13). Estas estimaciones son válidas para proteínas de óptima calidad, como las proteínas lácteas y de huevo, y deben ser aumentadas de acuerdo a la calidad y digestibilidad de la mezcla proteica de la dieta.

<i>Grupo de Edad</i>	<i>Proteínas (g/Kg/día)</i>
0-3 meses	2,3
3-6 meses	1,9
6-9 meses	1,7
9-12 meses	1,5
1 a 3 años	1,2
4 a 6 años	1,1
7 a 10 años	1
11 a 14 años	1
15 a 18 años	0,9

Tabla 13. Nivel seguro de ingesta de proteínas (NRC, RDA. 1989)

Es importante recordar que para que el aprovechamiento proteico sea máximo, debe asociarse a una ingesta calórica adecuada, pues de lo contrario, parte de los aminoácidos son derivados a la producción de energía, con el consiguiente desmedro en el crecimiento.

26.2.3 Lípidos y Carbohidratos

Los lípidos, además de actuar como fuente energética concentrada (9 Kcal/g), sirven de vehículo para vitaminas liposolubles y son proveedores de ácido linoleico y alfa-linolénico, precursores de la serie omega-6 y omega-3 respectivamente. Ambos deben constituir el 3 a 4 % de las calorías totales de la dieta, 4/5 como ácido linoleico y 1/5 como alfa-linolénico. El aporte insuficiente de ellos, especialmente en los primeros meses de la vida, puede producir detención del crecimiento.

Los carbohidratos constituyen la principal fuente energética de la dieta, siendo la lactosa el preponderante en los lactantes y el almidón en los niños mayores. No tienen un rol destacado como nutrientes esenciales.

26.2.4 Manejo Preventivo de la Malnutrición

El perfil nutricional de la población infantil ha experimentado grandes cambios, lo que obliga a estar alerta frente a desviaciones del canal de crecimiento habitual que puedan reflejar situaciones de exceso o de déficit de nutrientes.

La falta de satisfacción de los requerimientos nutricionales puede producir una frenación del crecimiento, con el consiguiente riesgo de desnutrición. Esta insatisfacción puede deberse a una ingesta insuficiente o a la existencia de enfermedades que interfieran con la absorción o el aprovechamiento de los nutrientes o que demanden un aumento del gasto energético y proteico.

La prevención de la desnutrición se inicia con el control periódico del embarazo, a fin de detectar y tratar precozmente cualquier enfermedad que pueda incidir en el crecimiento fetal o favorecer un parto prematuro, los cuales son factores de riesgo para desnutrición postnatal. Además, durante el embarazo debe iniciarse la preparación de la madre para la lactancia, ya que la leche materna contiene la cantidad y la proporción óptima de nutrientes para cubrir todos los requerimientos desde el nacimiento hasta los seis meses de edad y para promover un crecimiento óptimo. A esto también contribuye la presencia, en la leche humana, de factores moduladores de crecimiento que favorecen el desarrollo funcional del aparato digestivo.

En la supervisión periódica del crecimiento y desarrollo, es necesario poner énfasis en la detección precoz de cambios en el canal de crecimiento, en la indicación oportuna de suplementos lácteos cuando fueren necesarios, en la introducción progresiva de alimentos sólidos de acuerdo a las necesidades del niño, y en la entrega de contenidos educativos orientados a la formulación de una dieta equilibrada, en concordancia con las posibilidades familiares.

El diagnóstico y tratamiento adecuado de las enfermedades agudas intercurrentes, evitando el ayuno o dietas restrictivas prolongadas y estimulando un aporte mayor de alimentos en el período de convalecencia, son fundamentales para evitar o al menos minimizar el deterioro nutricional. Esto es plenamente aplicable al caso de la diarrea aguda, en la cual se ha demostrado que la manutención de la alimentación durante el cuadro diarreico no prolonga su duración y permite reasumir en corto tiempo una velocidad de crecimiento normal.

26.2.5 Obesidad Infantil

La obesidad se ha convertido en un serio problema de salud a nivel mundial, por su estrecha vinculación con las principales causas de morbilidad. La relación obesidad-resistencia insulínica-diabetes mellitus-hipertensión arterial adquiere cada día mayor importancia, por el papel cada vez más relevante de la obesidad en el desarrollo de cada una de ellas.

Definición

Se considera obesidad a un exceso de peso corporal, a expensas fundamentalmente de la masa grasa, situación que altera la salud del individuo y lo pone en riesgo de desarrollar una enfermedad crónica. Clínicamente, un niño se considera obeso cuando su peso supera en más de un 20% el peso medio ideal para su edad, talla y sexo. Para mayor certeza diagnóstica, esto debería ser complementado con algún índice que permita estimar grasa corporal, como por ejemplo, la medición de pliegue tricipital.

El peso para la edad, en forma aislada, no es un buen indicador porque pueden ser catalogados como obesos niños con talla por encima de la media o niños con mayor desarrollo muscular y cantidad normal de tejido graso, o a la inversa, ser considerados normales niños de baja estatura con escasa masa magra y exceso de grasa corporal.

De acuerdo a los criterios actualmente en uso, para la evaluación del estado nutricional en el lactante y en el niño menor de 6 años, se considera obeso a aquél cuyo peso para la talla se ubica por sobre 2 DS en los gráficos de referencia del NCHS para el sexo

correspondiente, y sobrepeso o en riesgo de obesidad cuando este indicador se ubica entre +1 y +2 DS.

Para los niños mayores de 10 años o que han iniciado desarrollo puberal, la OMS recomienda el uso del índice de masa corporal (IMC), que se calcula dividiendo el peso actual por la talla al cuadrado. Los criterios sugeridos para definir obesidad son: IMC mayor al percentil 95 o bien, IMC mayor al percentil 85, asociado a medición de pliegues tricipital y subescapular superior a percentil 90 de los valores de referencia del NCHS. Ha habido distintas sugerencias en relación a las tablas de referencia recomendadas para IMC (Must, tablas locales, curvas elaboradas por grupo internacional de obesidad), pero aún persiste controversia al respecto, ya que algunas de ellas favorecerían un subdiagnóstico.

En el grupo de 6 a 10 años pueden usarse ambos criterios, esto es, IPT o IMC.

La edad de comienzo y la severidad del cuadro son las determinantes más importantes en la historia natural de la obesidad infantil. La probabilidad de mejoría espontánea es inversamente proporcional a la magnitud de la obesidad.

27. MODELO DE LA INFLUENCIA DE LA NUTRICIÓN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE UN NIÑO

Innumerable cantidad de veces se han observado y escuchado campañas de toda índole que resaltan una y otra vez la importancia de la niñez como recurso invaluable y futuro del planeta tierra. Muy al pendiente de este activo se encuentran cientos de organizaciones y estados en todo el mundo dando a las futuras madres una protección especial además de tratar de proporcionar garantías para que el desarrollo del niño sea satisfactorio. El crecimiento físico del niño hace parte de las características que se desea salvaguardar ya que en buena parte es necesario para un correcto avance en las demás. La nutrición como ciencia que trata las necesidades nutricionales humanas, hábitos y consumo de alimentos, la composición y valor nutricional de esos alimentos y la relación entre la nutrición, la salud y la enfermedad juega un papel trascendental en dichos programas de desarrollo, especialmente en países tercer-mundistas.

Como se explicó anteriormente durante el desarrollo de este proyecto surgió la inquietud de qué tan relevante es la aparición del factor humano bien sea como observador, como intérprete o como actor en los fenómenos para la factibilidad de la integración propuesta en esta integración. Por esta razón la selección de este fenómeno fue fuertemente influenciada inclinando la balanza hacia opciones libres de la intervención directa del hombre pero suficientemente interesantes como para trabajar sobre la construcción del modelo. Los fenómenos físicos comunes ya han sido plenamente descritos por medio de ecuaciones y relaciones analíticas que dejan muy poco espacio para la experimentación modificando valores de entrada y la predicción de comportamientos futuros. Las situaciones del área de la salud por otra parte son de difícil descripción en términos cuantitativos y analíticos, y por ocurrir la mayoría de éstas en el interior del ser humano, éste no tiene control real sobre las respuestas que su organismo da a las opciones que se le presentan, estas características hacen a este tipo de modelos ideales para los objetivos perseguidos en esta porción de la investigación

Por medio de la creación de este modelo se espera seguir depurando el proceso de modelado propuesto para abordar fenómenos desde la perspectiva integradora aquí presentada. Se desea continuar con el proceso de desarrollo y depuración de la propuesta de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa a partir del trabajo sobre los objetivos planteados para esta investigación, por ello se desea con este nuevo modelo, investigar la relevancia que pueda tener el ser humano como intérprete en los fenómenos estudiados desde la conjunción entre las disciplinas aquí tratadas mediante una situación en la que el hombre aparece como observador más no como actor directo, particularidad que hasta el momento se ha presentado en los fenómenos estudiados.

27.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA, IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y RELACIONES FUNDAMENTALES

Dentro de este proyecto de investigación el principal interés que motiva al desarrollo del modelo aquí presentado como estudio del crecimiento y desarrollo de un niño es el de

explorar las implicaciones de la aplicación de la propuesta integradora planteada a lo largo de este trabajo de grado con el fin de responder a las inquietudes no resueltas o cuyo desarrollo aún contenga aspectos a definir y depurar. Por ello, desde un primer punto de vista quienes constituyen los interesados y destinatarios primarios para esta representación con Dinámica de Sistemas del fenómeno planteado son la Universidad Industrial de Santander a través de su interés inherente por la evolución del conocimiento y la ejecución de labores investigativas, y dentro de ella incluido el grupo de investigación SIMON con su propuesta de trabajo y por consiguiente las personas encargadas de la realización del trabajo investigativo presentado en este documento.

La consecución de condiciones favorables para el correcto desarrollo y crecimiento de la población infantil es un tema que ha reunido esfuerzos tanto de entidades internacionales como lo es la Organización Mundial de la Salud, como de los gobiernos alrededor de todo el mundo, destacándose entre ellos el interés de los países en vía de desarrollo por capitalizar el desarrollo de la niñez como un medio de carácter social y legítimo para impulsar el crecimiento de la nación. Entre los factores que interesan al estudio del desarrollo infantil se encuentra el del crecimiento físico ligado a la alimentación que reciben los infantes. Este modelo de simulación busca mostrar en una representación con Dinámica de Sistemas el desarrollo físico de un niño que consume las proporciones y cantidades de alimentos recomendadas por los especialistas del área de la salud, más precisamente, de la pediatría, quienes han estudiado a fondo los nutrientes esenciales para el ser humano y han determinado valores medios en la dieta para cada uno de ellos; adicionalmente se busca permitir la identificación de las implicaciones que tienen los diferentes factores involucrados en el crecimiento infantil sobre su desarrollo físico.

27.1.1 Reserva Calórica

Para su correcto funcionamiento el cuerpo humano requiere unos ciertos niveles de combustible natural que transforma en calorías. Esta medida estándar de energía es la base sobre la cual se calculan todos los gastos y entradas que recibe el cuerpo de cualquier individuo, el caso ideal para esta relación entrada y salida lo proporciona la igualdad de dichos valores, pero el cuerpo humano no elimina automáticamente excesos en la energía obtenida preparándose para situaciones en las que la misma pueda escasear y de esa manera mantener un suministro permanente de la energía necesaria. Esta acumulación energética se manifiesta en los individuos por medio de tejido adiposo que debe mantenerse en niveles saludables para evitar enfermedades graves durante la edad adulta.

27.1.2 Gasto Energético

El gasto energético de un ser vivo se determina mediante el cálculo de su tasa metabólica basal (TMB) o también conocida como gasto metabólico basal (GMB) que es la cantidad de energía requerida para mantener procesos vitales como la palpitación, la respiración, la generación de calor corporal, la transpiración para mantener la temperatura, y la transmisión de mensajes al cerebro. Este valor está en directa proporción con el peso y la talla de cada individuo y existen diversas fórmulas para su cálculo aproximado, pero la tasa metabólica basal sólo representa entre el 50 y 60% del gasto total de un niño en crecimiento ya que además de lo mínimo para la subsistencia todo infante está involucrado en una gran cantidad de actividad física que elevan su gasto energético el

cual ha sido determinado de forma general por la tabla del nivel de actividad físico (NAF) que ofrece factores que multiplican al GMB para determinar el gasto energético real, sin embargo aún este no considera el gasto extra en el que incurren los individuos en desarrollo el cual es ocasionado por la necesidad de la síntesis de nuevos tejidos. Lo que debe quedar claro es la prioridad que el cuerpo proporciona a la supervivencia sobre los demás factores, por esto se observan muchos niños que por una inadecuada alimentación se muestran somnolientos, aletargados y con deficiencias de aprendizaje, y en casos más serios, con problemas en su desarrollo físico.

27.1.3 Ingesta de Alimentos

Los alimentos son la principal fuente de nutrientes que el cuerpo necesita, esto incluye la energía, los micro-nutrientes para el desarrollo y las vitaminas para el mejoramiento de los sistemas inmunológicos, entre otros. Para este análisis en particular se supondrá una dieta balanceada en cuanto a micro-nutrientes se refiere y se dará un especial énfasis a la ingesta total de calorías que se calcula con base a la cantidad de proteínas, carbohidratos y lípidos que se consuman, utilizando el valor promedio de aporte energético que se conoce para cada uno de estos grupos: 4 Kcal por gramo de carbohidratos, 9 Kcal por gramo de lípidos y 4 Kcal por gramo de proteínas.

27.1.4 Requerimientos Proteínicos

Uno de los grupos de alimentos más importantes en el desarrollo físico del niño es el de las proteínas, pues es gracias a la presencia de éstas que el organismo puede sintetizar nuevos tejidos que renuevan y aumentan los conjuntos de células de los sistemas ya existentes. Dicha síntesis de tejidos necesita, además de proteínas como materia prima, de energía para llevar a cabo el proceso de formación de la nueva masa; sin embargo, el cuerpo debe dar prioridad a la disponibilidad proteínica ya que a pesar de que se dispongan de las unidades energéticas necesarias no puede llevarse a cabo síntesis alguna si no se tiene la base proteínica para crear los nuevos conjuntos de células.

27.1.5 Masa Magra

Este valor representa el peso corporal de un individuo libre de grasa y en condiciones ideales, una persona normal que esta consumiendo alimentos en proporciones adecuadas de acuerdo con las recomendaciones de cuidando de los nutricionistas mantiene un balance entre calorías consumidas y las utilizadas, sin embargo debido a la aleatoriedad e imprecisión en los cálculos de las cantidades de los componentes y las raciones este se presenta como un equilibrio dinámico que oscila cerca del valor adecuado, la masa magra sería pues el caso especial en el que el niño se logra mantener consumiendo exactamente la cantidad adecuada de calorías, y el aumento en el mismo se da exclusivamente por el crecimiento y desarrollo de nuevos tejidos no grasos.

27.1.6 Crecimiento

El patrimonio hereditario le procura a cada individuo un patrón de crecimiento y desarrollo específico, el cual puede ser modificado por factores ambientales, estudio de los coeficientes de correlación en familias, sugiere que los factores determinantes del crecimiento provienen de ambos progenitores y que cada uno de ellos tiene una influencia

teórica de un 50% en la talla de los hijos. La influencia ambiental está determinada por diversos factores del ambiente físico, psicosocial y sociocultural de los individuos, siendo particularmente importantes el nivel de educación e ingreso familiar, así como la composición y estabilidad de la familia entre otros. Dentro de los factores ambientales, la nutrición que por medio de la ingesta de nutrientes esenciales permite el normal desarrollo y generación de nuevos tejidos, y las enfermedades infectocontagiosas que se deben tener en cuenta especialmente en las comunidades en desarrollo.

27.1.7 Peso

El peso es el resultado de adicionar a la masa libre de grasas el tejido adiposo que posee el individuo como medio de reserva calórica, lo que proporciona un peso más aproximado al valor real que posee el niño y que es el empleado para calcular los gasto metabólicos basales.

27.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA: DIAGRAMA DE INFLUENCIAS

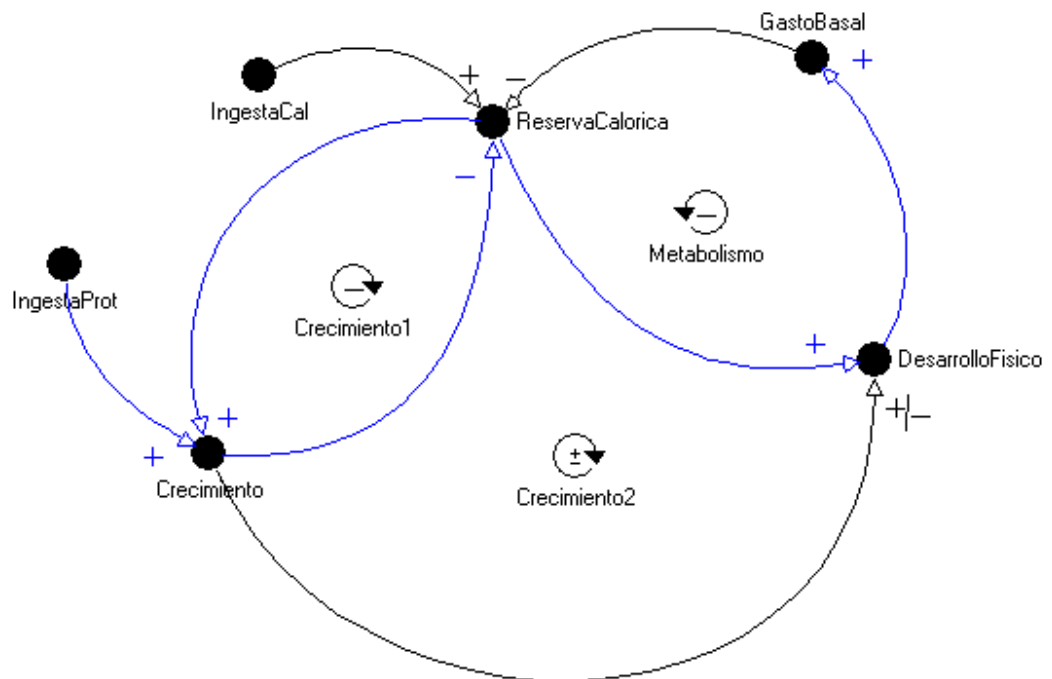


Figura 101. Diagrama de Influencias para el crecimiento y desarrollo de un niño

27.3 DEFINICION PRECISA DE CADA MAGNITUD: CÓDIGO DE VARIABLES

TIPO	NOMBRE EN EL MODELO	DEFINICIÓN O NOMBRE COMPLETO	UNIDADES
N	MASA_MAGRA	Masa sin contar tejido adiposo de reserva del niño	Kg
N	RESERVA_CALORICA	Acumulación de calorías no utilizadas	KCal
F	CaloriasConsumid	Total de las calorías consumidas de las diversas fuentes por semestre	KCal / Trimestre
F	Crecimiento	Incremento de la masa real en un trimestre	Kg / Trimestre
F	GastoEnergieCrec	Gasto energético dedicado al crecimiento	KCal / Trimestre
F	GastoEnergieReal	Gasto energético ocasionado por la actividad física total del niño	KCal / Trimestre
A	GastoTotal	Gasto Total generado por la actividad física y el crecimiento del niño	Kcal / Trimestre
A	GMB	Gasto Metabólico Basal	KCal / Trimestre
A	MasaGrasa	Masa generada por tejido adiposo	Kg
A	Peso	La suma de la masa magra y la masa grasa	Kg
A	ReqEnergieCrec	Las kilocalorías necesarias para el correcto crecimiento del niño	Kcal / Trimestre
A	ReqProteinCrec	Las proteínas necesarias para el correcto crecimiento del niño	g de proteínas / Trimestre
A	TasaCrecEner	Tasa de crecimiento debida a la energía disponible	Adimensional
A	TasaCrecProt	Tasa de crecimiento debida a las proteínas consumidas	Adimensional
FIS	TasaCrec	Tasa de crecimiento total del niño teniendo en cuenta las de energía y proteínas	Adimensional
P	CostoEnergieCrec	Costo de sintetizar un kilogramo de tejido	Kcal / kg
P	FactorAdiposo	Factor de conversión de las calorías en tejidos adiposos	Kg / Kcal
P	NivelActividad	Factor que representa el nivel de actividad física del niño	Adimensional
T	Talla	Estatura del niño	Centímetros
E	Carbohidratos	Gramos de carbohidratos ingeridos por el niño por trimestre	g de carb / Trimestre
E	CrecEsperado	Incremento en el peso esperado para el niño basado en factor genéticos	Kg / Trimestre
E	Lipidos	Gramos de lípidos ingeridos por el niño por trimestre	g de lípidos / Trimestre
E	Proteinas	Gramos de proteínas ingeridos por el niño por trimestre	g de proteínas / Trimestre
E	ReqIngProt	Requerimiento de ingesta de proteínas por cada kilogramo del niño	g de proteínas / kg * Trimestre
R	CrecimientoAnt	Incremento de la masa real del periodo anterior	Kg / Trimestre

Tabla 14. Variables para el modelo del crecimiento y desarrollo de un niño

27.4 DIAGRAMA FLUJO NIVEL

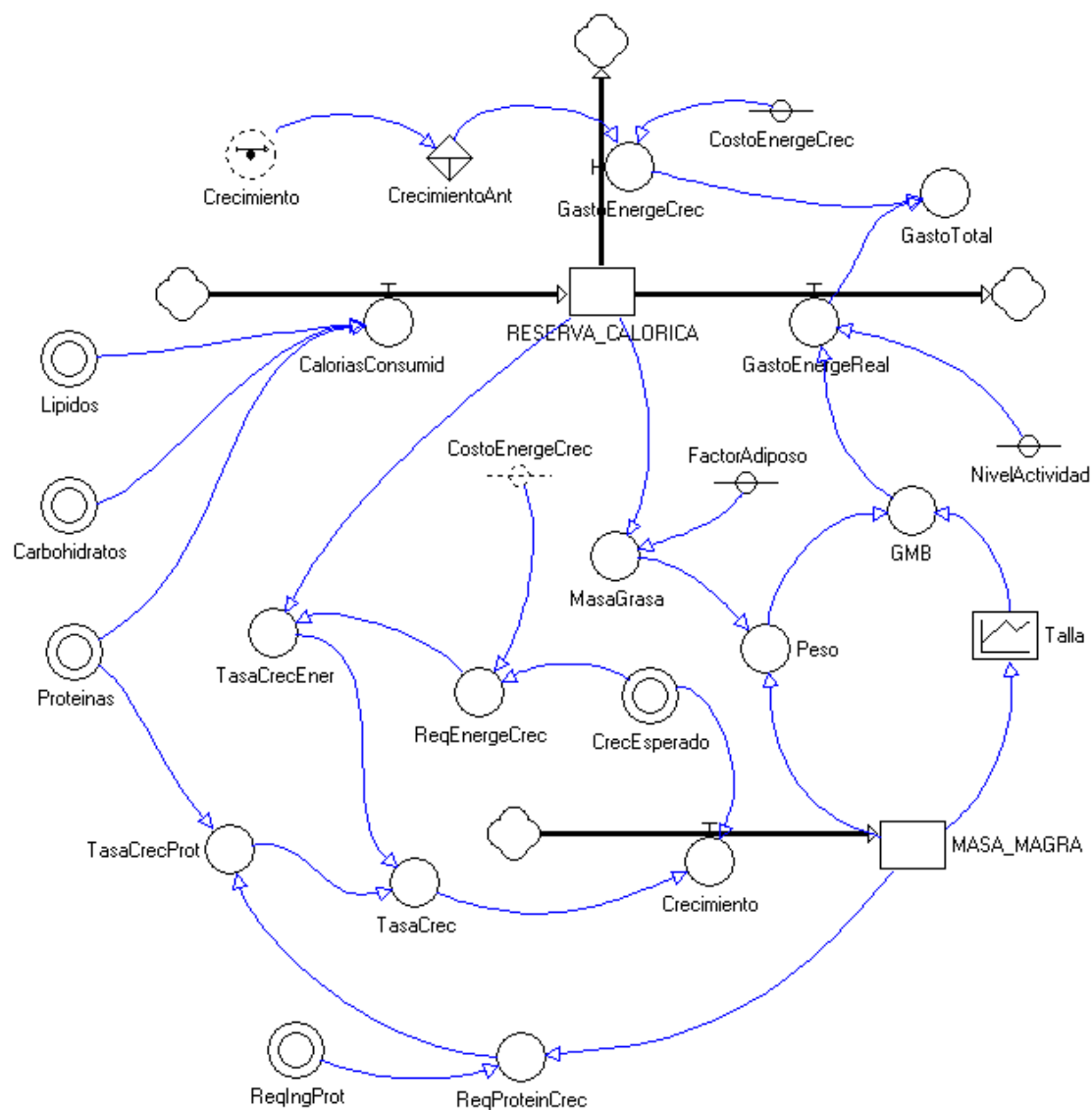


Figura 102. Diagrama de Flujo-Nivel para el Crecimiento y Desarrollo de un Niño

27.5 DEFINICIÓN DE ECUACIONES

27.5.1 Niveles

	Nombre:	MASA_MAGRA
	Definición:	$MASA_MAGRA(T) = MASA_MAGRA(T-1) + DT(Crecimiento)$
	Nombre:	RESERVA_CALORICA
	Definición:	$RESERVA_CALORICA(T) = RESERVA_CALORICA(T-1) + DT(CaloriasConsumid - (GastoEnergeReal + GastoEnergeCrec))$

27.5.2 Flujos

	Nombre:	CaloriasConsumid
	Definición:	$Lipidos*9 + Carbohidratos*4 + Proteinas*4$
	Nombre:	Crecimiento
	Definición:	$CrecEsperado*TasaCrec$
	Nombre:	GastoEnergeCrec
	Definición:	$CrecimientoAnt*CostoEnergeCrec$
	Nombre:	GastoEnergeReal
	Definición:	$GMB*NivelActividad$

27.5.3 Variables auxiliares

☐	Nombre:	GMB
	Definición:	$666*Peso + 433.88*Talla + 19530$
☐	Nombre:	GastoTotal
	Definición:	$GastoEnergeCrec + GastoEnergeReal$
☐	Nombre:	MasaGrasa
	Definición:	$RESERVA_CALORICA*FactorAdiposo$
☐	Nombre:	Peso
	Definición:	$MASA_MAGRA + MasaGrasa$
☐	Nombre:	ReqEnergeCrec
	Definición:	$CrecEsperado*CostoEnergeCrec$
☐	Nombre:	ReqProteinCrec
	Definición:	$ReqIngProt*MASA_MAGRA$
☐	Nombre:	TasaCrecEner
	Definición:	$RESERVA_CALORICA/ReqEnergeCrec$
☐	Nombre:	TasaCrecProt
	Definición:	$Proteinas/ReqProteinCrec$

27.5.4 FIS

27.5.4.1. Tasa de Crecimiento. El cuerpo de un ser humano en si mismo no es un organismo consciente, sin embargo, esto no le impide tomar acciones frente a situaciones en las que se encuentra por medio de reacciones instintivas internas grabadas en el código genético. Es por esto que viéndose en una situación de peligro existe una respuesta inmediata por parte del organismo buscando su protección. Para su correcto crecimiento el cuerpo requiere de dos elementos en cantidades adecuadas, sin las cuales se presentarán deficiencias, en ocasiones graves, de desarrollo; para la síntesis de tejidos se necesita tanto una ingesta proteínica adecuada, como un gasto energético proporcional con el necesario para la construcción de las nuevas células, sin embargo el cuerpo humano en su afán de subsistir dará prioridad a los gastos energéticos debidos a su funcionamiento primario antes que al crecimiento.

Para este FIS en particular se recurrió a un congresor diferente al de “centro de gravedad” que se utilizó en los sistemas de inferencia anteriores. Se hizo uso del método de concreción por “altura” el cual se ajusta mejor a las necesidades de este FIS que los otros métodos disponibles.

Reglas

Si la tasa de crecimiento por proteínas es deficiente y la tasa de crecimiento por energía es mortal, entonces la tasa de crecimiento es deficiente anormal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es deficiente y la tasa de crecimiento por energía es inferior, entonces la tasa de crecimiento es deficiente anormal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es deficiente y la tasa de crecimiento por energía es normal, entonces la tasa de crecimiento es deficiente
Si la tasa de crecimiento por proteínas es deficiente y la tasa de crecimiento por energía es excesiva, entonces la tasa de crecimiento es deficiente
Si la tasa de crecimiento por proteínas es normal y la tasa de crecimiento por energía es mortal, entonces la tasa de crecimiento es deficiente anormal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es normal y la tasa de crecimiento por energía es inferior, entonces la tasa de crecimiento es deficiente
Si la tasa de crecimiento por proteínas es normal y la tasa de crecimiento por energía es normal, entonces la tasa de crecimiento es normal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es normal y la tasa de crecimiento por energía es excesiva, entonces la tasa de crecimiento es normal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es superior y la tasa de crecimiento por energía es mortal, entonces la tasa de crecimiento es deficiente anormal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es superior y la tasa de crecimiento por energía es inferior, entonces la tasa de crecimiento es deficiente
Si la tasa de crecimiento por proteínas es superior y la tasa de crecimiento por energía es normal, entonces la tasa de crecimiento es normal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es superior y la tasa de crecimiento por energía es excesiva, entonces la tasa de crecimiento es exagerado
Si la tasa de crecimiento por proteínas es peligrosa y la tasa de crecimiento por energía es mortal, entonces la tasa de crecimiento es deficiente anormal
Si la tasa de crecimiento por proteínas es peligrosa y la tasa de crecimiento por energía es inferior, entonces la tasa de crecimiento es deficiente

Si la tasa de crecimiento por proteínas es peligrosa y la tasa de crecimiento por energía es normal, entonces la tasa de crecimiento es exagerado

Si la tasa de crecimiento por proteínas es peligrosa y la tasa de crecimiento por energía es excesiva, entonces la tasa de crecimiento es exagerado anormal

Este mismo conjunto de reglas puede sintetizarse mediante una matriz de evaluación (ver Tabla 15). En su primera columna se ubican los valores posibles para la tasa de crecimiento debida a las proteínas (Deficiente, Normal, Superior, Peligroso) de manera ascendente, y en la fila superior, los valores para la tasa de crecimiento debida a la energía (Mortal, Inferior, Normal, Excesivo) de manera ascendente, esta forma de visualización facilita la identificación de las entradas y salidas del sistema.

	Mortal	Inferior	Normal	Excesivo
Deficiente	Def. anormal	Def. anormal	Deficiente	Deficiente
Normal	Def. anormal	Deficiente	Normal	Normal
Superior	Def. anormal	Deficiente	Normal	Exagerado
Peligroso	Def. anormal	Deficiente	Exagerado	Exag. Anormal

Tabla 15, Matriz de Evaluación para el FIS de Tasa de Crecimiento

Definición de la Cantidad de Funciones de Membresía. A partir de las reglas definidas previamente para describir el comportamiento del sistema de inferencia, se pueden identificar los conjuntos difusos involucrados al mismo tiempo que su cantidad, tanto para las entradas como para las salidas.

La entrada Tasa de Crecimiento por Proteínas está definida por cuatro (4) funciones de membresía (Deficiente, Normal, Superior, Peligroso); la entrada Tasa de Crecimiento por Energía disponible, por cuatro (4) funciones de membresía (Mortal, Inferior, Normal, Excesivo); y la salida Tasa de Crecimiento, por cinco (5) (Deficiente anormal, Deficiente, Normal, Exagerado, Exagerado Anormal).

27.5.5 Retardos

◆ Nombre: CrecimientoAnt
Definición: Crecimiento(T-1)

27.5.6 Tablas

Talla. En condiciones normales existe una equivalencia entre la masa magra de un niño con su respectiva estatura, ésta es calculada con base a la densidad de los tejidos, la reserva de agua, etc. Para efectos de este modelo se utilizarán los datos proporcionados por el NCHS que trabajan para el rango entre los dos (2) y los veinte (20) años de edad y sobre los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95. El dato para el percentil cincuenta representa el valor promedio para un niño varón estadounidense.

27.6 CALIBRADO

27.6.1 Parámetros

Costo Energético de Crecimiento. Se calcula que en promedio el cuerpo requiere de 5 kilocalorías por gramo de tejido desarrollado, de las cuales aproximadamente 4 Kcal./g corresponden al contenido energético del tejido y 1 Kcal./g al costo de síntesis. Dado que los datos dentro del modelo se están manejando en Kilogramos, se requirió realizar la conversión de unidades correspondiente.

☞ Nombre: CostoEnergieCrec
Definición: 5000

Factor de Transformación Adiposo. Los datos científicos muestran que un gramos de lípidos proporciona aproximadamente 9 Kcal al ser humano, de manera similar se puede aproximar el numero de gramos de tejidos adiposo que puede generar el cuerpo humano en base a su reserva calórica, dividiendo el numero de calorías extra por 9 para obtener los ramos de grasa, adicionalmente se requiere realizar la transformación para mantener las unidades de masa en kilogramos.

☞ Nombre: FactorAdiposo
Definición: 1/9000

Nivel de Actividad Física. De acuerdo con el Food and Nutrition Board (FNB) y el Institute of Medicine (IOM) existen varios niveles de actividad física (Sedentario, poco activo, activo y muy activo) que generan una tabla de factores que permiten calcular el gasto energético total de los individuos multiplicando este por el consumo energético derivado de acciones no vitales, para el caso del niño a modelar se determinó un nivel de actividad del mismo igual a activo que representa valores entre 1.6 y 1.9.

☞ Nombre: NivelActividad
Definición: 1.7

27.6.2 Exógenas

Carbohidratos. Representa la cantidad de gramos de carbohidratos que serán consumidos por el niño en el caso estudiado a lo largo de todo su proceso de desarrollo, los valores empleados en esta tabla fueron calculados con base a los requerimientos energéticos propuestos por los nutricionistas y especialistas de la salud.

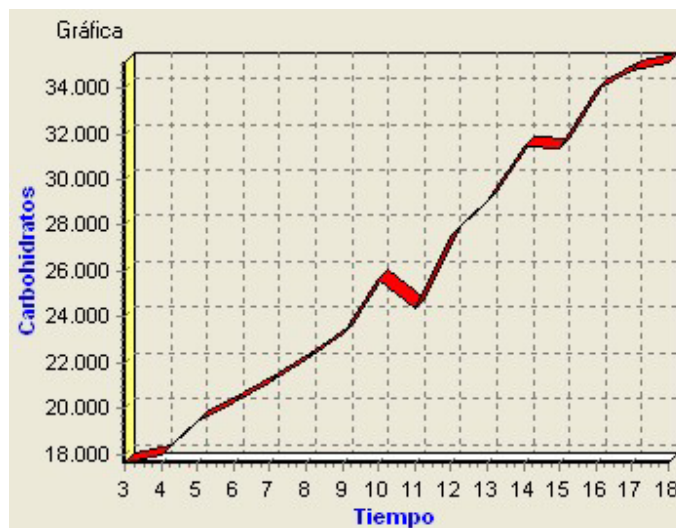


Figura 103. Consumo de carbohidratos recomendado

- © Nombre: Carbohidratos
Definición: INTLINEAL(2,3,1,17617.5,17931,19393,20252.4,21161.3,22176,23277.4,25633.4,24366.4,27565.3,29092.9,31461.9,31352,33969.4,34807,35124)

Crecimiento Esperado

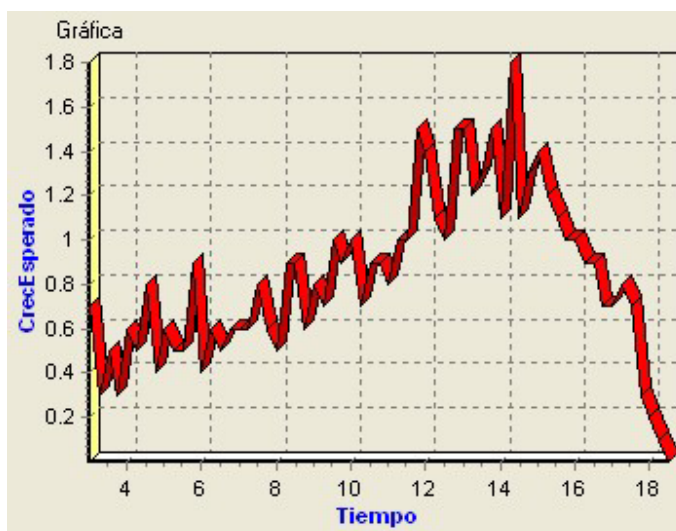


Figura 104. Crecimiento esperado debido a factores genéticos

Los factores genéticos son de vital importancia para determinar el futuro crecimiento del niño, así como sus proporciones y propensión a las enfermedades, sin embargo para propósitos de este modelo, éstos solo se ven reflejados en la tabla de crecimiento

esperado que es la directamente influenciada por los datos cromosómicos de los padres. Puesto que no se cuentan con datos de un infante real, se usaron los del niño varón promedio norteamericano.

⊙ Nombre: CrecEsperado
Definición: INTLINEAL(2,3,0.25,0.7,0.3,0.5,0.3,0.6,0.5,0.8,0.4,0.6,0.5,0.5,0.9,0.4,0.6,0.5,0.6,0.6,0.6,0.8,0.6,0.5,0.9,0.9,0.6,0.8,0.7,1,0.9,1,0.7,0.9,0.9,0.8,1,1,1.5,1.4,1.1,1,1.5,1.5,1.2,1.3,1.5,1.1,1.8,1.1,1.3,1.4,1.2,1.1,1,1,0.9,0.9,0.7,0.7,0.8,0.7,0.3,0.2,0.1,0.00000001)

Lípidos

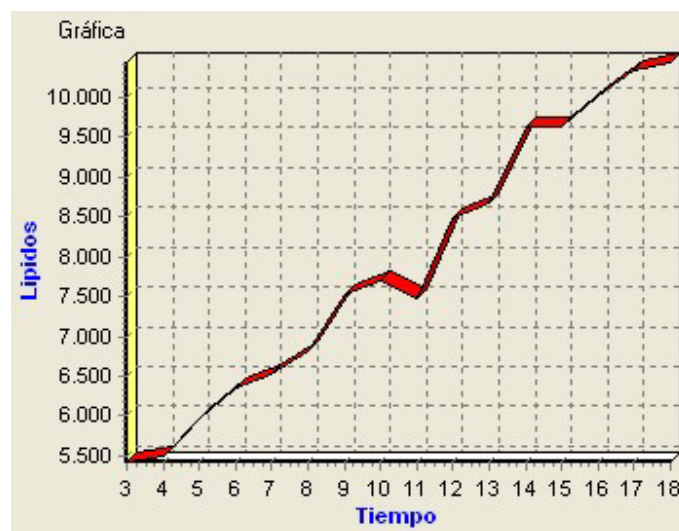


Figura #. Consumo de Lípidos Recomendado

De manera similar a los carbohidratos, esta variable exógena representa la cantidad de gramos de lípidos que serán consumidos por el niño en el caso estudiado, que se recomienda estén entre el 30 y 40% de la ingesta total de nutrientes, los valores empleados en esta tabla fueron calculados con base a los requerimientos energéticos propuestos por los nutricionistas y especialistas de la salud.

⊙ Nombre: Lipidos
Definición: INTLINEAL(2,3,1,5426.4,5506,5955,6353,6527,6809,7524,7685.4,7482.2,8464.5,8676,9614,9627.3,10002,10341,10428)

Proteínas. De manera similar a los carbohidratos y lípidos, esta variable exógena representa la cantidad de gramos de proteínas que serán consumidos por el niño en el caso estudiado, que se recomienda estén entre el 7% y 15% de la ingesta total de nutrientes, las proteínas cumplen una doble función en el proceso de crecimiento y desarrollo, siendo la principal la de fuente de materia prima para la síntesis de nuevos tejidos, y de manera secundaria son empleadas por el cuerpo humano como fuente

energética. La fuente de la cual se obtuvieron estos valores corresponde con las referencias internacionales de trabajos de nutricionistas y especialistas de la salud.

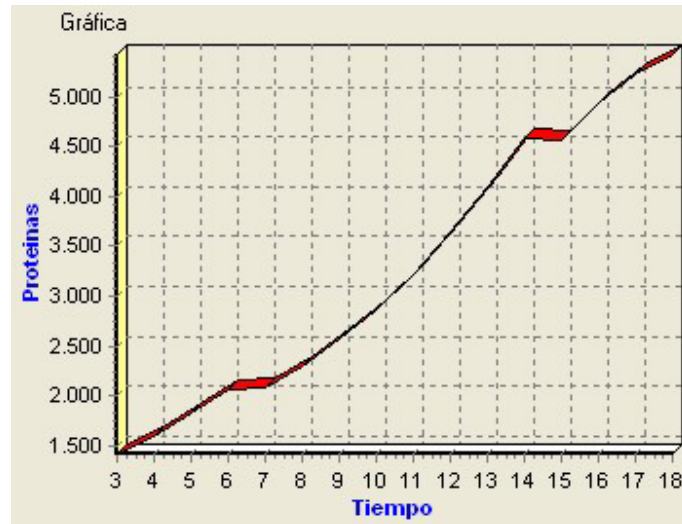


Figura 105. Consumo de proteínas recomendado

© Nombre: Proteínas
Definición: INTLINEAL(2,3,1,1415.7,1593.9,1821.6,2069.1,2080,2304,2565,2871,3222,3645,4095,4590,4560.3,4941,5224.5,5427)

Requerimientos de Ingesta Proteínica

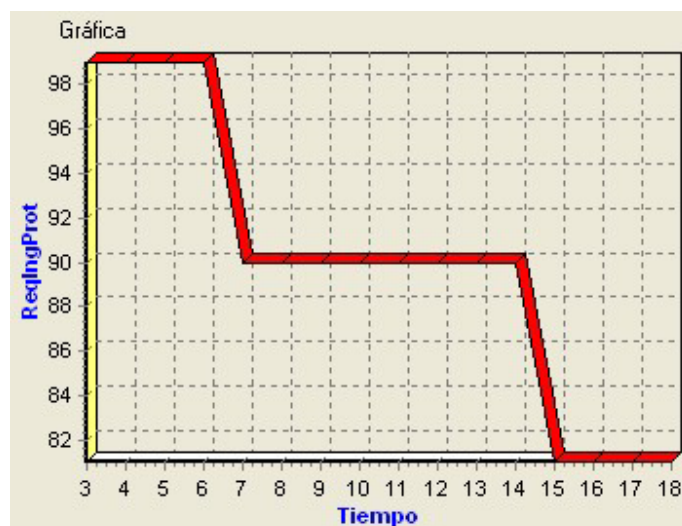


Figura 106. Ingesta proteínica recomendada por Kilogramo de masa corporal

Para cada etapa del desarrollo del niño existen unos requerimientos de proteínas que son los necesarios para obtener un crecimiento adecuado con respecto a los factores genéticos que intervienen. Estos requerimientos se calculan multiplicando la masa magra actual del infante por un factor obtenido por la investigación médica-científica, éste usualmente se encuentra definido para un periodo de tiempo de un día, dado que la unidad de simulación de este modelo es de tres meses (90 días), se hizo el ajuste correspondiente.

© Nombre: ReqIngProt
Definición: INTLINEAL(0,3,1,99,99,99,99,90,90,90,90,90,90,90,90,81,81,81,81)

27.6.3 Tablas

Talla

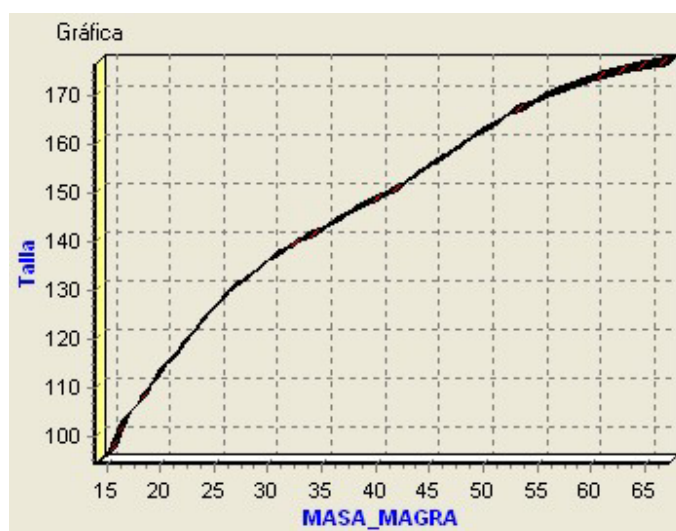


Figura 107. Talla (Estatura) esperada según el peso del infante

La talla o estatura esperada de acuerdo a una cantidad específica de masa magra en un individuo se determinó para este caso, a partir de las tablas proporcionadas por la NCHS en las que es posible relacionar dichas cantidades en condiciones ideales. Los límites determinados como producto del análisis de las tablas mencionadas se ubican entre 14 y 67.2 Kg con intervalos iguales de 0.2 unidades. Para obtener muchos de los valores intermedios se utilizó la interpolación y se agregó además extrapolación de los valores extremos.


Nombre: Talla
Definición: INTLINEAL(0,14,0.2,94.6,94.8,95.1,95.4,95.7,96,97.3,98.4,99.2,100,101.3,102.3,103,103.7,104.3,104.9,105.5,105.9,106.3,106.7,107,108,109,109.5,110,110.5,111.2,111.9,112.6,113.3,114,114.4,114.7,115.1,115.5,116,116.7,117.3,117.8,118.3,118.8,119.6,120.1,120.7,121.2,121.8,122.3,122.7,123.2,123.7,124.3,124.8,125.2,125.6,125.9,126.3,126.9,127.4,128,128.6,129.2,129.8,129.9,130.2,130.5,130.8,131.1,131.3,131.6,131.9,132.2,132.6,133.1,133.5,133.9,134.2,134.6,135,135.4,135.8,136.2,136.4,136.6,136.8,137,137.2,137.5,137.8,138.1,138.4,138.7,139,139.3,139.6,139.9,140.1,140.3,140.4,140.6,140.8,141,141.2,141.4,141.7,141.9,142.2,142.5,142.8,143.1,143.4,143.6,143.9,144.2,144.4,144.6,144.9,145.2,145.5,145.7,146,146.3,146.5,146.7,146.9,147.1,147.3,147.5,147.8,148,148.2,148.4,148.6,149,149.1,149.3,149.5,149.7,150,150.2,150.4,150.6,151,151.3,151.6,151.9,152.2,152.6,152.9,153.3,153.6,154,154.3,154.5,154.8,155.1,155.3,155.6,155.9,156.1,156.4,156.7,156.9,157.2,157.5,157.7,158,158.3,158.7,159,159.3,159.7,160,160.3,160.6,160.9,161.2,161.5,161.8,162.1,162.3,162.5,162.7,162.9,163.1,163.3,163.5,163.9,164.4,164.8,165.2,165.7,166,166.1,166.2,166.4,166.5,166.6,166.8,166.9,167,167.2,167.5,167.8,168,168.3,168.6,168.8,169,169.2,169.4,169.6,169.8,170,170.1,170.3,170.4,170.6,170.8,170.9,171.1,171.2,171.4,171.5,171.7,171.8,172,172.2,172.4,172.5,172.7,172.9,173,173.1,173.3,173.4,173.5,173.6,173.7,173.8,173.9,174,174.1,174.3,174.4,174.5,174.6,174.7,174.8,174.9,175,175.06,175.11,175.17,175.26,175.37,175.48,175.6,175.65,175.7,175.75,175.8,175.86,175.91,175.97,176.07,176.2,176.31)

27.6.4 Fis

Tasa de Crecimiento

Entradas:

Tasa de crecimiento debida a la disponibilidad de proteínas

Rango: 0 a 3

Funciones de Membresía: 4

Deficiente: Tipo L [0.50 0.95]

Normal: Triángulo [0.50 1.00 1.50]

Superior: Triángulo [1.05 1.40 1.75]

Peligroso: Tipo Gamma [1.65 2.00]

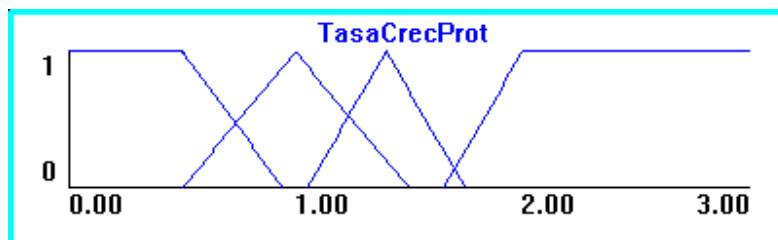


Figura 108. Funciones de membresía para la entrada Tasa de Crecimiento por Proteínas

Tasa de crecimiento debida a la disponibilidad de energía

Rango: -1 a 10

Funciones de Membresía: 4

Mortal: Tipo L [0.00 0.50]

Inferior: Triángulo [0.00 0.50 0.97]

Normal: Triángulo [0.80 1.00 1.20]

Excesivo: Tipo Gamma [1.10 2.00]

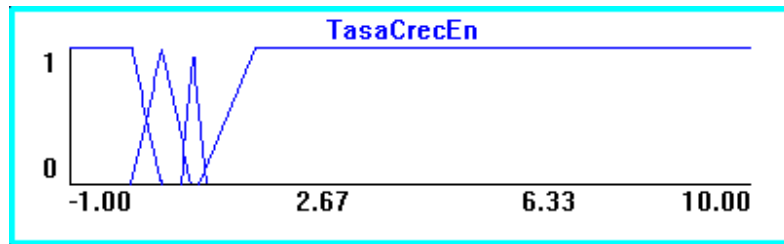


Figura 109. Funciones de membresía para la entrada Tasa de Crecimiento por Energía

Salidas

Tasa de crecimiento

Rango: 0 a 1.5

Funciones de Membresía: 4

Deficiente Anormal: Tipo L [0.18 0.50]

Deficiente: Triángulo [0.45 0.75 1.00]

Normal: Triángulo [0.90 1.00 1.10]

Exagerado: Triángulo [1.00 1.18 1.35]

Exagerado Anormal: Tipo Gamma [1.17 1.40].

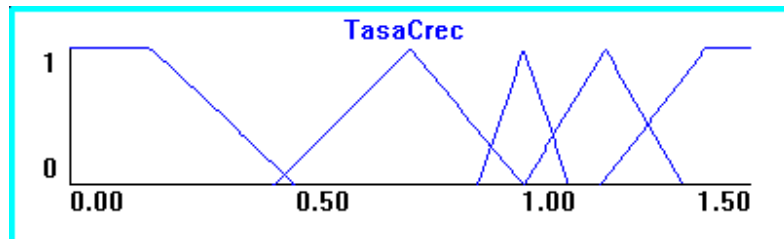


Figura 110. Funciones de membresía para la salida Tasa de Crecimiento

27.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En concordancia con los propósitos enunciados para este modelo, se consideraron las variables endógenas del mismo y se determinó la importancia de analizar la sensibilidad de la representación realizada ante variaciones de dos de las condiciones iniciales del modelo.

Las variables cuyo comportamiento es analizado ante variaciones en los elementos definidos para este análisis de sensibilidad son los siguientes:

- Gasto Total: Porque resulta de interés observar la totalidad de consumo energético que lleva a cabo el niño en los diferentes momentos de su desarrollo.
- Peso: Por que es uno de los más importantes, sino el más, índices estudiados para determinar el correcto desarrollo de los niños; es empleado en conjunto con otros que requieren la medición física de diversas partes del cuerpo para determinar la buena salud del infante.
- Tasa de Crecimiento: Porque muestra la reacción que ofrece el organismo a variaciones dentro del mismo.

Los elementos a partir de los cuales se estudia el comportamiento exhibido por el modelo ante variaciones de los mismos son los siguientes:

- Reserva Calórica
- Masa Magra

Todas las trayectorias derivadas de la simulación serán registradas dentro de un horizonte de tiempo de 60 trimestres equivalentes a 15 años, iniciando en una edad de solo tres años, lo que ha dejado atrás los periodos de niveles de actividad menores correspondientes con la etapa preescolar de los niños, los 15 años comprenden pues el periodo de desarrollo más importante para los niños, pasando por su crecimiento temprano, abarcando la pubertad y finalizando casi en el mismo momento que se alcanza la adultez.

27.7.1 Variación de la Reserva Calórica inicial

En el escenario “Por Defecto” la “Reserva Calórica” inicial para el modelo es de 3000 Kcal; la variación que se propone para observar la sensibilidad del comportamiento exhibido por el modelo es de 500 Kcal por encima o por debajo, lo que da origen a dos escenarios: el escenario “ReservaCal_3000” y el escenario “ReservaCal_4000” que corresponden con una reducción e incremento de cerca del 14.3% respectivamente.

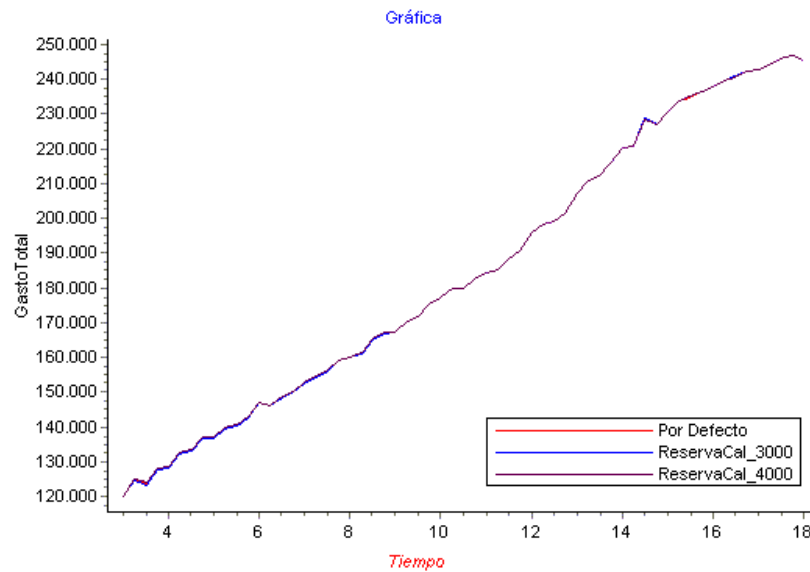


Figura 111. Comportamiento del Gasto Total frente a variaciones en la Reserva Calórica inicial

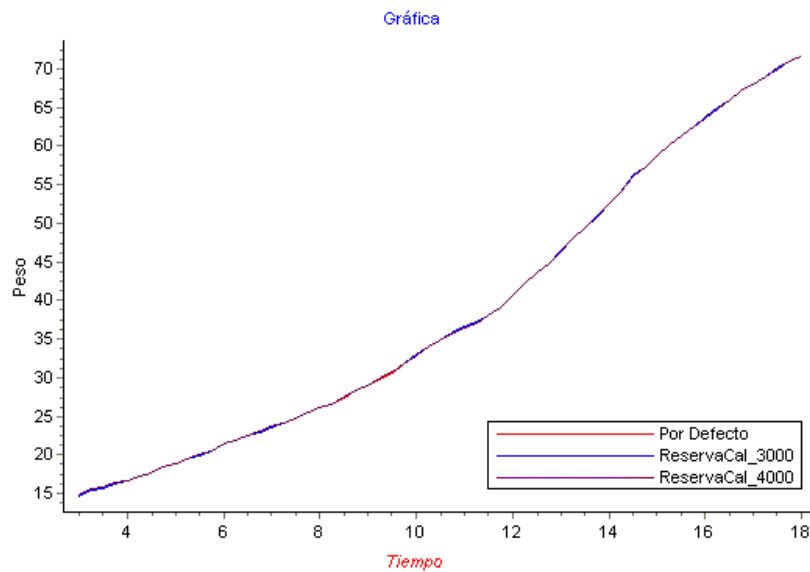


Figura 112. Comportamiento del Peso frente a variaciones en la Reserva Calórica inicial

Las variables de Gasto Total energético y Peso del niño no sufren casi ninguna variación puesto que la reserva calórica se ajusta rápidamente a la ingesta calórica que se le proporciona a lo largo de todo el modelo y el gasto calórico se regula proporcionalmente. Esta variación inicial genera un pequeño cambio en el peso y el gasto total a lo largo del modelo el cual es imperceptible a simple vista.

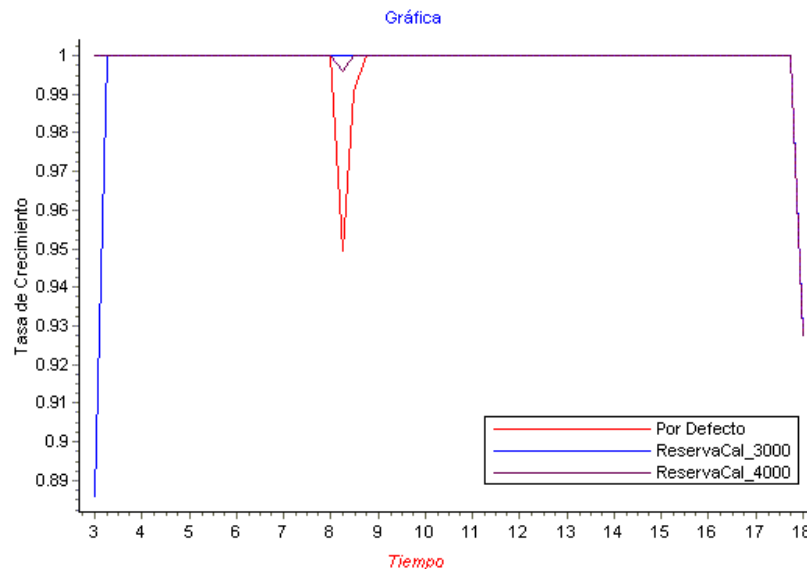


Figura 113. Comportamiento de la Tasa de Crecimiento frente a variaciones en la Reserva Calórica inicial

La tasa de crecimiento es, por razones médicas, más sensible a estas pequeñas variaciones ya que un valor de reserva calórica inferior a lo necesario para generar crecimiento ocasiona un retardo en el mismo que es perceptible en la tasa dado el pequeño margen de valores que la componen pero que en términos generales de todo el modelo, como se pudo ver en las gráficas anteriores, no afecta de manera permanente al niño puesto que no es una situación sostenida.

27.7.2 Variación de la Masa Magra Inicial

En segunda instancia se analiza el impacto de la variación en la cantidad de Masa Magra del niño; el valor de esta variable en el escenario "Por Defecto" es de 14.3 Kg y se modifica en un $\pm 5\%$ que representa una variación de 0.7 Kg por encima y por debajo del valor por defecto de esta variable. Los cambios no pueden ser demasiado drásticos porque de ser así se estarían analizando casos de patologías que afecten el desarrollo y dentro de los propósitos del modelo no está hacer tales análisis.

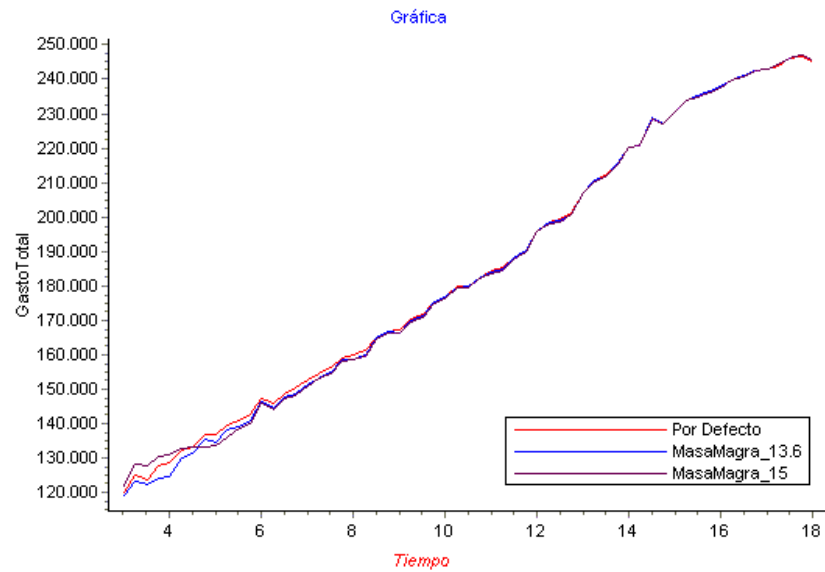


Figura 114. Comportamiento del Gasto Total frente a variaciones en la Masa Magra inicial

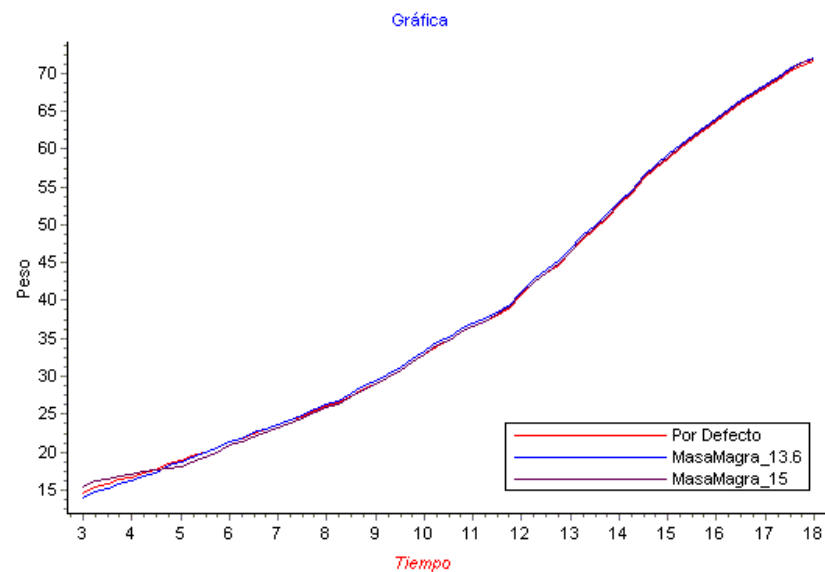


Figura 115. Comportamiento del Peso frente a variaciones en la Masa Magra inicial

Una vez más las variaciones que se presentan en el peso y el gasto total energético que se pueden observar en la Figura 114 y Figura 115 son muy pequeños y no afectan el desarrollo infantil a muy largo plazo, lo que indica que el sistema es bastante estable y poco sensible a pequeñas variaciones de la masa magra inicial.

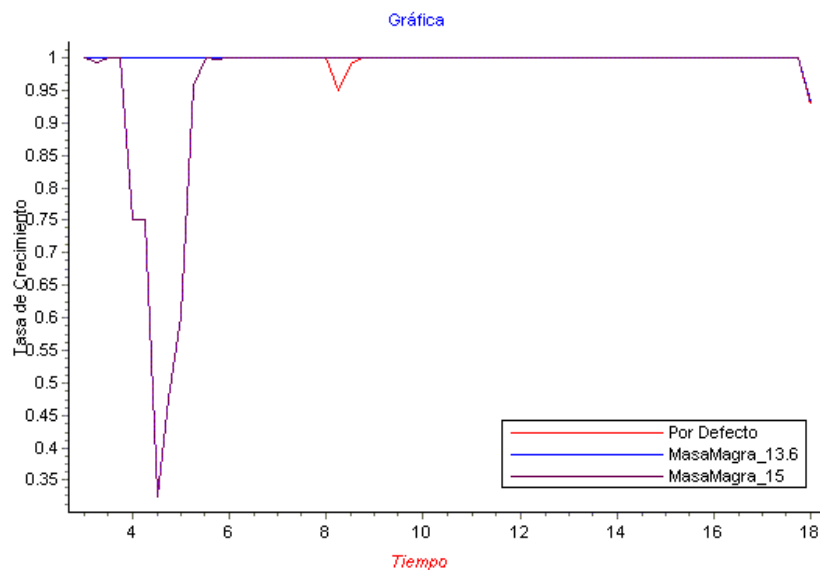


Figura 116. Comportamiento de la Tasa de Crecimiento frente a variaciones en la Masa Magra inicial

Nuevamente, el cambio más grande del modelo tras la variación de la masa magra inicial se puede ver en la tasa de crecimiento y se presenta en la situación en que el niño presenta valores superiores a los estimados como normales, lo que a su vez ocasiona un aumento en el gasto energético imprevisto en el cálculo de la ingestión de nutrientes y que provoca una desaceleración en el crecimiento durante un periodo corto de tiempo que posteriormente se ve compensado lo que evita que los resultados a largo plazo sean catastróficos.

27.8 EVALUACIÓN

Para realizar una correcta evaluación del modelo se deben adquirir datos del crecimiento de varios niños entre los 3 y los 18 años en su peso y su talla, preferiblemente de trimestre a trimestre, adicionalmente información sobre los padres para ayudar a calcular el crecimiento esperado generado por los factores genéticos, y por último los valores aproximados de ingesta de lípidos, carbohidratos y proteínas para todo el periodo que comprende la simulación. Puesto que recopilar todos estos datos es una tarea de muy elevada dificultad para los desarrolladores del modelo, e incluso, para algunos médicos pediatras, la etapa de evaluación no puede llevarse a cabo de la forma como se desearía; estas limitaciones impuestas por los recursos, especialmente por el tiempo, no impiden que aprovechando los datos que proporciona el Nacional Center for Health Statistics acerca del crecimiento del niño se puedan comparar éstos con los resultados de la simulación para los valores por defecto, lo que generaría una idea aproximada del nivel de acercamiento a los mismos que se logró por medio de la construcción del modelo, adicionalmente, se eliminan de inmediato las dudas de que presentes en el modelo se encuentren errores de grueso calibre o hipótesis lógicas demasiado equivocadas.

Edad	Peso Simulado	Peso Teórico	Diferencia	% Error
3	13,9888889	14,3	-0,31111111	2,18%
3,25	14,8459611	15	-0,15403893	1,03%
3,5	15,2093294	15,3	-0,09067055	0,59%
3,75	15,8211166	15,8	0,02111664	0,13%
4	16,1922254	16,1	0,09222541	0,57%
4,25	16,8714385	16,7	0,17143851	1,03%
4,5	17,3806672	17,2	0,18066719	1,05%
4,75	18,2279372	18	0,2279372	1,27%
5	18,6265728	18,4	0,22657282	1,23%
5,25	19,3268345	19	0,3268345	1,72%
5,5	19,8919398	19,5	0,39193983	2,01%
5,75	20,4780505	20	0,47805054	2,39%
6	21,469859	20,9	0,56985903	2,73%
6,25	21,8718373	21,3	0,57183728	2,68%
6,5	22,5527349	21,9	0,65273487	2,98%
6,75	23,088078	22,4	0,68807795	3,07%
7	23,7292413	23	0,72924127	3,17%
7,25	24,3358963	23,6	0,7358963	3,12%
7,5	24,9468047	24,2	0,74680471	3,09%
7,75	25,7557188	25	0,75571883	3,02%
8	26,3214489	25,6	0,7214489	2,82%
8,25	26,8297253	26,1	0,72972533	2,80%
8,5	27,7887313	27	0,78873131	2,92%
8,75	28,6943691	27,9	0,79436908	2,85%
9	29,3284428	28,5	0,82844278	2,91%
9,25	30,2565182	29,3	0,95651817	3,26%
9,5	31,0727365	30	1,07273654	3,58%
9,75	32,2345703	31	1,23457026	3,98%
10	33,2674041	31,9	1,36740413	4,29%
10,25	34,4451847	32,9	1,54518469	4,70%
10,5	35,2031576	34	1,20315756	3,54%
10,75	36,1203284	34,9	1,22032835	3,50%
11	36,9263409	35,8	1,12634088	3,15%
11,25	37,5534906	37	0,55349056	1,50%
11,5	38,5081231	38	0,50812306	1,34%
11,75	39,5392996	39	0,53929956	1,38%
12	41,1734122	40,5	0,67341222	1,66%
12,25	42,7138588	41,9	0,81385876	1,94%
12,5	43,953071	43	0,95307104	2,22%
12,75	45,1405885	44	1,14058845	2,59%
13	46,8451368	45,5	1,34513684	2,96%
13,25	48,4425384	47	1,44253843	3,07%
13,5	49,7869075	48,2	1,58690747	3,29%

13,75	51,3360613	49,5	1,83606129	3,71%
14	53,1177567	51	2,11775672	4,15%
14,25	54,5077209	52,1	2,40772086	4,62%
14,5	56,5829203	53,9	2,68292029	4,98%
14,75	57,7311223	55	2,73112234	4,97%
15	59,1220225	56,3	2,82202254	5,01%
15,25	60,5086404	57,7	2,80864045	4,87%
15,5	61,7137292	58,9	2,8137292	4,78%
15,75	62,8949089	60	2,89490894	4,82%
16	64,043135	61	3,04313503	4,99%
16,25	65,2584249	62	3,25842486	5,26%
16,5	66,3724537	62,9	3,47245369	5,52%
16,75	67,5074227	63,8	3,7074227	5,81%
17	68,448779	64,5	3,94877899	6,12%
17,25	69,4324438	65,2	4,23244379	6,49%
17,5	70,4978693	66	4,49786931	6,81%
17,75	71,4312616	66,7	4,73126156	7,09%
18	71,9627008	67	4,96270077	7,41%

Tabla 16. Comparación entre los resultados obtenidos del modelo y los teóricos

Adicionalmente se calculó el promedio de las diferencias (errores absolutos) y de los errores relativos obteniendo los siguientes resultados:

Promedio de las diferencias	1,461080164
Promedio de los errores relativos	3,32%

Se puede afirmar que estos errores están dentro de los rangos permitidos especialmente si se tiene en cuenta la variable estudiada y que todos los datos obtenidos para la simulación se encuentran dentro del percentil 25 y 75 de los datos presentados por el NCHS. Además una inspección gráfica de la comparación entre estas trayectorias, como la que se puede observar en la Figura 117 permite asegurar que los promedios de error bajos no son ocasionados por una neutralización de grandes errores negativos y positivos.

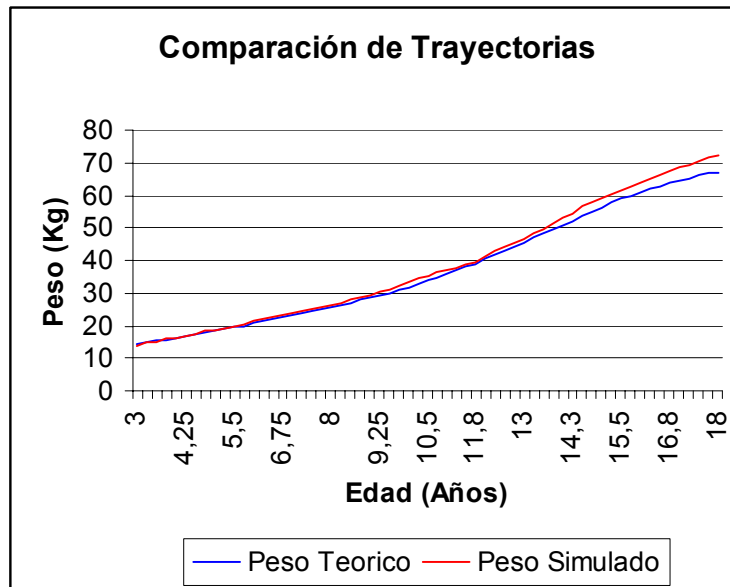


Figura 117. Comparación de trayectorias entre el peso teórico y el obtenido de la simulación

Gracias a todos los resultados obtenidos de las comparaciones se puede afirmar que las hipótesis lógicas son acertadas, es decir, que sus implicaciones sobre el modelo son coherentes con lo observado en la realidad del fenómeno. Puede concluirse que el modelo construido es válido y responde a las necesidades de precisión que sobre el impone su propósito.

27.9 UTILIZACIÓN

Debido al propósito principal con el cual se desarrolló este modelo, la utilización del mismo se dio a medida que el proceso de modelado fue efectuado. El principal aporte del mismo consistió en permitir la aplicación de la propuesta de integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa dentro de un fenómeno en el que el hombre sólo se tiene en cuenta como intérprete más no como actor, al tiempo que se logró una representación válida del fenómeno estudiado. El que el propósito del modelo se vea satisfecho con la realización del mismo no impide plantear algunas recomendaciones acerca de posibles utilidades ulteriores del mismo con mira a lograr una mayor comprensión del caso estudiado, así como la evaluación de políticas y estrategias orientadas hacia el mejoramiento del desarrollo infantil en un país en particular, que a pesar de escapar al alcance de este modelo no limitan la utilización del mismo para tales fines.

Pueden llevarse a cabo pruebas sobre las cantidades y proporciones de la ingesta de alimentos por parte del niño, esto podría reflejar y permitir estudiar más en detalle condiciones de alimentación predominantes derivadas de aspectos culturales y económicos propios de una región o un país. Para corresponder con la influencia genética de un grupo humano particular se recomienda recalcular la tabla de crecimiento esperado

para que se ajuste a la influencia que tendrían los factores genéticos predominantes en ese grupo. Por otra parte es posible estudiar la consecuencia de hábitos y condicionamientos de actividad física en los niños durante su desarrollo al efectuar variaciones en el factor de actividad física y observar las trayectorias arrojadas por el modelo como respuesta a dichas variaciones. Por último, para orientar estudios más completos sobre el fenómeno del desarrollo físico infantil ligado a los factores nutricionales, deberían hacerse combinaciones de las modificaciones ya mencionadas para observar el impacto que pueden tener en conjunto sobre el crecimiento.

28. CONCLUSIONES

Cada uno de los capítulos de este trabajo de grado tiene énfasis sobre uno de los propósitos contenidos en los objetivos propuestos durante la fase de planeación de la labor investigativa, sin olvidar las razones que definieron la metodología a emplear y que buscan trabajar de manera integral todos los objetivos en cada una de las iteraciones mejorando la respuesta que se puede dar al objetivo general en cada una de ellas. De esta manera, en este capítulo en particular se deseaba poner en práctica el proceso de modelado mediante la integración propuesta en un fenómeno de manera tal que permitiera un mayor estado de evolución del mismo; para lograr esto se debió explorar la respuesta a la inquietud surgida durante el tercer capítulo en donde se vio una clara tendencia de los fenómenos estudiados a presentar al hombre como intérprete y actor en los mismos.

En este cuarto y último capítulo se construyó un tercer modelo empleando la versión mejorada del proceso de modelado generado durante el trabajo del segundo capítulo que se presenta como una forma organizada y acorde con los procesos conocidos de desarrollo de modelos de la Dinámica de Sistemas clásica, y que utilizando una versión complementada del proceso propuesto por Requena, expande sus horizontes para permitir la creación de modelos que introduzcan elementos de Lógica Difusa de manera integrada y desde una temprana etapa de la construcción de modelos de fenómenos. El proceso se presenta como sólido y en esta última iteración no se ha requerido la inclusión de ningún cambio en el mismo, es más, a medida que se ha conseguido experiencia y práctica en su utilización se ha acortado el tiempo de trabajo sobre el mismo en general y sobre los procesos extra que requieren la integración en particular.

Retomando un poco los modelos realizados anteriormente se tiene hasta el momento un modelo económico-financiero, un modelo socio-económico, un modelo ambiental y ahora, gracias a este capítulo, un modelo del área de la salud, de los cuales sólo se conocían construcciones previas en el correspondiente con la situación económico-financiera construida tanto por investigadores internacionales y presentadas en documentos como Road Maps, así como por los creadores del proyecto anterior⁵⁶ y que ha sido reconstruido una vez más adaptándole algunas características propias del tipo de negocio analizado por el equipo de trabajo del presente proyecto, adicionalmente el modelo socio-económico que aunque no se poseen registros de la existencia del mismo con el enfoque dado en este trabajo, se duda de su inexistencia, además se realizó una labor adicional de construir el modelo de la manera tradicional previo a la inclusión de la lógica difusa en el mismo. Sin embargo de los dos últimos modelos, el correspondiente con la problemática ambiental y el que representa una situación del área de la salud, no se poseen registros de su construcción previa bien sea por medios clásicos o con la ayuda de la conjunción entre diversas disciplinas, para el registro, aunque no se descarta la existencia de algún modelo similar en otros lugares, la construcción de estos se realizó sin ningún tipo de ayuda externa diferente a la mencionada en el correspondiente texto.

56 Proyecto de grado: MODELO CONCEPTUAL GENERALIZADO DE UN SISTEMA PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES, Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Guillermo Luque y Vladimir Pradilla, 2003.

Los cuatro modelos son de diferente tipo de realidades, lo que no es muy útil a la hora de buscar elementos comunes entre ellos, pero a su vez permite barrer un espectro más amplio de posibilidades y con un poco de suerte encontrar problemas graves que posibilitan la limitación del alcance de la integración al encontrar situaciones en las cuales su aplicación sea inviable por diversas razones. Para pesar o gozo de los investigadores de este trabajo, no se encontró una limitante clara en cuanto al tipo de fenómenos a ser tratados por la nueva metodología o con la propuesta de proceso realizada, y la característica común a todas las situaciones modeladas hasta el momento no se hizo presente en la última construcción, sin embargo, sin ningún esfuerzo extra se pudo llevar a buen termino la creación del modelo correspondiente. Dicha característica que se empezaba a vislumbrar al final del tercer capítulo era la aparición del factor humano en todos los fenómenos analizados, éste se veía representado por medio de la inclusión del ser humano como individuo o sociedad que participa como intérprete y actor en el sistema. Incluso en algunos fenómenos recreados por medio de modelos que incluyen diferentes niveles de integración y que han sido desarrollados por grupos externos a los investigadores de este trabajo como el presentado por Ana Lucia Pérez e Isaac Dyner acerca de Competencias Laborales, en el cual dan un manejo por medio de Lógica Difusa a la intervención de las presiones laterales, hacía su aparición tal característica.

La creación del cuarto modelo corresponde con un fenómeno del área de la salud en el cual la intervención del ser humano como actor es prácticamente nula, puesto que la totalidad de los procesos de síntesis de tejidos ocurren dentro de su propio ser, sobre los cuales no tiene ningún tipo de control conciente más allá de la ingestión adecuada de nutrientes, y que puede ser obviada ya que no hace parte integral del modelo puesto que es un valor más del entorno y por ello del escenario a simular, hecha por tierra la suposición que sólo los fenómenos en los cuales el ser humano aparece como interprete y actor pueden ser modelados con la propuesta integradora realizada, y debido a que no se puede eliminar la presencia humana como intérprete de la situación, ya que inevitablemente es un ser humano o un grupo de los mismos los que en ultimas construyen el modelo y analizan los datos, la única limitante que puede observarse es que sobre el fenómeno puedan formularse reglas condiciones o leyes en términos lingüísticos.

Lamentablemente durante todo el trabajo realizado no se hizo necesaria la utilización de Sistemas de Inferencia Difusa que presentaran la particularidad de poseer más de una salida, y sólo se manejó una situación en la que se analizó la posibilidad de construir un FIS con más de dos entradas y que tras una revisión de la forma de dar prioridad por parte de los individuos a los parámetros del mismo se decidió transformarlo en dos sistemas de inferencia en cascada para representar de mejor manera la estructura de la decisión. Esto pone en tela de juicio la necesidad de agregar al módulo para el software Evolución esta funcionalidad, sin embargo que esta situación no se haya presentado durante la creación de los cuatro modelos aquí expuestos no elimina de manera definitiva la posibilidad de la existencia de muchos otros que requieran no sólo dos, sino muchas más salidas y por tanto no se hará ninguna modificación a la especificación de requisitos del sistema presentada en el capítulo anterior.

29. BIBLIOGRAFIA

Escuela de Medicina Pontificia Universidad Católica de Chile. Dra Andreina Cattani O.. "Características del Crecimiento y Desarrollo Físico". [en línea]. Dirección URL: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/CrecDess.html>> [Última Consulta: 10 de Mayo 2005].

Escuela de Medicina Pontificia Universidad Católica de Chile. Dra. María Isabel Hodgson Bunster. "Influencia de la Nutrición en el Crecimiento y Desarrollo". [en línea]. Dirección URL: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/InfNutrCrDess.html>> [Última Consulta: 10 de Mayo 2005].

Escuela de Medicina Pontificia Universidad Católica de Chile. Dra. María Isabel Hodgson Bunster. "Obesidad Infantil". [en línea]. Dirección URL: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/Obesidad.html>> [Última Consulta: 10 de Mayo 2005].

National Center for Health Statistics. National Center for Health Statistics. "Percentiles de Estatura por Edad y Peso por Edad". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/growthcharts/Spanishpdf95/co06l021.pdf>> [Última Consulta: 12 de Mayo 2005].

Nutrinfo.com.ar. Lic. Mariano Godnic. "Requerimientos de Energía". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/energy.html>> [Última Consulta: 13 de Mayo 2005].

Prof. Edgar Lopategui Corsino. Prof. Edgar Lopategui Corsino, "Glosario". Dirección URL: <<http://www.saludmed.com/Salud/Nutricion/N-Glosar.html>> [Última Consulta: 15 de Mayo 2005]

Sona Nutrition. *Sona Nutrition*. [en línea]. Dirección URL: <<http://www.sona.ie/glossary.asp>> [Última Consulta: 12 de Mayo 2005]

United States Department of Agriculture/Agricultural Research Service Children's Nutrition Research Center, Department of Pediatrics, Baylor College of Medicine, Houston, Texas. William W. Wong, Nancy F. Butte, Albert C. Hergenroeder, Rebecca B. Hill, Janice E. Stuff, and E. O'Brian Smith. "Are basal metabolic rate prediction equations appropriate for female children and adolescents?". *Journal of Applied Physiology* Vol. 81, No. 6, pp. 2407-2414, December 1996. [en línea]. Dirección URL: <<http://jap.physiology.org/cgi/content/full/81/6/2407>> [Última Consulta: 12 de Mayo 2005]

COMPLETAR Y ENTREGAR

30. CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados obtenidos del desarrollo de este trabajo de investigación han ido presentándose a lo largo de las conclusiones para cada una de las etapas del mismo, esto se debe al enfoque evolutivo adoptado en la metodología, que como se menciona en diferentes oportunidades, implica un refinamiento continuo de las respuestas halladas para resolver los cuestionamientos que motivaron este proyecto. Por esta razón se recomienda que se revise cada uno de estos apartes con el fin de obtener una visión global de la situación y comprender un poco mejor, cómo por medio del trabajo continuado se obtuvieron las conclusiones que se resumen a continuación.

El primero de los objetivos específicos que cubrió con esta investigación requería llevar a cabo una revisión y análisis del proyecto previo con el fin de evaluar y enriquecer la propuesta metodológica allí expuesta. A partir de la corrección de los errores de procedimiento que se encontraron esa tesis de grado se identificaron elementos relevantes a la hora de aplicar esta perspectiva de integración. Es así como dependiendo del tamaño del grupo encargado de la elaboración del modelo y de su experiencia tanto con Dinámica de Sistemas como en la creación de sistemas de inferencia difusa, existen dos posibilidades esenciales para la integración, más específicamente para la creación de los FIS que se van a usar en el modelo; la primera consiste en que el modelador adquiera la responsabilidad de su creación y se apoye en un experto del fenómeno que le ayude a definir valores, reglas, rangos, etc.; y una segunda en la que el modelador busque un experto en Lógica Difusa al cual pondrá en contacto con el experto en el fenómeno para que, de manera conjunta, creen las tablas que serán incluidas en el modelo, delegando de esta forma la labor de la creación de los FIS.

Se definieron una serie de acciones a realizar para llevar a buen término la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa. A continuación se presentarán de manera secuencial dichas etapas al emplear la opción en la cual los modeladores serán los encargados de la creación de los FIS.

1. Identificación de variables imprecisas o inconexas y que representan situaciones de decisión
Etapas: Definición de magnitudes
Descripción: Se selecciona entre todas las variables que conformarán el modelo, aquellas que representan la toma de una decisión por cualquiera de los entes involucrados en el fenómeno para su posterior representación como sistema de inferencia difusa.
2. Identificación de las variables de tipo difuso mediante una simbología especial dentro del diagrama Flujo-Nivel
Etapas: Diagrama Flujo-Nivel
Descripción: Dependiendo si el diagrama se realiza de forma manual o apoyados en algún software para el modelado las variables previamente identificadas se representan con una simbología especial que, en el primer caso puede ser

seleccionada por el modelador, y en el segundo se recomienda usar las no-linealidades (tablas).

3. Asistencia de un experto en el fenómeno

Etapas: Definición de ecuaciones

Descripción: Se recomienda, y en muchos casos se requiere la asesoría de un experto en el fenómeno que ayude a los modeladores en la etapa de construcción de los sistemas de inferencia difusa.

3.1 Definición de las reglas de inferencia

Etapas: Definición de ecuaciones

Descripción: El comportamiento de los sistemas de inferencia se representa por medio de reglas que responden a la opinión del experto sobre el funcionamiento del fenómeno.

3.2 Definición de la cantidad de las funciones de membresía

Etapas: Definición de ecuaciones

Descripción: Por medio de las reglas definidas por el experto se puede extraer el número de funciones de membresía para cada elemento del FIS, además del número de entradas y salidas.

3.3 Definición de los rangos

Etapas: Calibrado

Descripción: Por medio de información recopilada previamente por el experto o gracias a la obtenida por medio de nuevos “experimentos” se definen los rangos de las entradas y salidas, posteriormente de todas las funciones de membresía.

3.4 Definición de la forma de las funciones de membresía (trabajo conjunto)

Etapas: Calibrado

Descripción: A partir del conocimiento del experto sobre el comportamiento del fenómeno, el modelador determina las pendientes y formas de las funciones de membresía que mejor se ajustan a esa realidad.

4. Definición de los valores de las funciones de membresía

Etapas: Calibrado

Descripción: El modelador determina los parámetros necesarios para representar los rangos y forma de cada una de las funciones de membresía para el sistema de inferencia.

5. Definición de los métodos de fuzzificación y defuzzificación:

Etapas: Calibrado

Descripción: Se determinan los métodos de fuzzificación y defuzzificación adecuados para alimentar al sistema de inferencia con datos cuantitativos y para traducir sus salidas cualitativas a valores numéricos.

6. Evaluación del FIS con las posibles entradas

Etapas: Calibrado

Descripción: Se selecciona un paso adecuado para cubrir todo el rango de una entrada y se genera un vector que se evalúa mediante el FIS, repitiendo esta operación para cada entrada y para cada sistema de inferencia.

7. Construcción de la tabla que representa al FIS

Etapas: Calibrado

Descripción: Se reúnen todos los valores de entrada con las respectivas respuestas dadas por la evaluación de dicho conjunto de datos.

8. Inclusión de la tabla en el modelo

Etapas: Calibrado

Descripción: Una vez ha sido creada la tabla se introducen los valores de la misma dentro del software de apoyo al modelado para su utilización durante el proceso de modelado.

Además, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones respecto a particularidades derivadas de la integración misma:

- La determinación de los valores de entrada que son evaluados mediante el sistema de inferencia debe hacerse de manera que la cantidad de datos cubra el rango de entrada con suficiente precisión para que el método de interpolación no represente una pérdida de exactitud significativa.
- Deben conocerse los máximos y mínimos de las variables de decisión ya que no se dispone de extrapolación para estimar valores del FIS fuera de sus rangos de operación predefinidos.
- Se presenta alta dificultad en la realización de cambios no superficiales sobre los sistemas de inferencia: número de entradas, método de inferencia, carácter de las funciones de membresía, etc.

Un nuevo camino, previamente inexplorado, permitió iniciar la construcción de los modelos desde otra perspectiva y realizar una mayor integración entre las diversas matemáticas que proporcionan ayuda; en este tipo de construcción algunos elementos del modelo de Dinámica de Sistemas son reemplazados por funciones de Lógica Difusa (FIS) que se comportan como lo harían al estar usándose de manera independiente, con la diferencia que al estar integrados en el modelo sus entradas están sujetas a las variaciones de los demás elementos. Este tipo de integración fuerte da como resultado una construcción diferente a la convencional de Dinámica de Sistemas, puesto que en su creación se incluyen elementos distintos a las ecuaciones diferenciales lineales y no lineales que definen este tipo de representación. Esta nueva forma de acercamiento generó una metodología para el modelado.

Es de vital importancia no sólo que el modelador conozca la existencia de esta posibilidad, sino que además comprenda de manera básica los conceptos involucrados en los sistemas de inferencia difusa, ya que debe determinar desde la misma descripción del sistema, qué relaciones y elementos pueden ser representados de mejor manera por este útil matemático. Las etapas del proceso de modelado en presencia de la perspectiva de integración fuerte son:

1. Descripción del Sistema, Identificación de Elementos y Relaciones Fundamentales: Al llevar a cabo el reconocimiento del fenómeno desde la postura integradora fuerte se realiza la identificación de relaciones y elementos semi-estructurados que

representan situaciones de decisión, categorización, o percepción, que poseen aspectos cualitativos y que son susceptibles de ser representados mediante sistemas de inferencia difusa.

2. Conceptualización del Sistema, Diagrama de Influencias: Dependiendo de la situación particular, es factible la aparición de relaciones que en un momento dado no pueda definirse si son de influencia positiva o negativa sobre algunos elementos, en estos casos pueden aparecer relaciones de signo no determinado o de signo dual como consecuencia de la dinámica misma del sistema en un momento específico.
3. Definición Precisa de Cada Magnitud, Código de Variables: En la construcción del código de variables se debe identificar de manera distintiva aquellas que corresponden con sistemas de inferencia difusa y adicionalmente, incluir la demás información pertinente dentro de la tabla, es decir, el nombre abreviado, el nombre completo y las unidades en las que se expresa.
4. Diagrama Flujo-Nivel: El uso de una simbología especial permite la rápida identificación de la naturaleza de los diversos elementos de un modelo de dinámica de sistemas, sin recurrir a examinar la tabla de variables o las ecuaciones que las describen, para esto se ha seleccionado un símbolo que pueden indicar el uso de sistemas de inferencia difusa en el modelo y que es candidato para su inclusión en una futura modificación de la herramienta.
5. Definición de Ecuaciones: Comparándola con el proceso de creación de los modelos apoyados esta etapa es la que presenta las más pequeñas modificaciones al recurrir igualmente a la ayuda de un experto para definir las reglas, los rangos de entrada y los rangos de salida; con la diferencia que en este caso el modelador puede hacer parte activa de dicho procedimiento.
6. Calibrado: Durante la etapa de calibrado se determina la forma y tipo de las funciones de membresía que mejor representan los aspectos del fenómeno que les corresponden; así mismo se deben realizar los ajustes necesarios al conjunto de reglas de manera que recojan adecuadamente el comportamiento de los elementos representados mediante sistemas de inferencia difusa.
7. Análisis de sensibilidad: Las funciones de membresía de algunos FIS en cuanto al tipo y parámetros de las mismas, se ajustan al concepto de variables endógenas según sea posible influir sobre ellas desde el fenómeno estudiado, es así como se hace válido estudiar las consecuencias de efectuar cambios sobre los tipos de las funciones de membresía y su forma, representada por sus parámetros, y a partir de esto estimar una sensibilidad del modelo a cambios en este conjunto de cantidades.

El segundo y tercer objetivo están intrínsecamente relacionados debido a que ambos involucran la realización de diversos modelos y la exploración de la posibilidad de emplear integración en fenómenos de diverso tipo, tanto ya modelados como no abordados previamente por la Dinámica de Sistemas tradicional, buscando definir el tipo de realidades tratables desde la nueva perspectiva.

No se encontró una limitante en cuanto al tipo de fenómenos a ser tratados por la nueva metodología o con la propuesta de proceso realizada, la característica común a todas las situaciones modeladas era la aparición del factor humano que se veía representado por medio de la inclusión del hombre como individuo o sociedad que participa como intérprete y actor en el sistema, pero ésta no se hizo presente en la última construcción, desvirtuándola. Debido a que no se puede eliminar la presencia humana como intérprete, ya que inevitablemente es un ser humano o un grupo de los mismos los que en últimas construyen el modelo y analizan los datos, la única limitante que puede observarse es que sobre el fenómeno puedan formularse reglas condiciones o leyes en términos lingüísticos.

El cuarto objetivo trazado al inicio de este trabajo de grado estaba orientado hacia el cambio que presenta el proceso de modelado con Dinámica de Sistemas al emplear la propuesta de integración con Lógica Difusa. Para la integración débil, las únicas etapas en la metodología para creación de modelos con Dinámica de Sistemas que se vieron afectadas son las de: Definición de Variables, Diagrama de Flujo-Nivel y Definición de Ecuaciones, las dos primeras sólo de manera superficial ya que el desarrollo de las mismas no se ve alterado sino simplemente utiliza notaciones y consideraciones especiales sobre algunos elementos del modelo; en el caso de la Definición de Ecuaciones, el proceso no cambia, sino que se ofrece una herramienta adicional para la definición de la ecuación/tabla correspondiente a los elementos tratados mediante Lógica Difusa, su mayor diferencia es que se presenta una nueva forma de construir las tablas para las no-linealidades, particularmente aquellas que representan toma de decisiones, percepciones o categorizaciones.

Un cambio que se presenta es la eliminación de operaciones muchas veces forzadas, que se usan frecuentemente para eliminar inconsistencias dimensionales que se generarían al momento de incorporar las relaciones no-lineales a las ecuaciones del modelo, pero gracias a los sistemas de inferencia difusa el cambio de las unidades que se genera en la mente de los individuos se puede representar haciendo a un lado la preocupación por las unidades de la información sobre la cual se está efectuando juicios.

En la conjunción desde la perspectiva del modelo integrado se observan cambios de fondo en muchas de las etapas del procedimiento sin llegarse a generar nuevas fases para el desarrollo de los modelos. Los cambios se manifiestan desde la forma misma en que el modelador aborda el fenómeno al permitirle concebir varias relaciones fundamentales como conjuntos de reglas que posteriormente se transforman en sistemas de inferencia difusa.

Al realizar un paralelo entre los resultados obtenidos por cada perspectiva de integración, se puede apreciar que las principales diferencias ellas se presentan en términos del proceso de modelado y de la conceptualización del caso de estudio. Para la perspectiva de integración débil se busca crear un modelo apoyado y se ve a los sistemas de inferencia difusa como una herramienta más entre las alternativas existentes; en la integración fuerte fragmentos del fenómeno se conceptualizan como sistemas de reglas y variables lingüísticas que son mejor representadas por sistemas de inferencia difusa debido a sus características, lo que permite una transición más natural entre el fenómeno y el modelo.

El quinto objetivo se relaciona con una proposición de requisitos para un modulo de la herramienta de apoyo al modelado Evolución, la cual no se encuentra preparada para soportar adecuadamente ninguna de las propuestas de integración.

A continuación se presenta una lista de características deseables al momento de definir tablas que permitirían el uso de este elemento para ser usadas como contenedores de la información extraída de los FIS:

- Se necesita que las no-linealidades admitan más de una entrada, obteniéndose de esta manera tablas n-dimensionales.
- Implementarse salidas vectoriales para las no-linealidades de manera que permitan el uso de sistemas de inferencia difusa de múltiples salidas.
- Eliminar la restricción existente para las no-linealidades que obliga a definir una malla de igual espaciado, aumentando con esto la flexibilidad de su construcción.
- Realizar las modificaciones a la ayuda correspondiente con estas propuestas.

Para la aplicación adecuada del enfoque de integración fuerte, se requiere de la construcción de un módulo para Evolución que cumpla con los siguientes requisitos:

30.1 REQUISITOS PARA EL USUARIO

- Poder crear dentro de los diagramas de Flujo-Nivel de Evolución un elemento que corresponda con un sistema de inferencia difusa.
- Poseer un símbolo propio para los FIS que los haga fácilmente distinguibles de otros elementos de Evolución.
- Ofrecer una descripción completa que incluya definición, ecuación y elementos relacionados.
- Debe trabajar como una función con n parámetros y que esté en capacidad de entregar más de una salida.
- Permitir la edición de tres partes del FIS que serían: el universo de entrada, el universo de salida y el motor de inferencia con su conjunto de reglas.
 - Especificaciones para el universo de entrada:
 - Se deben poder agregar, modificar y eliminar variables de entrada (definir y redefinir rangos, nombres, tipos y parámetros de los difusores).
 - Incluir, modificar y eliminar funciones de membresía para cada una de las variables de entrada.
 - Definir el tipo de las funciones de membresía de manera general por medio de la selección de la representación de la ecuación que

la describe. Las funciones entre las que se debe poder seleccionar son, pero no están limitadas a: Tipo Z, Campana Gaussiana, Tipo S, Tipo L, Triángulo, Pi, Pi-Campana, Singleton y Tipo Gamma.

- Incluir de manera precisa los parámetros de las funciones.
 - Manipular de manera gráfica la forma de las funciones, si así se desea.
- Especificaciones para el universo de salida:
 - Se deben poder agregar, modificar y eliminar variables de salida (definir y redefinir rangos, nombres, tipos y parámetros de los congresores).
 - Incluir, modificar y eliminar funciones de membresía para cada una de las variables de salida.
 - Definir el tipo de las funciones de membresía de manera general por medio de la selección de la representación de la ecuación que la describe. Las funciones entre las que se debe poder seleccionar son, pero no están limitadas a: Tipo Z, Campana Gaussiana, Tipo S, Tipo L, Triángulo, Pi, Pi-Campana, Singleton y Tipo Gamma.
 - Incluir de manera precisa los parámetros de las funciones.
 - Manipular de manera gráfica la forma de las funciones, si así se desea.
 - Especificaciones para el motor de inferencia con su conjunto de reglas:
 - Determinar el sistema de inferencia como Mamdani o Sugeno.
 - Poder determinar diferentes métodos para las operaciones lógicas.
 - Agregar y eliminar reglas
 - Asignar pesos a cada una de las reglas
 - Asignar antecedentes y consecuentes según las funciones de membresía definidas para las entradas y salidas.
 - Permitir definir operadores lógicos como negaciones, conjunciones y disyunciones para los antecedentes y consecuentes de cada una de las reglas.
- Ofrecer facilidades para realizar cálculos paso a paso sobre valores evaluados por el FIS.
 - Permitir graficar las curvas y superficies de transferencia a partir de la evaluación de todo el espectro del sistema de inferencia.
 - Permitir la evaluación rápida de valores de entrada definidos por el usuario.
 - Agregar la ayuda especializada de este elemento a la ayuda que ofrece el software de Evolución.

30.2 REQUISITOS PARA EL SISTEMA

Debido a que se propone un módulo para Evolución, es deseable que los requisitos de sistema para este nuevo componente no provoquen que los requisitos mínimos del software sean excesivamente superiores a los de la versión original de la herramienta

- Sistema Operativo Windows 95 o superior
- Procesador Pentium II de 300 Mhz
- 64 MB de RAM
- Espacio libre en Disco Duro de 10 MB
- Teclado y Ratón

Adicionalmente a los resultados obtenidos con la investigación que responden satisfactoriamente a los objetivos trazados, se pueden hacer algunas consideraciones acerca de las implicaciones que para el desarrollo del trabajo tuvo la metodología adoptada.

El trabajo por prototipado evolutivo permitió la maduración la identificación inicial de características e implicaciones de la posibilidad de integrar Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa que se presenta como un tópico particular del campo de la Inteligencia Artificial. Esta metodología fue útil dada la incertidumbre generada por la aplicación de los lineamientos metodológicos, y otra opción de desarrollo hubiese dificultado su manejo al obligar a los investigadores a reiniciar el proyecto con cada obstáculo asociado a un inadecuado planteamiento de la investigación.

La utilización de esta metodología resulta de difícil manejo por que genera gran carga de trabajo al efectuar múltiples iteraciones, existe el riesgo de caer en un ciclo indefinido de depuración y refinación cada vez más sutil. A causa de la necesidad de retomar todos los hallazgos parciales en cada uno de los ciclos de evolución las nuevas construcciones a que se llegue pueden tornarse repetitivas y monótonas. Hay que tener un especial cuidado en la documentación, pues al realizar una nueva iteración y regresar a revisar lo anteriormente escrito, se puede caer en alteraciones de los documentos de ciclos previos consecuencia de nuevos descubrimientos que se dieron de manera posterior a ellos, lo cual afecta la presentación de los progresos en la investigación.

Este proyecto aporta a la investigación con Dinámica de Sistemas, al ofrecer una nueva perspectiva para estudiar fenómenos y mejorar la construcción de los modelos correspondientes. Además acerca su lenguaje al natural, al permitirle representar relaciones cualitativas y variables lingüísticas, mediante la integración con Lógica Difusa.

Este proyecto sirvió de medio para completar la formación como ingenieros de sistemas de sus autores al acercarlos al perfil profesional propuesto por la EISI, que exige capacidades para resolver problemas, en forma eficaz, eficiente y fundamentada en la concepción sistémica del mundo y sus fenómenos. Además de ser aptitudes en la identificación clara de problemas existentes y proponer como solución un modelo representativo, que relacione todos los componentes en él involucrados, asegurando así una solución eficiente mediante la utilización de los recursos informáticos disponibles.

31. RECOMENDACIONES

Aunque el trabajo que se realizó a lo largo de este proyecto de investigación, resolvió las dudas más relevantes surgidas de la exploración de los lineamientos metodológicos planteados por un proyecto anterior, y las nuevas surgidas de la evolución de éstos, todo ello dentro del marco de la Dinámica de Sistemas y la Lógica Difusa al considerar la inclusión de FIS dentro de representaciones con Dinámica de Sistemas, no se puede afirmar de ninguna manera que se hayan cerrado todas las puertas y cubierto todos los aspectos que un área tan interesante y rica puede ofrecer. Es por esto que a continuación se presentan algunas recomendaciones para que los lectores de éste documento tengan en cuenta y examinen por sus propios medios.

Como se indicó durante el desarrollo del trabajo y se recalcó en las conclusiones, la única limitante que se observó sobre las características de los fenómenos a modelar, es que algunas de las relaciones puedan formularse a modo de reglas, condiciones o leyes en términos lingüísticos. Eso permite la aplicación de las propuestas de integración en un sinnúmero de situaciones, y en este sentido se recomienda que se continúe con la misma buscando definir más claramente, por medio de la identificación de contraejemplos, el alcance real que puede conseguir la integración. Entendiéndose por contraejemplos, el estudio de situaciones en las que no sea posible llevar a cabo la integración propuesta.

Durante la ejecución de etapas avanzadas del trabajo aquí presentado, se detectó una nueva posibilidad para abordar la integración entre Dinámica de Sistemas y otras formas de representación. Esta tercera alternativa se encuentra en un punto intermedio entre la visión de modelo apoyado y la de modelo integrado, y se le denominó integración para modelos complementarios; en ella se tienen dos modelos construidos con diferentes medios de representación, como por ejemplo un modelo de Dinámica de Sistemas y otro de Lógica Difusa, diseñados de tal forma que puedan intercambiar información, pero funcionando de manera independiente. El propósito es que cada uno de ellos complemente el trabajo que está realizando el otro sin perder su naturaleza autónoma. Esta posibilidad no fue contemplada dentro de la presente investigación debido a su tardía aparición, y aunque la metodología empleada hubiera permitido su inclusión, hacerlo hubiese sobrepasado los límites trazados para este trabajo de grado en cuanto a objetivos, tiempos y presupuesto. Por ello se recomienda un análisis completo de esta propuesta que permita la generación de un proceso adecuado para la construcción de estos modelos adjuntos y el análisis de su aplicabilidad en diversos fenómenos.

La Lógica Difusa se presenta como uno de los posibles medios de representación del conocimiento dentro del gran abanico de opciones que ofrece la matemática no convencional. Sin embargo, la exploración de las otras posibilidades no ha sido considerada en detalle de manera suficiente, como si se ha hecho con la opción aquí desarrollada. Útiles como los autómatas celulares, los algoritmos genéticos y las redes neuronales, entre otros, pueden ser de gran ayuda en el estudio de características particulares de los fenómenos y es conveniente examinar la viabilidad de realizar diferentes tipos de integración entre la Dinámica de Sistemas y estas alternativas. En este

sentido ya se ha avanzado un poco por medio de una propuesta para el desarrollo de un proyecto de post-grado que abarque estas opciones.

Gracias a que la investigación aquí desarrollada ha conseguido determinar la viabilidad de llevar a cabo integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa por medio de dos perspectivas, se hace necesaria la construcción de una herramienta que facilite este tipo de conjunción para conseguir una mayor difusión de la misma entre la comunidad sistémica que facilite la labor de identificación de límites propuesta anteriormente y la consecuente aplicación de esta integración en la resolución de problemas de diversa índole. Como base para la construcción de este software se presentaron, en este proyecto de investigación, los requisitos que debe suplir el mismo para ser considerada una herramienta idónea en su propósito de difundir esta propuesta.

Durante la realización de este trabajo de investigación se llevó a cabo una divulgación parcial de resultados entre los estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la UIS que se encontraban cursando la asignatura “Sistemas Dinámicos II” la cual tuvo bastante acogida al tiempo que facilitó el desarrollo de algunas de las tareas propuestas para responder a los objetivos de este proyecto. Con el fin de aumentar la divulgación de los resultados obtenidos por esta investigación, de garantizar la continuidad y aplicación de los lineamientos, y enriquecer los contenidos de la asignatura, se propone la realización de un seminario/taller para los estudiantes que estén matriculados en este curso, para el cual se puede emplear este documento como apoyo.

Como ya se resaltó en las conclusiones de esta investigación, adoptar la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa en el estudio de fenómenos, ocasiona cambios en la forma como se abordan las situaciones, lo que generó un nuevo proceso de modelado para llevar a cabo las construcciones desde la nueva propuesta. Sin embargo, debido al alcance planteado para el trabajo aquí presentado, no se indagó sobre los efectos que la integración pueda tener sobre la forma de pensamiento y consideraciones que efectúen los modeladores que la adopten, en particular aquellos que llevan trabajando mucho tiempo con la metodología convencional. También se propone explorar qué tan fácil puede resultar la comprensión de los modelos desarrollados a partir de la perspectiva integradora para las personas que no están familiarizadas con Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa.

32. BIBLIOGRAFÍA

Andrade, Hugo y otros, Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad, División Editorial y de publicaciones UIS, primera edición, Bucaramanga, 2001.

Aracil, Javier. Introducción a la Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial S.A., Tercera Edición, Madrid, 1986.

Aracil, Javier; Máquinas, Sistemas y Modelos: Un Ensayo Sobre Sistémica, Editorial Tecnos S.A., Madrid, 1986.

Aracil, Javier; Publicaciones de Ingeniería de Sistemas: Dinámica de Sistemas, Isdefe, Versión PDF de la primera edición, Madrid, 1995

Arcila, N.O., Rodríguez, S. A., Estudio de Caso de la Producción de Coca en el Departamento del Guaviare. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Área de Asentamientos Humanos, Santa Fe de Bogotá, Septiembre de 1997.

BBC World Service. BBC News. "Manipulación Genética de Cultivos Ilícitos". [en línea]. Dirección URL: < <http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/news/default.stm> > [Última Consulta: Diciembre 4 de 2004].

Buckley, Walter. La Sociología y las Teorías Modernas de los Sistemas, Amorrortu Editores, Buenos Aires, 1968.

Cuellar Yemeris, Mario; Lince Mercado, Emiliano; Evolución 3.5: Herramienta Software para el Modelamiento y Simulación en Dinámica de Sistemas, Proyecto de grado, Bucaramanga, 2003.

Diccionario enciclopédico lexis 2, volumen 13. Bibliograf S. A, 1976, Editorial Printer latinoamericana Ltda.

Dirección Nacional de estupefacientes. Hernando Bernal Contreras y Martha Paredes Rosero. "Impacto Ambiental Ocasionado por las Sustancias Químicas, los Cultivos Ilícitos Y Las Actividades Conexas". [en línea]. Dirección URL: < <http://www.dnecolombia.gov.co/doc/Publicaciones/estrategica/problematika.pdf> > [Última Consulta: Diciembre 12 de 2004].

Dyner R., Isaac, Dinámica de sistemas y simulación continua en el proceso de planificación, Colciencias, Primera edición, Santa fe de bogota, 1993

Escuela de Medicina Pontificia Universidad Católica de Chile. Dra Andreina Cattani O.. "Características del Crecimiento y Desarrollo Físico". [en línea]. Dirección URL: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/CrecDess.html>> [Última Consulta: 10 de Mayo 2005].

Escuela de Medicina Pontificia Universidad Católica de Chile. Dra. María Isabel Hodgson Bunster. "Influencia de la Nutrición en el Crecimiento y Desarrollo". [en línea]. Dirección URL: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/InfNutrCrDess.html>> [Última Consulta: 10 de Mayo 2005].

Escuela de Medicina Pontificia Universidad Católica de Chile. Dra. María Isabel Hodgson Bunster. "Obesidad Infantil". [en línea]. Dirección URL: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/Obesidad.html>> [Última Consulta: 10 de Mayo 2005].

Fester, Phillips W. Introducción a la Ciencia Ambiental. El Ateneo, Buenos Aires, 1975.

Galviz, Julio César. "SOS por las disqueras (Análisis)", Artículo publicado en el periódico EL TIEMPO, Bogotá, 20 de Junio de 2004.

Gestiopolis.com. Mauricio Lefcovich. "Sistema de Manufactura Just-In-Time - JIT". [en línea]. Dirección URL: < <http://www.gestiopolis.com/recursos3/docs/ger/jitlefconew.htm>> [Última Consulta: Septiembre 15 de 2004].

Gómez, Luis Carlos, Proyectos Informáticos, documento inédito, Bucaramanga, 2001-2003.

Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente de la Universidad de Buenos Aires (GEPAMA-UBA). Silvia Diana Matteucci y Jorge Morello. "Aspectos Ecológicos del Cultivo de la Coca". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.gepama.com.ar/matteucci/downloads/Coca.pdf>> [Última Consulta: Diciembre 5 de 2004].

Gutiérrez, Juan Carlos. "El Mundo de los Piratas", Artículo publicado en el periódico VANGUARDIA LIBERAL, Bucaramanga, 7 de Noviembre de 2004.

Klir, George; Yuan, Bo; Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications, primera edición, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1995.

Luque, Guillermo; Pradilla, Vladimir. Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar la Toma de Decisiones: Enfoque Integrador Entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Proyecto de grado, Bucaramanga, 2003.

Madge, John. Las Herramientas de la Ciencia Social, Editorial Paidós S.A., Argentina, 1973.

Manuales de Fuzzy Logic Toolbox de MatLab 6.5 (R13)

Masters, Gilbert M. Introduction to Environmental Engineering and Science. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 1998.

Mendel, Jerry. Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. University Of Southern California, Los Angeles. Prentice Hall PTR, 1st Edition, 2000.

National Center for Health Statistics. National Center for Health Statistics. "Percentiles de Estatura por Edad y Peso por Edad". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/growthcharts/Spanishpdf95/co06l021.pdf>> [Última Consulta: 12 de Mayo 2005].

Nutrinfo.com.ar. Lic. Mariano Godnic. "Requerimientos de Energía". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/energy.html>> [Última Consulta: 13 de Mayo 2005].

Policía Nacional – Dirección Antinarcoóticos y Dirección Nacional de Estupefacientes. Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos – SIMCI. Procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales LANDSAT y SPOT.

Policía Nacional – Dirección Antinarcoóticos y Dirección Nacional de Estupefacientes. Proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos – SIMCI. Procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales LANDSAT y SPOT. "Cultivos Ilícitos y el Programa de Erradicación". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.dnecolombia.gov.co/doc/Publicaciones/estrategica/libblanco.pdf>> [Última Consulta: Diciembre 3 de 2004].

Punks Unidos, Argentina. Punks Unidos. "Coca". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.punksunidos.com.ar/salud/coca.htm>> [Última Consulta: Diciembre 5 de 2004].

Quintero, Felix Leonardo. "En Colombia, el 70% del mercado musical es de los 'piratas'", Artículo publicado en el periódico EL TIEMPO, Bogotá, 19 de Junio de 2004.

Prof. Edgar Lopategui Corsino. Prof. Edgar Lopategui Corsino, "Glosario". Dirección URL: <<http://www.saludmed.com/Salud/Nutricion/N-Glosar.html>> [Última Consulta: 15 de Mayo 2005]

Requena, Alberto; Martinez, Silvio. Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial, Madrid, 1986.

Rivera Palacios, César; Sarmiento Villamizar, Freddy; Andrade Sosa, Hugo; Memorias Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas: Integración Entre la Dinámica de Sistemas y Otras Matemáticas para la Representación del Conocimiento, División Editorial y de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2004.

Sindicado Profesional de Policía Uniformada, España. Sindicato Profesional de Policía Uniformada. "Cocaína". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.sppu.com/noticias/especiales/drogas/cocaina.htm>> [Última Consulta: Diciembre 4 de 2004].

Sociedad General de Autores y Editores, España. Empresa Mega Investment Business, Ltd. "Resumen del Informe Sobre la Estructura de Costes de una Red de Piratería". [en línea]. Dirección URL: <http://www.sgae.es/recursos/pdf/pirateria_2004/informe.pdf> [Última Consulta: 14 de Noviembre 2004].

Sociedad General de Autores y Editores, España. Instituto de Empresa. "Resumen del Informe Sobre Estimación de los Efectos Económicos de la Piratería". [en línea]. Dirección URL: <http://www.sgae.es/recursos/pdf/pirateria_2004/estimacion_efectos.pdf> [Última Consulta: 14 de Noviembre 2004]

Sona Nutrition. *Sona Nutrition*. [en línea]. Dirección URL: <<http://www.sona.ie/glossary.asp>> [Última Consulta: 12 de Mayo 2005]

Sterman, John D. Business Dynamics: Systems Thinking for a Complex World, Mc Graw Hill, New York, 2000.

Universidad de los Andes, Colombia. R. E. Ramos C., J. P. Ramos B. "Evaluación ambiental del impacto de cultivos de coca y el procesamiento de la hoja de coca". [en línea]. Dirección URL: <http://www.cultivosilicitoscolombia.gov.co/documentos/eval_ambiental.pdf> [Última Consulta: Diciembre 6 de 2004].

Universidad Interamericana de Puerto Rico, Recinto de Ponce. Rafael Balzac. "Competencia Perfecta". [en línea]. Dirección URL: <<http://ponce.inter.edu/cai/reserva/rbalzac/competencia.html>> [Última Consulta: Septiembre 13 de 2004].

Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Seccional Bogotá. Oscar G. Duarte. "Software Desarrollado". [en línea]. Dirección URL: <<http://www.ing.unal.edu.co/~ogduarte/softwareDetallado.htm>> [Última Consulta: 10 May 2005]

University of North Carolina, North Carolina. Felix Oberholzer, Koleman Strumpf. "The Effect of File Sharing on Record Sales: An Empirical Analysis". [en línea]. Dirección URL: <http://www.unc.edu/~cigar/papers/FileSharing_March2004.pdf> [Última Consulta: 15 de Noviembre 2004].

United States Department of Agriculture/Agricultural Research Service Children's Nutrition Research Center, Department of Pediatrics, Baylor College of Medicine, Houston, Texas. William W. Wong, Nancy F. Butte, Albert C. Hergenroeder, Rebecca B. Hill, Janice E. Stuff, and E. O'Brian Smith. "Are basal metabolic rate prediction equations appropriate for female children and adolescents?". Journal of Applied Physiology Vol. 81, No. 6, pp. 2407-2414, December 1996. [en línea]. Dirección URL: <<http://jap.physiology.org/cgi/content/full/81/6/2407>> [Última Consulta: 12 de Mayo 2005]

URIBE, S., Proyecto sobre rendimientos de las plantaciones de coca en Colombia., Informe de progreso #5. Octubre 25 de 1999.

Von Bertalanffy, Ludwing, Teoría general de los sistemas, Fondo de cultura económica, primera edición en español, México 1979, Segunda reimpresión Santa fe de Bogotá, 2000.

Whelan, Joseph; Msefer, Kamil; Road Maps File D-4388: Economic Supply & Demand, MIT, Massachusetts, 1996.

ANEXO A. EJEMPLO DE CÓDIGO C DE UN DLL PARA EVALUAR UN FIS

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

#define NUMEROREGLAS 12
#define NUMEROVARIABLESENTRADA 2
#define NUMEROVARIABLESSALIDA 1
#define NUMEROTOTALCONJUNTOSENTRADA 7

struct conjunto{
    char nombre[40];
    double minimo;
    double maximo;
};

struct variable{
    char nombre[40];
    double minimo;
    double maximo;
    int intervalos;
    double intervalo;
    int numeroConjuntos;
};

struct difusor{
    double minimo;
    double maximo;
    double centro;
    double var1;
    double var2;
    double var3;
    double var4;
    int puntos;
    double intervalo;
};

struct variable VariablesEntrada[NUMEROVARIABLESENTRADA];
struct variable VariablesSalida[NUMEROVARIABLESSALIDA];
struct conjunto Entradas[NUMEROTOTALCONJUNTOSENTRADA];
struct difusor Difusores[NUMEROTOTALCONJUNTOSENTRADA];
int Reglas[NUMEROREGLAS][NUMEROVARIABLESENTRADA+NUMEROVARIABLESSALIDA];
double Modificadores[NUMEROREGLAS][NUMEROVARIABLESENTRADA];

double CentrosAltura[NUMEROREGLAS][NUMEROVARIABLESSALIDA];

void llenarDatos();
void llenarVariablesEntrada();
void llenarVariablesSalida();
void llenarEntradas();
void llenarDifusores();
```

```

void llenarReglas();
void llenarModificadores();

void llenarCentrosAltura();

void calcular(double *ent,double *sal);

double salidaConcreta(int NumeroSalida, double *entra);
double salidaConcreta0(double *entra);

double pertenenciaComposicion(int numVar, int numRegla, double sal);
double pertenenciaDifusores(double *ent);
double pertenenciaImplicacion(int numSal, int numRegla,double *ent,
double sal);
double pertenenciaConsecuente(int numSal, int numRegla, double sal);
double pertenenciaAntecedente(int numRegla, double *ent);
int activarRegla(int numRegla);
double pertenenciaDifusor(int numVar, double x);
double pertenenciaVariableEntrada(int numVar,int numConj, double x);
double pertenenciaVariableSalida(int numVar,int numConj, double x);

int indiceEntradas(int numRegla,int numVar);
void actualizarEntradas(double *ent);

double Implicacion(double x,double y);
double Composicion(double x,double y);
double Conjuncion(double x,double y);
double And(double x,double y);

//Funcion que se exporta en el dll y evalúa el FIS PropCultivar
__declspec(dllexport) double __stdcall PropCultivar(double factorganancia,
double presiongobierno)
{
    double entra[NUMEROVARIABLESENTRADA];
    double sale[NUMEROVARIABLESSALIDA];
    llenarDatos();
    entra[0]=(double)factorganancia;
    entra[1]=(double)presiongobierno;
    calcular(entra,sale);
    return sale[0];
}

void llenarDatos()
{
    llenarVariablesEntrada();
    llenarVariablesSalida();
    llenarEntradas();
    llenarDifusores();
    llenarReglas();
    llenarModificadores();
    llenarCentrosAltura();
}

void calcular(double *entra, double *sale)

```

```

{
    int i;
    for(i=0;i<NUMEROVARIABLESSALIDA;i++)
    {
        sale[i]=salidaConcreta(i,entra);
    }
}

void actualizarEntradas(double *ent)
{
    double dx;
    int i;
    for(i=0;i<NUMEROVARIABLESENTRADA;i++)
    {
        dx=ent[i]-Difusores[i].centro;
        Difusores[i].centro=Difusores[i].centro+dx;
        Difusores[i].minimo=Difusores[i].minimo+dx;
        Difusores[i].maximo=Difusores[i].maximo+dx;
        Difusores[i].var1=Difusores[i].var1+dx;
        Difusores[i].var2=Difusores[i].var2+dx;
        Difusores[i].var3=Difusores[i].var3+dx;
        Difusores[i].var4=Difusores[i].var4+dx;
    }
}

int indiceEntradas(int numVar,int numConj)
{
    int contador=0;
    int i;
    for(i=0;i<numVar;i++)
    {
        contador=contador+VariablesEntrada[i].numeroConjuntos;
    }
    contador=contador+numConj;
    return contador;
}

double pertenenciaComposicion(int numVar,int numRegla, double sal)
{
    double ux;
    double uxa;
    double uxab;
    double comp=0;
    double x[NUMEROVARIABLESENTRADA];
    int inter[NUMEROVARIABLESENTRADA];
    if(!activarRegla(numRegla))
    {
        comp=Implicacion(0,0);
    }
    else{
        int casos=1;
        int i;
        for(i=0;i<NUMEROVARIABLESENTRADA;i++)
        {

```

```

        casos=casos*Difusores[i].puntos;
        inter[i]=1;
    }
    for (i=0;i<NUMEROVARIABLESENTRADA;i++)
    {
        int k;
        for (k=0;k<NUMEROVARIABLESENTRADA;k++)
        {
            x[k]=Difusores[k].minimo+Difusores[k].intervalo*inter[k];
            inter[k]=inter[k]+1;
            if (inter[k]>=Difusores[k].puntos)
            {
                inter[k]=1;
            }
        }
        uxab=pertenenciaImplicacion(numVar,numRegla,x,sal);
        uxa=pertenenciaDifusores(x);
        ux=Composicion(uxa,uxab);
        if (ux>comp)
        {
            comp=ux;
        }
    }
    return comp;
}

double pertenenciaDifusores(double *ent)
{
    double uxd;
    int j=0;
    uxd=pertenenciaDifusor(j,ent[j]);
    for (j=0;j<NUMEROVARIABLESENTRADA;j++)
    {
        uxd=And(uxd,pertenenciaDifusor(j,ent[j]));
    }
    return uxd;
}

double pertenenciaImplicacion(int numSal,int numRegla,double *ent,double
sal)
{
    double uxa,uxb;
    uxa=pertenenciaAntecedente(numRegla,ent);
    uxb=pertenenciaConsecuente(numSal,numRegla,sal);
    return Implicacion(uxa,uxb);
}

double pertenenciaConsecuente(int numSal,int numRegla,double sal)
{
    double uxc;
    int conj;
    conj=Reglas[numRegla][NUMEROVARIABLESENTRADA+numSal];
    uxc=pertenenciaVariableSalida(numSal,conj,sal);
}

```

```

        return uxc;
    }

double pertenenciaAntecedente(int numRegla,double *ent)
{
    double ux;
    double uxa;
    int conj;
    int j=0;
    conj=Reglas[numRegla][0];
    ux=pertenenciaVariableEntrada(j,conj,ent[j]);
    if (Modificadores[numRegla][0]>0.0)
    {
        uxa=pow(ux,Modificadores[numRegla][0]);
    }else
    {
        uxa=1;
    }
    for (j=1;j<NUMEROVARIABLESENTRADA;j++)
    {
        conj=Reglas[numRegla][j];
        ux=pertenenciaVariableEntrada(j,conj,ent[j]);
        if (Modificadores[numRegla][j]>0.0)
        {
            ux=pow(ux,Modificadores[numRegla][j]);
        }else
        {
            ux=1;
        }
        uxa=And(uxa,ux);
    }
    return uxa;
}

int activarRegla(int numRegla)
{
    int i;
    for (i=0;i<NUMEROVARIABLESENTRADA;i++)
    {
        double bmn,bmx,cmn,cmx;
        int numCon;
        int indice;
        numCon=Reglas[numRegla][i];
        indice=indiceEntradas(i,numCon);
        bmn=Entradas[indice].minimo;
        bmx=Entradas[indice].maximo;
        cmn=Difusores[i].minimo;
        cmx=Difusores[i].maximo;
        if (bmn>cmx || bmx<cmn)
            return 0;
    }
    return 1;
}

double salidaConcreta(int NumeroSalida,double *ent)

```

```

{
    double respuesta;
    switch (NumeroSalida)
    {
        case 0 : respuesta=salidaConcreta0(ent);break;
        default:respuesta=0;break;
    }
    return respuesta;
}

double salidaConcreta0(double *ent)
{
    int NumeroSalida=0;
    double con=0.000000;
    double y;
    double y1=0;
    double y2=0;
    double ymax;
    int i;
    int j;
    ymax=VariablesSalida[NumeroSalida].minimo;
    actualizarEntradas(ent);
    for(i=0;i<(VariablesSalida[NumeroSalida].intervalos+1);i++)
    {
        double con=0.000000;

y=VariablesSalida[NumeroSalida].minimo+i*VariablesSalida[NumeroSalida].intervalo;
        for(j=0;j<NUMEROREGLAS;j++)
        {
            double temp;
            temp=pertenenciaComposicion(NumeroSalida,j,y);
            con=Conjuncion(con,temp);
        }
        y1=y1+y*con;
        y2=y2+con;
    }
    if(fabs(y2)<0.000001)
        y2=100000.0;
    if(fabs(y1)<0.000001)
        y1=0.0;
    ymax=y1/y2;
    return ymax;
}

void llenarVariablesEntrada()
{
    strcpy(VariablesEntrada[0].nombre,"Factor de Ganancia");
    VariablesEntrada[0].minimo=0.000000;
    VariablesEntrada[0].maximo=1.000000;
    VariablesEntrada[0].intervalos=20;
    VariablesEntrada[0].intervalo=0.050000;
    VariablesEntrada[0].numeroConjuntos=3;
    strcpy(VariablesEntrada[1].nombre,"Presion Gobierno");

```

```

        VariablesEntrada[1].minimo=0.000000;
        VariablesEntrada[1].maximo=1.000000;
        VariablesEntrada[1].intervalos=20;
        VariablesEntrada[1].intervalo=0.050000;
        VariablesEntrada[1].numeroConjuntos=4;
    }

void llenarVariablesSalida()
{
    strcpy(VariablesSalida[0].nombre,"PropCultivar");
    VariablesSalida[0].minimo=0.000000;
    VariablesSalida[0].maximo=1.000000;
    VariablesSalida[0].intervalos=137;
    VariablesSalida[0].intervalo=0.007299;
    VariablesSalida[0].numeroConjuntos=4;
}

void llenarEntradas()
{
    Entradas[0].minimo=0.000000;
    Entradas[0].maximo=0.400000;
    Entradas[1].minimo=0.150000;
    Entradas[1].maximo=0.650000;
    Entradas[2].minimo=0.400000;
    Entradas[2].maximo=1.000000;
    Entradas[3].minimo=0.000000;
    Entradas[3].maximo=0.400000;
    Entradas[4].minimo=0.200000;
    Entradas[4].maximo=0.600000;
    Entradas[5].minimo=0.400000;
    Entradas[5].maximo=0.800000;
    Entradas[6].minimo=0.600000;
    Entradas[6].maximo=1.000000;
}

void llenarDifusores()
{
    Difusores[0].minimo=0.497500;
    Difusores[0].maximo=0.502500;
    Difusores[0].centro=0.500000;
    Difusores[0].puntos=1;
    Difusores[0].intervalo=0.002500;
    Difusores[0].var1=0.497500;
    Difusores[0].var2=0.502500;
    Difusores[0].var3=0.000000;
    Difusores[0].var4=0.000000;
    Difusores[1].minimo=0.197500;
    Difusores[1].maximo=0.202500;
    Difusores[1].centro=0.200000;
    Difusores[1].puntos=1;
    Difusores[1].intervalo=0.002500;
    Difusores[1].var1=0.197500;
    Difusores[1].var2=0.202500;
    Difusores[1].var3=0.000000;

```

```

        Difusores[1].var4=0.000000;
    }

void llenarReglas()
{
    Reglas[0][0]=0;Reglas[0][1]=0;Reglas[0][2]=0;
    Reglas[1][0]=0;Reglas[1][1]=1;Reglas[1][2]=0;
    Reglas[2][0]=0;Reglas[2][1]=2;Reglas[2][2]=0;
    Reglas[3][0]=0;Reglas[3][1]=3;Reglas[3][2]=0;
    Reglas[4][0]=1;Reglas[4][1]=0;Reglas[4][2]=2;
    Reglas[5][0]=1;Reglas[5][1]=1;Reglas[5][2]=2;
    Reglas[6][0]=1;Reglas[6][1]=2;Reglas[6][2]=1;
    Reglas[7][0]=1;Reglas[7][1]=3;Reglas[7][2]=0;
    Reglas[8][0]=2;Reglas[8][1]=0;Reglas[8][2]=3;
    Reglas[9][0]=2;Reglas[9][1]=1;Reglas[9][2]=3;
    Reglas[10][0]=2;Reglas[10][1]=2;Reglas[10][2]=1;
    Reglas[11][0]=2;Reglas[11][1]=3;Reglas[11][2]=0;
}

void llenarModificadores()
{
    Modificadores[0][0]=1.000000;Modificadores[0][1]=1.000000;
    Modificadores[1][0]=1.000000;Modificadores[1][1]=1.000000;
    Modificadores[2][0]=1.000000;Modificadores[2][1]=1.000000;
    Modificadores[3][0]=1.000000;Modificadores[3][1]=1.000000;
    Modificadores[4][0]=1.000000;Modificadores[4][1]=1.000000;
    Modificadores[5][0]=1.000000;Modificadores[5][1]=1.000000;
    Modificadores[6][0]=1.000000;Modificadores[6][1]=1.000000;
    Modificadores[7][0]=1.000000;Modificadores[7][1]=1.000000;
    Modificadores[8][0]=1.000000;Modificadores[8][1]=1.000000;
    Modificadores[9][0]=1.000000;Modificadores[9][1]=1.000000;
    Modificadores[10][0]=1.000000;Modificadores[10][1]=1.000000;
    Modificadores[11][0]=1.000000;Modificadores[11][1]=1.000000;
}

void llenarCentrosAltura()
{
    CentrosAltura[0][0]=0.100000;
    CentrosAltura[1][0]=0.100000;
    CentrosAltura[2][0]=0.100000;
    CentrosAltura[3][0]=0.100000;
    CentrosAltura[4][0]=0.600000;
    CentrosAltura[5][0]=0.600000;
    CentrosAltura[6][0]=0.400000;
    CentrosAltura[7][0]=0.100000;
    CentrosAltura[8][0]=0.900000;
    CentrosAltura[9][0]=0.900000;
    CentrosAltura[10][0]=0.400000;
    CentrosAltura[11][0]=0.100000;
}

double pertenenciaDifusor(int numVar, double x)
{
    double ux=0;

```

```

switch(numVar)
{
    case 0:
        if(x<Difusores[0].var1)
            ux=0;
        if(x<Difusores[0].var2&&x>=Difusores[0].var1)
            ux=1;
        if(x>=Difusores[0].var2)
            ux=0;
        break;
    case 1:
        if(x<Difusores[1].var1)
            ux=0;
        if(x<Difusores[1].var2&&x>=Difusores[1].var1)
            ux=1;
        if(x>=Difusores[1].var2)
            ux=0;
        break;
    default:break;
}
return ux;
}

double pertenenciaVariableEntrada(int numVar,int numConj, double x)
{
    double ux=0;
    switch(numVar)
    {
        case 0:
            switch(numConj)
            {
                case 0:
                    if(x<(0.000000))
                        ux=1;
                    if(x<(0.150000))
                        ux=1;
                    if(x<(0.275000) &&x>=(0.150000))
                    {
                        ux=(x-(0.150000))/( (0.400000)-(0.150000));
                        ux=1-2*ux*ux;
                    }
                    if(x<(0.400000) &&x>=(0.275000))
                    {
                        ux=(x-(0.400000))/( (0.400000)-(0.150000));
                        ux=2*ux*ux;
                    }
                    if(x>=(0.400000))
                        ux=0;
                    if(ux<0.0001)
                        ux=0;
                    break;
                case 1:
                    if(x<(0.150000))
                        ux=0;

```

```

        if (x < (0.275000) && x >= (0.150000))
        {
            ux = (x - (0.150000)) / ((0.400000) - (0.150000));
            ux = 2*ux*ux;
        }
        if (x < (0.400000) && x >= (0.275000))
        {
            ux = (x - (0.400000)) / ((0.400000) - (0.150000));
            ux = 1 - 2*ux*ux;
        }
        if (x < (0.525000) && x >= (0.400000))
        {
            ux = (x - (0.400000)) / ((0.650000) - (0.400000));
            ux = 1 - 2*ux*ux;
        }
        if (x < (0.650000) && x >= (0.525000))
        {
            ux = (x - (0.650000)) / ((0.650000) - (0.400000));
            ux = 2*ux*ux;
        }
        if (x >= (0.650000))
            ux = 0;
        if (ux < 0.0001)
            ux = 0;
        break;
    case 2:
        if (x < (0.400000))
            ux = 0;
        if (x < (0.525000) && x >= (0.400000))
        {
            ux = (x - (0.400000)) / ((0.650000) - (0.400000));
            ux = 2*ux*ux;
        }
        if (x < (0.650000) && x >= (0.525000))
        {
            ux = (x - (0.650000)) / ((0.650000) - (0.400000));
            ux = 1 - 2*ux*ux;
        }
        if (x >= (0.650000))
            ux = 1;
        if (ux < 0.0001)
            ux = 0;
        break;
    default: break;
} break;
case 1:
    switch (numConj)
    {
    case 0:
        if (x < (0.000000))
            ux = 1;
        if (x < (0.200000))
            ux = 1;
        if (x < (0.300000) && x >= (0.200000))

```

```

        {
            ux=(x-(0.200000))/( (0.400000)-(0.200000));
            ux=1-2*ux*ux;
        }
    if (x<(0.400000) &&x>=(0.300000))
    {
        ux=(x-(0.400000))/( (0.400000)-(0.200000));
        ux=2*ux*ux;
    }
    if (x>=(0.400000))
        ux=0;
    if (ux<0.0001)
        ux=0;

    break;
case 1:
    if (x<(0.200000))
        ux=0;
    if (x<(0.300000) &&x>=(0.200000))
    {
        ux=(x-(0.200000))/( (0.400000)-(0.200000));
        ux=2*ux*ux;
    }
    if (x<(0.400000) &&x>=(0.300000))
    {
        ux=(x-(0.400000))/( (0.400000)-(0.200000));
        ux=1-2*ux*ux;
    }
    if (x<(0.500000) &&x>=(0.400000))
    {
        ux=(x-(0.400000))/( (0.600000)-(0.400000));
        ux=1-2*ux*ux;
    }
    if (x<(0.600000) &&x>=(0.500000))
    {
        ux=(x-(0.600000))/( (0.600000)-(0.400000));
        ux=2*ux*ux;
    }
    if (x>=(0.600000))
        ux=0;
    if (ux<0.0001)
        ux=0;

    break;
case 2:
    if (x<(0.400000))
        ux=0;
    if (x<(0.500000) &&x>=(0.400000))
    {
        ux=(x-(0.400000))/( (0.600000)-(0.400000));
        ux=2*ux*ux;
    }
    if (x<(0.600000) &&x>=(0.500000))
    {
        ux=(x-(0.600000))/( (0.600000)-(0.400000));
        ux=1-2*ux*ux;
    }

```

```

    }
    if (x < (0.700000) && x >= (0.600000))
    {
        ux = (x - (0.600000)) / ((0.800000) - (0.600000));
        ux = 1 - 2 * ux * ux;
    }
    if (x < (0.800000) && x >= (0.700000))
    {
        ux = (x - (0.800000)) / ((0.800000) - (0.600000));
        ux = 2 * ux * ux;
    }
    if (x >= (0.800000))
        ux = 0;
    if (ux < 0.0001)
        ux = 0;
    break;
case 3:
    if (x < (0.600000))
        ux = 0;
    if (x < (0.700000) && x >= (0.600000))
    {
        ux = (x - (0.600000)) / ((0.800000) - (0.600000));
        ux = 2 * ux * ux;
    }
    if (x < (0.800000) && x >= (0.700000))
    {
        ux = (x - (0.800000)) / ((0.800000) - (0.600000));
        ux = 1 - 2 * ux * ux;
    }
    if (x >= (0.800000))
        ux = 1;
    if (ux < 0.0001)
        ux = 0;
    break;
default: break;
} break;
default: break;
}
return ux;
}

```

```

double pertenenciaVariableSalida(int numVar, int numConj, double x)
{
    double ux = 0;
    switch (numVar)
    {
        case 0:
            switch (numConj)
            {
                case 0:
                    if (x < (0.000000))
                        ux = 1;
                    if (x < (0.200000))
                        ux = 1;

```

```

        if (x < (0.300000) && x >= (0.200000))
        {
            ux = (x - (0.200000)) / ((0.400000) - (0.200000));
            ux = 1 - 2 * ux * ux;
        }
        if (x < (0.400000) && x >= (0.300000))
        {
            ux = (x - (0.400000)) / ((0.400000) - (0.200000));
            ux = 2 * ux * ux;
        }
        if (x >= (0.400000))
            ux = 0;
        if (ux < 0.0001)
            ux = 0;
        break;
    case 1:
        if (x < (0.200000))
            ux = 0;
        if (x < (0.300000) && x >= (0.200000))
        {
            ux = (x - (0.200000)) / ((0.400000) - (0.200000));
            ux = 2 * ux * ux;
        }
        if (x < (0.400000) && x >= (0.300000))
        {
            ux = (x - (0.400000)) / ((0.400000) - (0.200000));
            ux = 1 - 2 * ux * ux;
        }
        if (x < (0.500000) && x >= (0.400000))
        {
            ux = (x - (0.400000)) / ((0.600000) - (0.400000));
            ux = 1 - 2 * ux * ux;
        }
        if (x < (0.600000) && x >= (0.500000))
        {
            ux = (x - (0.600000)) / ((0.600000) - (0.400000));
            ux = 2 * ux * ux;
        }
        if (x >= (0.600000))
            ux = 0;
        if (ux < 0.0001)
            ux = 0;
        break;
    case 2:
        if (x < (0.400000))
            ux = 0;
        if (x < (0.500000) && x >= (0.400000))
        {
            ux = (x - (0.400000)) / ((0.600000) - (0.400000));
            ux = 2 * ux * ux;
        }
        if (x < (0.600000) && x >= (0.500000))
        {
            ux = (x - (0.600000)) / ((0.600000) - (0.400000));

```

```

        ux=1-2*ux*ux;
    }
    if (x<(0.700000) &&x>=(0.600000))
    {
        ux=(x-(0.600000))/( (0.800000)-(0.600000));
        ux=1-2*ux*ux;
    }
    if (x<(0.800000) &&x>=(0.700000))
    {
        ux=(x-(0.800000))/( (0.800000)-(0.600000));
        ux=2*ux*ux;
    }
    if (x>=(0.800000))
        ux=0;
    if (ux<0.0001)
        ux=0;
        break;
    case 3:
        if (x<(0.600000))
            ux=0;
        if (x<(0.700000) &&x>=(0.600000))
        {
            ux=(x-(0.600000))/( (0.800000)-(0.600000));
            ux=2*ux*ux;
        }
        if (x<(0.800000) &&x>=(0.700000))
        {
            ux=(x-(0.800000))/( (0.800000)-(0.600000));
            ux=1-2*ux*ux;
        }
        if (x>=(0.800000))
            ux=1;
        if (ux<0.0001)
            ux=0;
        break;
        default:break;
    }break;
    default:break;
}
return ux;
}

double Implicacion(double x,double y)
{
    double rel;
    if(x<y)
    {
        rel=x;
    }else
    {
        rel=y;
    }
    return rel;
}

```

```

double Composicion(double x,double y)
{
    double z;
    if(x<y)
    {
        z=x;
    }else
    {
        z=y;
    }
    return z;
}

```

```

double Conjunction(double x,double y)
{
    double z;
    if(x>y)
    {
        z=x;
    }else
    {
        z=y;
    }
    return z;
}

```

```

double And(double x,double y)
{
    double z;
    if(x<y)
    {
        z=x;
    }else
    {
        z=y;
    }
    return z;
}

```

ANEXO B. EJEMPLO DE CÓDIGO DELPHI PARA ENLAZAR UN DLL CREADO EXTERNAMENTE A EVOLUCIÓN

```
library PropCultivar_dll;

{ Important note about DLL memory management: ShareMem must be the
  first unit in your library's USES clause AND your project's (select
  Project-View Source) USES clause if your DLL exports any procedures or
  functions that pass strings as parameters or function results. This
  applies to all strings passed to and from your DLL--even those that
  are nested in records and classes. ShareMem is the interface unit to
  the BORLNDMM.DLL shared memory manager, which must be deployed along
  with your DLL. To avoid using BORLNDMM.DLL, pass string information
  using PChar or ShortString parameters. }

uses
  SysUtils,
  Classes,
  Windows;

{$R *.RES}

Function PropCultivar(V:Array Of extended):extended;
var
  funcion : function(a:real; b:real):real;stdcall;
  handle: THandle;
  return:extended;
  factorganancia:real;
  presiongobierno:real;
begin
  handle := LoadLibrary('PropCultivar_C.dll');
  funcion := GetProcAddress(handle, 'PropCultivar');
  try
    factorganancia := V[0];
    presiongobierno := V[1];
    return := funcion(factorganancia, presiongobierno);
  finally
    FreeLibrary(Handle);
  end;
  PropCultivar:=return;
end;

exports PropCultivar;

begin
end.
```