

SIMULACIÓN DEL MODELO DE INTERACCIÓN DE
ACTORES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO
ALIMENTARIO DE BOGOTÁ:
IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MODELADO
BASADO EN AGENTES Y METODOLOGÍA DE SISTEMAS
SUAVES



Luisa Fernanda Gómez Muñoz
José Daniel Vélez Gutiérrez

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas

Directores:

M.Sc. Mabel Muñoz Garzón
Ph.D. Henry Alberto Diosa

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ
2015

“Dedicado a los que sigan este camino”

Índice general

Lista de figuras	VII
Lista de tablas	XII
1. CONCEPTUALIZACIÓN	1
1.1. Análisis y conceptualización de entornos sociales	3
1.2. Metodología de Sistemas Suaves - SSM	5
1.3. Situación problemática a abordar	8
1.3.1. Caracterización del entorno socio-económico del abas- tecimiento de alimentos a Bogotá	8
1.3.2. El Sistema de Abastecimiento Alimentario para Bogotá (SAAB) del PMASAB	14
1.4. Estructuras sociales en el abastecimiento alimentario a Bogotá (Indagación cultural)	18
1.5. Sistemas de actividad humana en el abastecimiento alimenta- rio a Bogotá (Indagación lógica)	23
1.5.1. Sistema de actividad humana para la oferta y comer- cialización de alimentos	26
1.5.2. Sistema de actividad humana para el transporte de productos	28
1.5.3. Sistema de actividad humana para la comercialización y distribución de alimentos	30
1.5.4. Modelo de interacción de actores del SAAB	32
2. MODELO DE SIMULACIÓN BASADO EN AGENTES	38
2.1. Modelado basado en agentes	39
2.2. Delimitación del sistema modelado	42
2.2.1. Descripción de componentes	42

2.2.2.	Comportamiento de los agentes	43
2.3.	Modelado de agentes	46
2.3.1.	Descripción de los agentes	47
2.4.	Modelo de inteligencia	50
2.4.1.	Toma de decisiones	50
2.4.2.	Experiencia y aprendizaje	53
2.4.3.	Modelo de inteligencia para los agentes	56
2.5.	Modelo de tareas	58
2.5.1.	Especificación de tareas	59
2.6.	Fijación de precios a productos por parte de los agentes	63
2.6.1.	Variación de precios	65
2.7.	Modelo de comunicación	66
2.7.1.	Actos comunicativos FIPA a incluir en el modelo de simulación	67
2.7.2.	Ontología	71
2.8.	Modelo de coordinación	76
3.	ESPECIFICACIÓN FUNCIONAL DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN	78
3.1.	Alcance del Prototipo	78
3.2.	Requerimientos del prototipo de simulación	79
3.3.	Diagrama general de casos de uso	80
3.3.1.	Actores del sistema	82
3.3.2.	Especificación de casos de uso	82
4.	ESPECIFICACIÓN ARQUITECTÓNICA DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN	85
4.1.	Módulos del prototipo	85
5.	MODELADO ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN	88
5.1.	Modelo de clases	88
5.1.1.	Clases globales y abstracciones de contextos	88
5.1.2.	Agentes	89
5.1.3.	Inteligencia	89
5.1.4.	Tareas	89
5.1.5.	Comunicación	89

6. MODELADO COMPORTAMENTAL DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN	96
6.1. Inicializar entorno de simulación	96
7. ASPECTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN	99
7.1. Plataforma multiagente	100
7.2. Elementos del <i>framework</i> Repast Symphony	102
7.2.1. Agentes adaptativos	102
7.2.2. Contextos	102
7.2.3. Proyecciones	103
7.3. Integración del modelo con Repast Symphony	104
7.3.1. Integración con el modelo de tareas y coordinación . .	104
7.3.2. Integración con el modelo de agentes	107
7.3.3. Integración con el modelo de inteligencia	109
7.3.4. Integración con el modelo de comunicación	111
8. RESULTADOS Y TRABAJO FUTURO	113
8.1. Sobre el análisis organizacional de entornos sociales complejos	114
8.1.1. Trabajo futuro	115
8.2. Sobre modelos de simulación basados en agentes	117
8.2.1. Algoritmo de simulación del comportamiento humano .	118
8.2.2. Trabajo futuro	120
8.3. Sobre la metodología de modelado de sistemas de ingeniería orientado a agentes	122
8.3.1. Proceso de definición del modelo ABM y especificación del software de simulación	123
8.4. Sobre el software de simulación	126
8.4.1. Comportamiento emergente	126
8.4.2. Variación de precios	129
8.4.3. Trabajo Futuro	129
9. CONCLUSIONES	132
Apéndices	140
A. Anexos en formato digital	141
B. Especificación del comportamiento de los agentes	143

C. Especificación de modelos de agentes	149
C.0.4. Agente Productor	149
C.0.5. Agente Intermediario	152
C.0.6. Agente Vendedor Final	155
C.0.7. Agente Oferente	157
C.0.8. Agente Operador de red de oferta	159
C.0.9. Agente Demandante	161
C.0.10. Agente Operador de red de demanda	163
C.0.11. Agente Operador Logístico	166
C.0.12. Agente SISAAB	169
D. Especificación de Tareas	172
D.0.13. Especificación de MPA: Producción agrícola	172
D.0.14. Especificación de MPA: Comprar Productos	175
D.0.15. Especificación de MPA: Vender Productos	178
E. Especificación de actos comunicativos FIPA	181
E.0.16. Modelo de comunicación: accept-proposal	181
E.0.17. Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp	182
E.0.18. Modelo de comunicación: inform	183
E.0.19. Modelo de comunicación: not-understood	184
E.0.20. Modelo de comunicación: propose	185
E.0.21. Modelo de comunicación: query-if	186
E.0.22. Modelo de comunicación: refuse	187
E.0.23. Modelo de comunicación: reject-proposal	188
E.0.24. Modelo de comunicación: Request	189
F. Protocolos de conversación	190
F.0.25. Especificación de Conversaciones	190
G. Especificación de requerimientos del prototipo de simulación	195
G.0.26. Requerimientos no funcionales	200
H. Especificación de casos de uso	201
H.1. Inicializar el entorno de simulación	201
H.2. Ejecutar simulación	203
H.3. Detener simulación	205
H.4. Pausar simulación	207

H.5. Ejecutar el modelo de simulación	209
H.6. Visualizar representación gráfica de la simulación	211
H.7. Guardar resultados	213
I. Especificación comportamental mediante diagramas de se-	
 cuencia	215
I.1. Modificar parámetros de simulación	215
I.2. Ejecutar simulación	219
I.3. Ejecutar modelo de simulación	220
I.4. Visualizar representación gráfica de la simulación	221
I.5. Pausar simulación	222
I.6. Detener simulación	223
J. Plan de pruebas del prototipo de simulación	224
J.1. Catálogo de pruebas	224
K. Manual de usuario del prototipo	235
K.1. Instalación del prototipo de Simulación	235
K.1.1. Requerimientos del sistema	235
K.1.2. Procedimiento de instalación	235
K.2. Ejecución del prototipo de Simulación	236
K.2.1. Ajuste de parámetros de ejecución y simulación	236
K.2.2. Controles de ejecución	240
K.2.3. Uso del prototipo de simulación	241
K.2.4. Visualización	241
K.2.5. Nomenclatura	241
K.2.6. Datos de simulación	243

Índice de figuras

1.1. Ciclo experiencia-acción (Fuente: [12, pág. 19]	6
1.2. El proceso de la SSM (Fuente: [12, pág. 45]	7
1.3. Diagrama enriquecido: entorno socio-económico y sistema de abastecimiento (Elaborado con base en [43])	9
1.4. Anillos de producción (Elaborado con base en [43])	10
1.5. Producción de alimentos y materia prima (Elaborado con base en [43])	11
1.6. Canasta alimentaria básica deseable (Elaborado con base en [43]	12
1.7. Transporte y distribución de alimentos (Elaborado con base en [43])	12
1.8. Distribución minorista de alimentos (Elaborado con base en [43])	13
1.9. Agroredes (Elaborado con base en [43])	14
1.10. Nutriredes (Elaborado con base en [43])	15
1.11. Articuladores Transaccionales (Elaborado con base en [43]) . .	16
1.12. Modelo de interacción de actores del SAAB (Elaborado a par- tir de [42])	17
1.13. El abastecimiento alimentario de Bogotá como Sistema Abier- to (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [27])	21
1.14. Partes del modelo (Fuente: [12])	25
1.15. Oferta de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])	26
1.16. Sistema de actividad humana: Oferta de alimentos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])	27
1.17. Operación logística de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])	28

1.18. Sistema de actividad humana: Operación logística de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])	29
1.19. Distribución de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])	30
1.20. Sistema de actividad humana: Distribución productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])	31
1.21. Registro de oferta unitaria (Elaborado a partir del [40])	34
1.22. Registro de oferta consolidada (Elaborado a partir del [40])	35
1.23. Registro de demanda unitaria y compra de productos (Elaborado a partir del [40])	36
1.24. Registro de demanda consolidada y compra de productos (Elaborado a partir del [40])	37
2.1. Posible árbol de decisión para el uso de ABM y otras herramientas de modelado (Fuente: [23, pág. 42]	40
2.2. Diagrama enriquecido: Componentes del modelo de simulación (Fuente: Este proyecto)	44
2.3. Modelo de proceso de un agente humano activo en el mundo (Fuente: [13, pág. 100]	45
2.4. Configuración del algoritmo genético (Fuente: Este proyecto)	51
2.5. Decidir acción con propósito definido a ejecutar en relación con la situación percibida (Fuente: Este proyecto)	52
2.6. Evaluar experiencia (Fuente: Este proyecto)	55
2.7. Producción agrícola (Fuente: Este proyecto)	62
2.8. Representación de conceptos, predicados y acciones (Tomado de [3, pág. 40])	71
2.9. Ontología para comunicación entre agentes (Fuente: Este proyecto)	73
2.10. Conceptos definidos en la ontología para los agentes (Según notación [3, pág. 40])	74
2.11. Preposiciones definidas en la ontología para los agentes (Según notación [3, pág. 40])	75
3.1. Casos de uso identificados para el sistema de simulación del modelo de interacción de actores del SAAB (Fuente: Este proyecto)	81
3.2. Especificación del caso de uso: Modificar parámetros de simulación (Fuente: Este proyecto)	83

4.1.	Diagrama de componentes del sistema	87
5.1.	Abstracción de clases globales (Fuente: este trabajo)	90
5.2.	Abstracción de clases para los contextos (Fuente: este trabajo)	91
5.3.	Abstracción de clases para los agentes (Fuente: este trabajo) .	92
5.4.	Abstracción de clases para el modelo de inteligencia (Fuente: este trabajo)	93
5.5.	Abstracción de clases para el modelo de tareas (Fuente: este trabajo)	94
5.6.	Estructura de clases implementadas para el modelo de comu- nicación (Fuente: este trabajo)	95
6.1.	Diagrama de secuencia: Inicializar entorno de simulación (Fuen- te: Este proyecto)	97
8.1.	“ <i>Algoritmo de simulación del comportamiento humano</i> ” (Fuen- te: [13, pág. 100])	118
8.2.	“ <i>Proceso seguido en la definición del modelo orientado a agen- tes y especificación del software de simulación</i> ” (Basado en: [1])	125
8.3.	Toma de decisiones por parte de los agentes	128
8.4.	Precios finales por forma de abastecimiento	130
9.1.	Flujo de actividades resultante en la ejecución del proyecto (Fuente: este proyecto)	134
B.1.	Comportamiento del agente Productor (Fuente: Este proyecto)	143
B.2.	Comportamiento del agente Intermediario (Fuente: Este pro- yecto)	144
B.3.	Comportamiento del agente Vendedor Final, Demandante y Operador de red de demanda (Fuente: Este proyecto)	144
B.4.	Comportamiento agente SISAAB: Realización de compra (Ba- sado en [30])	145
B.5.	Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de deman- da (Basado en [30])	145
B.6.	Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de deman- da consolidada (Basado en [30])	146
B.7.	Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de oferta (Basado en [30])	147

B.8.	Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de oferta consolidada (Basado en [30])	147
B.9.	Comportamiento agente SISAAB: Alistamiento y despacho de pedidos desde plataforma logística (Basado en [30])	148
B.10.	Comportamiento agente SISAAB: Recolección de productos y recibo en plataforma logística (Basado en [30])	148
D.1.	Producción agrícola (Fuente: Este proyecto)	174
D.2.	Comprar Productos (Fuente: Este proyecto)	177
D.3.	Vender Productos (Fuente: Este proyecto)	180
F.1.	Modelo de conversación: Solicitar información (Fuente: Este proyecto)	191
F.2.	Modelo de conversación: Proponer Acción (Fuente: Este documento)	192
F.3.	Modelo de conversación: Solicitar propuesta comercial (Fuente: Este documento)	194
H.1.	Especificación del caso de uso: Inicializar el entorno de simulación (Fuente: Este proyecto)	202
H.2.	Especificación del caso de uso: Ejecutar simulación (Fuente: Este proyecto)	204
H.3.	Especificación del caso de uso: Detener simulación (Fuente: Este proyecto)	206
H.4.	Especificación del caso de uso: Pausar simulación (Fuente: Este proyecto)	208
H.5.	Especificación del caso de uso: Ejecutar el modelo de simulación (Fuente: Este proyecto)	210
H.6.	Especificación del caso de uso: Visualizar representación gráfica de la simulación (Fuente: Este proyecto)	212
H.7.	Especificación del caso de uso: Guardar resultados (Fuente: Este proyecto)	214
I.1.	Diagrama de secuencia: Modificar parámetros de simulación (Fuente: Este proyecto)	216
I.2.	Diagrama de secuencia: Cargar shapefiles (Fuente: Este proyecto)	217
I.3.	Diagrama de secuencia: Crear agentes (Fuente: Este proyecto)	218

I.4.	Diagrama de secuencia: Ejecutar simulación (Fuente: Este proyecto)	219
I.5.	Diagrama de secuencia: Ejecutar modelo de simulación (Fuente: Este proyecto)	220
I.6.	Diagrama de secuencia: Visualizar representación gráfica de la simulación (Fuente: Este proyecto)	221
I.7.	Diagrama de secuencia: Pausar simulación (Fuente: Este proyecto)	222
I.8.	Diagrama de secuencia: Detener simulación (Fuente: Este proyecto)	223
K.1.	Parámetros de Ejecución	237
K.2.	Parámetros de Ejecución	239
K.3.	Controles de Ejecución	240
K.4.	Representación de Agentes	242
K.5.	Interfaz grafica del software de simulación	242

Índice de tablas

1.1. Canasta alimentaria básica deseable (Tomado de [42, pag. 27])	11
2.1. Modelos de Agentes.	47
2.1. Modelos de Agentes.	48
2.1. Modelos de Agentes.	49
2.2. Modelo de Inteligencia: Experiencia	56
2.3. Modelo de Inteligencia: Mecanismo de Aprendizaje	56
2.4. Modelo de Inteligencia: Mecanismo de Razonamiento	56
2.4. Modelo de Inteligencia: Mecanismo de Razonamiento	57
2.5. Especificación de MPA: Producción agrícola	59
2.6. Descripción de MPA: Comprar Productos	63
2.7. Descripción de MPA: Vender Productos	63
2.8. Modelo de comunicación: accept-proposal [16, pág. 3]	67
2.9. Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp [16, pág. 6]	67
2.9. Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp [16, pág. 6]	68
2.10. Modelo de comunicación: inform [16, pág. 10]	68
2.11. Modelo de comunicación: not-understood [16, pág. 14]	68
2.12. Modelo de comunicación: propose [16, pág. 18]	68
2.12. Modelo de comunicación: propose [16, pág. 18]	69
2.13. Modelo de comunicación: query-if [16, pág. 21]	69
2.14. Modelo de comunicación: refuse [16, pág. 23]	69
2.15. Modelo de comunicación: reject-proposal [16, pág. 24]	69
2.16. Modelo de comunicación: Request [16, pág. 25]	70
2.17. Metodología de activación de servicios	76
3.1. Actores definidos para el prototipo de simulación de interacción de actores del SAAB	82
3.2. Caso de uso: Modificar parámetros de simulación	82

7.1. Comparación entre frameworks para ABM	100
7.1. Comparación entre frameworks para ABM	101
8.1. Precios Cebolla de Bulbo	129
C.1. Modelo de Agente: Productor.	149
C.1. Modelo de Agente: Productor.	150
C.1. Modelo de Agente: Productor.	151
C.2. Modelo de Agente Intermediario.	152
C.2. Modelo de Agente Intermediario.	153
C.2. Modelo de Agente Intermediario.	154
C.3. Modelo de Agente Vendedor Final.	155
C.3. Modelo de Agente Vendedor Final.	156
C.4. Modelo de Agente Oferente.	157
C.4. Modelo de Agente Oferente.	158
C.5. Modelo de Agente Operador de red de oferta.	159
C.5. Modelo de Agente Operador de red de oferta.	160
C.6. Modelo de Agente Demandante.	161
C.6. Modelo de Agente Demandante.	162
C.6. Modelo de Agente Demandante.	163
C.7. Modelo de Agente: Operador de red de demanda.	163
C.7. Modelo de Agente: Operador de red de demanda.	164
C.7. Modelo de Agente: Operador de red de demanda.	165
C.8. Modelo de Agente Infraestructura Logística.	166
C.8. Modelo de Agente Infraestructura Logística.	167
C.8. Modelo de Agente Infraestructura Logística.	168
C.9. Modelo de Agente SISAAB.	169
C.9. Modelo de Agente SISAAB.	170
C.9. Modelo de Agente SISAAB.	171
D.1. Especificación de MPA: Producción agrícola	172
D.2. Especificación de MPA: Comprar Productos	175
D.3. Especificación de MPA: Vender Productos	178
E.1. Modelo de comunicación: accept-proposal [16, pág. 3]	181
E.2. Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp [16, pág. 6]	182
E.3. Modelo de comunicación: inform [16, pág. 10]	183
E.4. Modelo de comunicación: not-understood [16, pág. 14]	184
E.5. Modelo de comunicación: propose [16, pág. 18]	185

E.6. Modelo de comunicación: query-if [16, pág. 21]	186
E.7. Modelo de comunicación: refuse [16, pág. 23]	187
E.8. Modelo de comunicación: reject-proposal [16, pág. 24]	188
E.9. Modelo de comunicación: Request [16, pág. 25]	189
F.1. Modelo de conversación: Solicitar información	190
F.2. Modelo de conversación: Proponer acción (Fuente: Este proyecto)	191
F.2. Modelo de conversación: Proponer acción (Fuente: Este proyecto)	192
F.3. Modelo de conversación: Solicitar propuesta comercial	193
H.1. Caso de uso: Inicializar el entorno de simulación	201
H.2. Caso de uso: Ejecutar simulación	203
H.3. Caso de uso: Detener simulación	205
H.4. Caso de uso: Pausar simulación	207
H.5. Caso de uso: Ejecutar el modelo de simulación	209
H.6. Caso de uso: Visualizar representación gráfica de la simulación	211
H.7. Caso de uso: Guardar resultados	213
J.1. Caso de prueba P01	224
J.1. Caso de prueba P01	225
J.2. Caso de prueba P02	225
J.2. Caso de prueba P02	226
J.3. Caso de prueba P03	226
J.3. Caso de prueba P03	227
J.4. Caso de prueba P04	227
J.5. Caso de prueba P05	228
J.6. Caso de prueba P06	228
J.6. Caso de prueba P06	229
J.7. Caso de prueba P07	229
J.7. Caso de prueba P07	230
J.8. Caso de prueba P08	231
J.8. Caso de prueba P08	232
J.9. Caso de prueba P09	232
J.9. Caso de prueba P09	233
J.10. Caso de prueba P10	233
J.10. Caso de prueba P10	234

Capítulo 1

CONCEPTUALIZACIÓN

El Plan Maestro de Abastecimiento y Seguridad Alimentaria (PMASAB) adoptado por la Alcaldía de Bogotá mediante Decreto 315 de 2006, presenta una re-estructuración de los actores que participan en el proceso de abastecimiento alimentario. El modelo de negocio, concibe que dichos actores participen de manera individual o en red para la comercialización de productos, con el fin de reducir el costo final de algunos de ellos. Ante esto, se hace deseable validar si la metodología, los programas y las modificaciones contempladas en dicho plan, son suficientes y/o necesarias para lograr una reducción en los precios de ciertos productos e identificar los posibles comportamientos que puede adoptar cada uno de los actores del sistema de abastecimiento durante y después de la implementación del PMASAB. Debido a las dificultades de validación e implementación de pilotos en un entorno real, se opta por el uso de herramientas tecnológicas de simulación computacional que permitan recrear el modelo de interacción de actores planteado en el SAAB y así llevar a cabo comparaciones y observaciones que sustenten o refuten la viabilidad del proyecto en la ciudad de Bogotá.

En el presente capítulo se identifican los elementos, actores y procedimientos involucrados en la oferta y demanda de productos como componentes integrales del sistema de abastecimiento alimentario para Bogotá (SAAB), tal y como se describen en el PMASAB. Haciendo uso de las estrategias analíticas propuestas por Checkland and Scholes [12] en la metodología de sistemas suaves (SSM - por las siglas en inglés para *Soft Systems Methodology*) y el modelo sistémico organizacional planteado por Katz, D. and Kahn, R. [27], se presentan distintas conceptualizaciones de la situación a estudiar,

fundamentadas sobre indagaciones culturales (Sección 1.4) y procedimentales orientadas a la lógica (Sección 1.5).

1.1. Análisis y conceptualización de entornos sociales

El análisis de la realidad social genera una discusión filosófica sobre su método, que involucra la naturaleza misma de la sociología y la formulación de sus resultados.

Existe por ejemplo, una postura reduccionista respecto a la forma en que deben ser abordados los fenómenos, en lo que se conoce como investigación de los pequeños grupos. Postula una conducta social elemental, sobre la cual el sociólogo debe establecer proposiciones que pongan en relación las variaciones en los valores y costes de cada hombre, con la distribución de frecuencia de su conducta entre las alternativas, que a su vez, determinarán en parte, las conductas de otros individuos [9]. Sin embargo, dado que las técnicas utilizadas en la investigación social, suelen afectar el comportamiento del sujeto investigado, la premisa naturalista de que el observador debe ser objetivo y neutral respecto a lo que pretende observar, queda en entredicho, y su asertividad científica tiende a ser debatida. En contraposición, existe una corriente que propone un estilo de investigación, conocido como “dialéctica”, que parte de la hipótesis de que la realidad social está compuesta de individuos, relaciones y contextos continuamente cambiantes, por tanto la mejor forma de investigar un objeto de estudio es intervenirlo, conociéndolo a medida que es transformado y transformándolo a medida que se conoce [5], descartando de paso el naturalismo como parte fundamental de la sociología.

Lo anterior, induce a cuestionar si las ciencias sociales deben comportarse y ejecutarse como una ciencia natural (al igual que la física o la química), generando conocimiento objetivo, comprobable e irrefutable o debe desarrollar su propio estilo deliberativo y postular sus leyes en un lenguaje propio. Hasta el momento, los resultados de las ciencias sociales son expresados en lenguaje natural, lo cual agrega una dificultad al investigador social en su papel de teorizador científico, por el hecho de que toda interpretación del lenguaje tiende a estar supeditada a la perspectiva del individuo que la interpreta, por tanto, los resultados transmitidos siempre serán subjetivos. También es de consideración el hecho que el resultado entra a ser parte del entorno investigado y por consiguiente tiene el poder para influir en el mismo al punto de hacer cualquier afirmación obsoleta o imprecisa. Esta naturaleza autopoiética

de los entornos sociales es abordada por Niklas Luhman, quien plantea una teoría de sistemas aplicada a la realidad social, que busca explicar mediante el “paradigma sistémico”, las estructuras básicas de los sistemas sociales propuestos por el funcionalismo estructural de Parsons [31].

En relación con esta corriente, desde la administración, han surgido prácticas metodológicas con enfoque sistémico, que buscan la interpretación de la realidad y la reducción de su complejidad a un estadio manejable desde la racionalidad. Un enfoque holístico, suficientemente práctico, que permite abstraer concepciones de la realidad, es presentado por Peter Checkland en su metodología de sistemas suaves (*Soft Systems Methodology - SSM*) [11].

1.2. Metodología de Sistemas Suaves - SSM

El paradigma de sistemas suaves, comprende la descripción de la realidad como inevitablemente subjetiva, por lo cual el papel del investigador social u organizacional, se enfoca en obtener modelos pertinentes del mundo, que sean útiles para el análisis emprendido. La metodología de sistemas suaves (SSM) es una forma organizada de enfrentar situaciones desordenadas en el mundo real. En su formulación se consideran los principales problemas de la ciencia (la complejidad, la ciencia social y la administración) [11, pp. 78–93]; concluye que en las ciencias sociales no se logra fácilmente obtener experimentos repetibles, que todo conocimiento obtenido mediante la misma se le ha atribuido significado de una manera excesiva y que desde la sociología no se debe aspirar a un conocimiento como el de la ciencia natural sino que, en lo que respecta a los asuntos humanos, se debe buscar el “conocimiento basado en la experiencia” [12, pág. 19].

La SSM es la expresión formal de un grupo de principios organizados (metodología), diseñados para enfrentar problemas del mundo real. Permite mediante el pensamiento de sistemas, dar sentido a una situación compleja y guiar la acción para “administrar” situaciones problemáticas [12, pág. 21].

Se fundamenta en el ciclo de experiencia-acción modelado por Checkland (Figura 1.1), mediante el cual define la naturaleza del conocimiento sociológico. Describe cómo una experiencia obtenida del “mundo real” genera un conocimiento que conduce a tomar acciones (con propósito definido) en relación con la situación percibida; esto a su vez crea una nueva experiencia del mundo real.

En la Figura 1.2 se describe la metodología de sistemas suaves. Inicia con la identificación de una situación problemática del “mundo real”, la cual por corresponder a asuntos humanos, será producto de una historia particular de la que habrá más de una fuente de información. Encarando dicha *situación problema* existen personas definidas como “mejoradores candidatos” (generalmente los usuarios de la SMM) los cuales deben ser identificados. Después de esto se siguen dos flujos interactivos de indagación estructurada, los cuales conducen a la implementación de los cambios para mejorar la situación; (1) El “flujo de indagación manejado por lógica” utiliza a los *modelos de actividad*

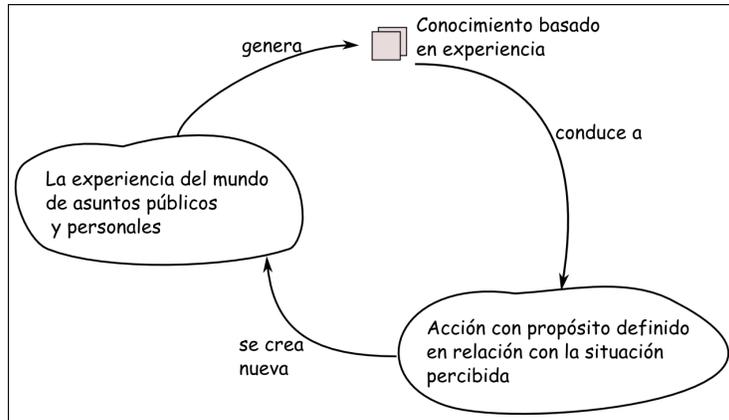


Figura 1.1: Ciclo experiencia-acción (Fuente: [12, pág. 19])

con propósito definido (MPA por las siglas en inglés para *Model of purposefull activities*) como máquinas lógicas empleadas para cuestionar el mundo real; (2) El “flujo cultural”, busca prestarle atención a los aspectos que hacen a una situación específicamente humana y consiste en tres exámenes de la “situación problema”: (A) La primera examina la intervención en sí, ya que esta inevitablemente llevará a cabo algún cambio en la situación problema. (B) La segunda examina la situación como un “sistema social” y (C) la tercera como un “sistema político” [12, pp. 40-47].

De forma global, el objetivo de la SSM consiste en considerar seriamente la subjetividad como característica crucial de los asuntos humanos y abordarla, si no exactamente de manera científica, sí al menos en una forma caracterizada por el rigor intelectual [12, pág. 47].

En las siguientes secciones se plasman los primeros apartados del flujo metodológico propuesto en la SSM como herramientas de conceptualización y análisis aplicados sobre el abastecimiento alimentario a la ciudad de Bogotá.

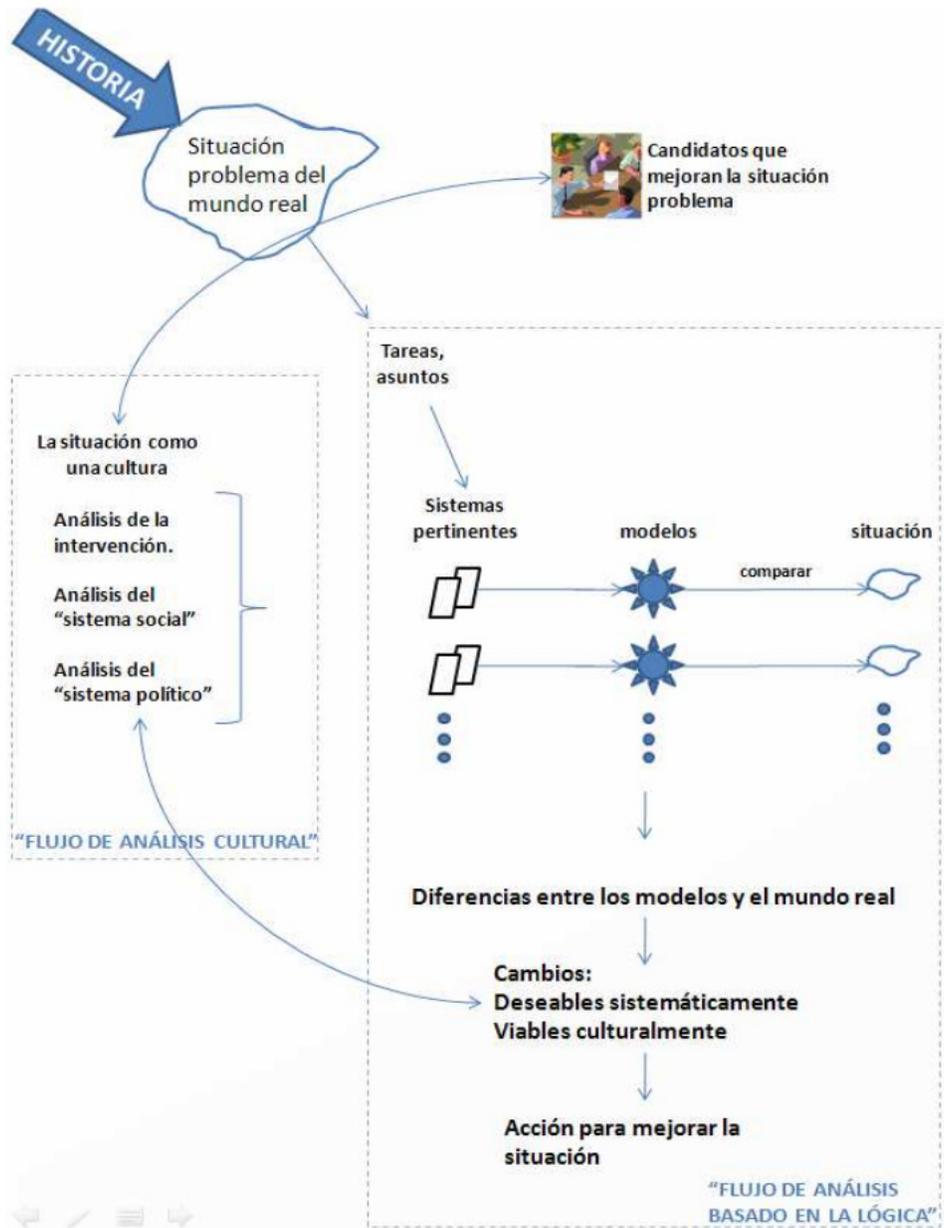


Figura 1.2: El proceso de la SSM (Fuente: [12, pág. 45])

1.3. Situación problemática a abordar

Partiendo de la caracterización generada por la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos (contenida en los anexos uno, dos, tres y cuatro del documento de soporte técnico [42]), como medio de observación de la realidad, se describe a continuación el entorno socio-económico en que se enmarca el sistema de abastecimiento alimentario y los cambios propuestos en el mismo por parte del PMASAB.

1.3.1. Caracterización del entorno socio-económico del abastecimiento de alimentos a Bogotá

En la Figura 1.3 se pueden apreciar las características más relevantes del entorno socio-económico en el que se ejecutan y evolucionan los procedimientos y mecanismos de abastecimiento alimentario de Bogotá.

El proceso de abastecimiento, inicia con la entrada al mercado de los productos alimenticios provenientes de aproximadamente 26.300 productores por día (2,000,000 al año), los cuales son distribuidos mediante 1.800 comerciantes mayoristas, 4.800 procesadores y 135.000 comerciantes detallistas [42, pag. 46]. Las regiones productoras que abastecen a Bogotá, se agrupan en tres anillos caracterizados por la distancia media a la que se encuentran de la ciudad. El “primer anillo”, incluye 19 municipios ubicados sobre la sabana de Bogotá, (Bojacá, Cajicá, Chía, Cota, Facatativá, Funza, Gachancipá, La Calera, Madrid, Mosquera, Nemocón, Sibaté, Soacha, Sopo, Subachoque, Tabio, Tenjo, Tocancipá, Zipaquirá) y provee principalmente productos como papa, hortalizas, leche y derivados de la leche, correspondientes al 33 % del consumo total de la ciudad [42, pag. 37].

El 44 % de los productos de consumo provienen de los departamentos de Tolima, Meta, Boyacá y los municipios restantes de Cundinamarca, en un radio no mayor a 300 km. (Figura 1.4). El 23 % restante del alimento es adquirido del resto del país y mediante importaciones [42, pag. 102].

En Colombia, la producción agrícola es practicada por comunidades campesinas, que se caracterizan por tener un grado bajo de escolaridad, trabajar con mano de obra familiar y mantener una economía de subsistencia.

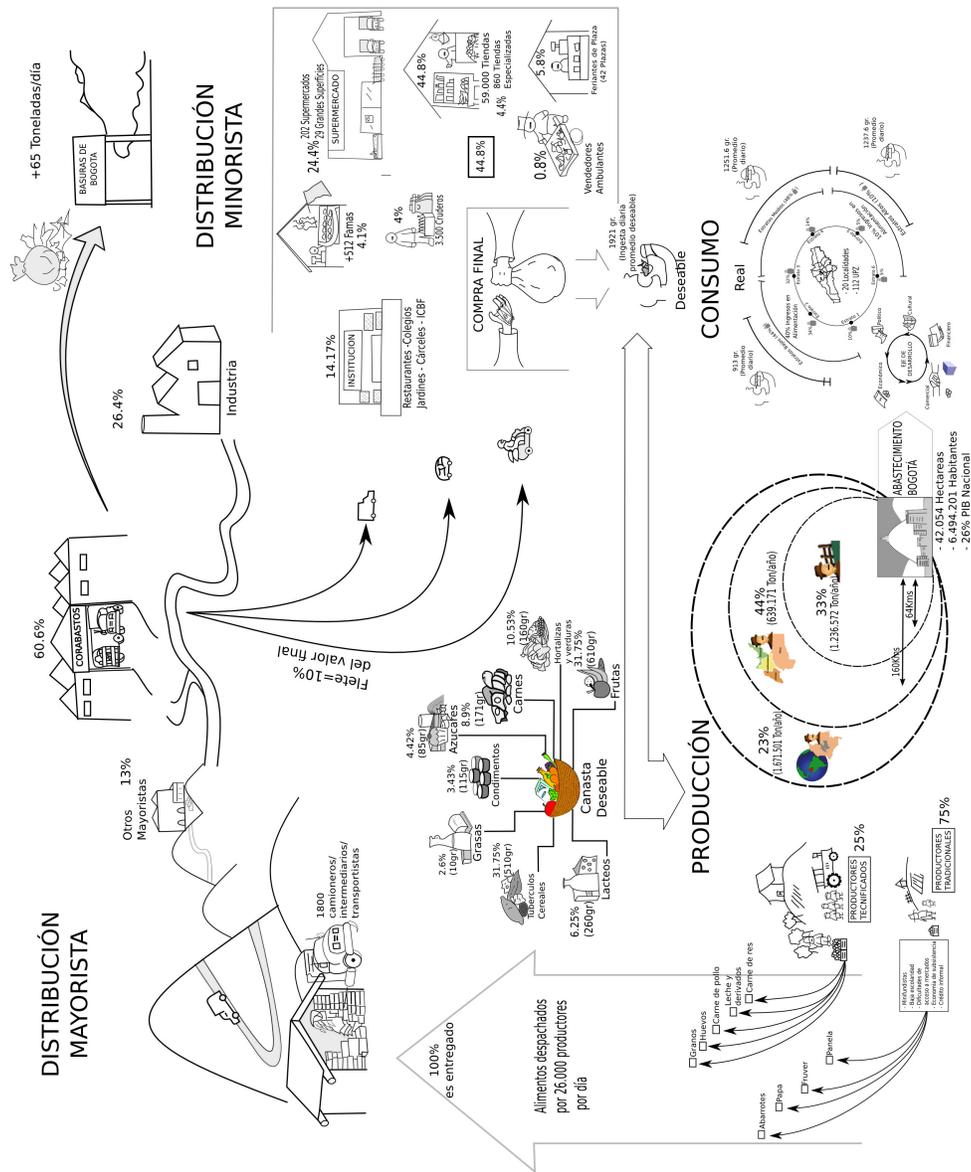


Figura 1.3: Diagrama enriquecido: entorno socio-económico y sistema de abastecimiento (Elaborado con base en [43])

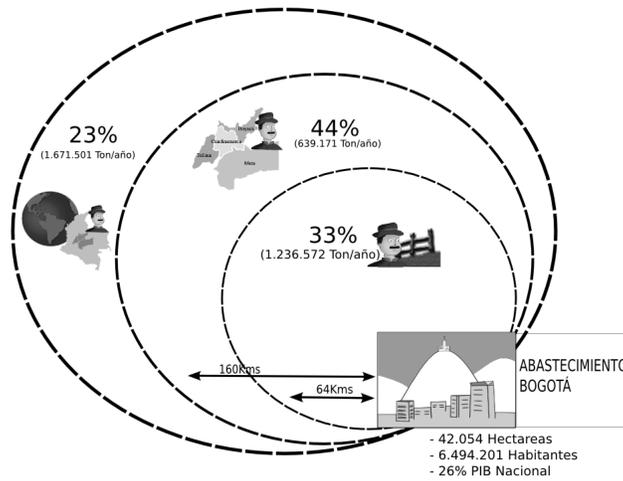


Figura 1.4: Anillos de producción (Elaborado con base en [43])

Estas familias y comunidades suelen estar ubicadas en espacios geográficos de difícil acceso. Componen el 75 % de los productores que abastecen la ciudad de Bogotá. Proveen en mayor parte, las cadenas logísticas de fruta, verdura, panela, papa y abarrotes. El 25 % restante son productores con algún grado de tecnificación, que tienden a practicar una economía de escala y trabajar con empleados y mano de obra calificada. Abastecen principalmente, las cadenas de granos, carne de res, carne de pollo, huevos, leche y sus derivados.

La canasta de alimentos que contempla el PMASAB es producto de un análisis llevado a cabo por la UESP [43, pag. 27] donde se concluye que un ciudadano promedio debe consumir cerca de 1.921 gramos de alimentos al día [42] de diferentes grupos alimenticios. En la Tabla 1.1 se describe la canasta diaria básica alimentaria deseable para garantizar la nutrición de una persona (según los resultados del estudio mencionado).

Existe una variedad de deficiencias en el proceso de abastecimiento que impiden contar con la cantidad de alimentos suficientes para proveer una canasta alimentaria deseable a cada uno de los habitantes de la ciudad de Bogotá. Las intermediaciones de transporte y transformación (por ser caóticas y desordenadas) generan costos que aumentan el precio final de los productos, sin agregarle valor alguno y esto en los estratos bajos, se traduce en

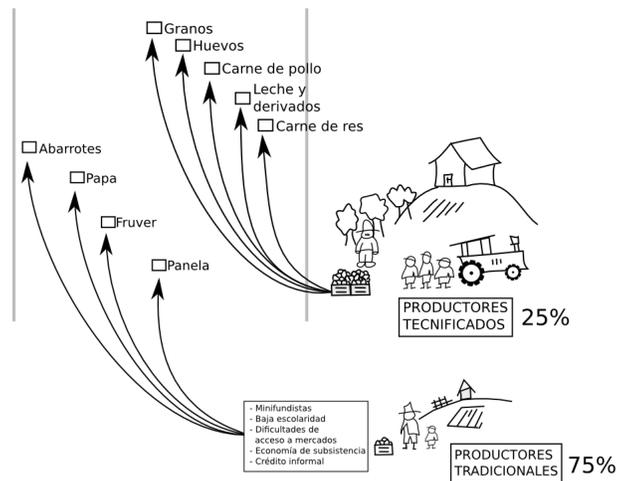


Figura 1.5: Producción de alimentos y materia prima (Elaborado con base en [43])

imposibilidad de acceso económico a los mismos.

Diariamente 1846 actores participan en el flujo de abastecimiento (camioneros / intermediarios / transportadores). El mayoreo, industria y procesamiento se lleva a cabo por 4800 actores (empresas / comerciantes cabeza de negocio). La mayoría se encuentra ubicada al interior de la ciudad, reciben aproximadamente el 26 % de los productos alimenticios. En las instalaciones de la Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos) operan 1260 comerciantes mayoristas, 1339 minoristas y cerca de 2000 negociantes de mayoreo,

Grupo	Participación	Consumo	Aporte Energético	Proteínas
Lácteos	6.25 %	260 grs.	93.4 calorías	7.6 grs.
Carne y leguminosas	8.9 %	171 grs.	307.16 calorías	29.7 grs.
Hortalizas y verduras	10.93 %	160 grs.	62.9 calorías	2.3 grs.
Frutas	31.75 %	610 grs.	358.2 calorías	5.3 grs.
Grasas	2.6 %	10 grs.	438.5 calorías	0
Azúcares y dulces	4.42 %	85 grs.	314.07 calorías	1.3 grs.
Cereales tubérculos y papa	31.75 %	510 grs.	988 calorías	16.1 grs.
Condimentos y miscelánea	3.43 %	115 grs.	45.63 calorías	0.7 grs.

Tabla 1.1: Canasta alimentaria básica deseable (Tomado de [42, pag. 27])

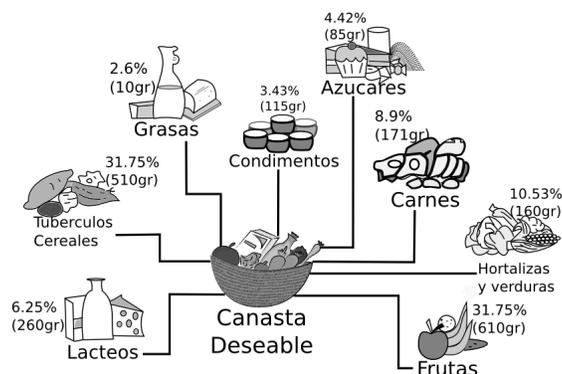


Figura 1.6: Canasta alimentaria básica deseable (Elaborado con base en [43])

comisionistas y ayudantes. Corabastos recibe el 60,6% de los productos que ingresan a la ciudad, mayormente de cadenas de fruver, papa, panela y granos importados. Los precios que se fijan allí son un indicador para el precio de compra de frutas, hortalizas, papa, panela, legumbres secas, pescado y queso industrial de las cadenas distribuidoras. El 13% de productos restante es distribuido por otros actores mayoristas que operan en diferentes puntos fuera y dentro de la ciudad [44].

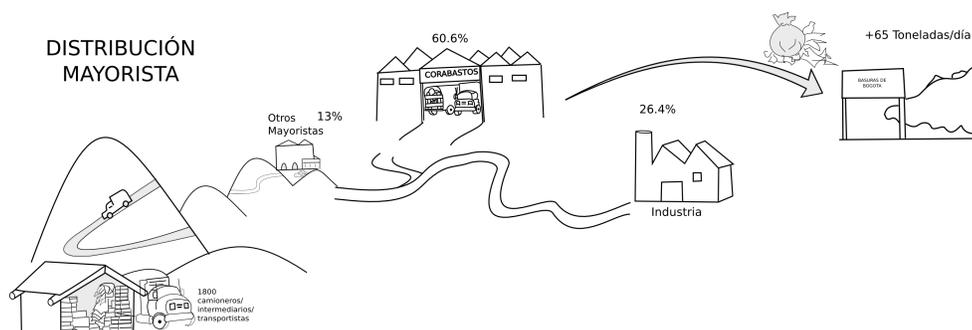


Figura 1.7: Transporte y distribución de alimentos (Elaborado con base en [43])

“... las tiendas y plazas distribuyen ambos casi el 52% de los alimentos de la canasta básica en Bogotá y su problemática comienza cuando deben

abastecerse, casi en un 100 % en Corabastos. Estos comerciantes se enfrentan . . . a: congestión, desorden, horario (3 AM a 6 AM), procesos comerciales sin control en cuanto a precios y negociaciones, bulteo entre bodegas y medios de transporte separados en dos o tres hectáreas congestionadas, con 150.000 personas interactuando en todo tipo de actividades, etc. Alto costo de transporte de la carga comprada, entre Corabastos y el negocio del detallista (el flete equivale a 10 % del producto comprado)” [44, pag. 18].

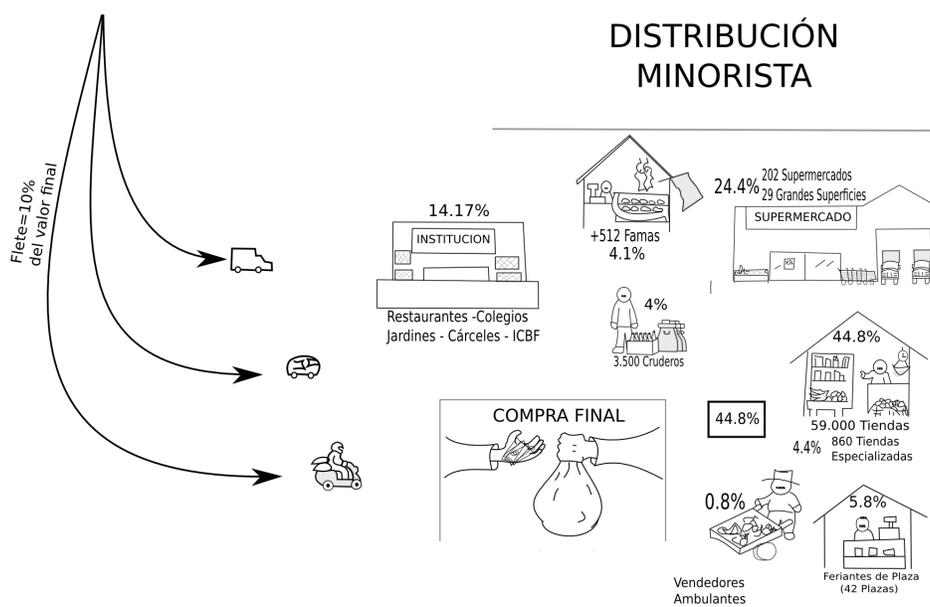


Figura 1.8: Distribución minorista de alimentos (Elaborado con base en [43])

Los centros de comercialización al interior de la ciudad, son deficientes para atender de forma efectiva a la población. En las localidades de mayor densidad poblacional, la distribución se logra mediante tiendas minoristas donde los precios son más altos de lo que ofrecería una plaza de mercado o un centro de acopio. A su vez en dichos centros y plazas, la falta de regulación e instalaciones adecuadas, contribuyen al deterioro de alimentos perecederos, lo que reduce aún más la disponibilidad y acarrea pérdidas económicas que suelen afectar (de igual forma) el precio al consumidor final.

1.3.2. El Sistema de Abastecimiento Alimentario para Bogotá (SAAB) del PMASAB

El SAAB propuesto por la alcaldía mayor de Bogotá incluye la participación de tres nuevos elementos en el flujo de abastecimiento alimentario: las agroredes, las nutriredes y los articuladores transaccionales. Cada uno de los cuales se dispone para solventar los problemas e ineficiencias identificadas en el sistema de abastecimiento comercial.

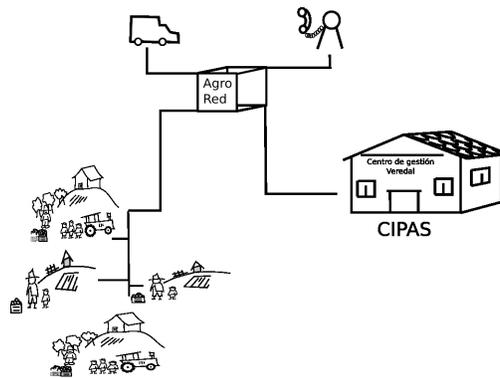


Figura 1.9: Agroredes (Elaborado con base en [43])

Las agroredes: Con la finalidad de focalizar los recursos de asesoría técnica, el crédito y los programas públicos de desarrollo, el Ministerio de Agricultura agrupa las distintas regiones del país en “Centros de Integración de la producción agrícola – CIPAS”. En tales subregiones se incluye el elemento de agored, como centro de gestión de vecindad, desde los cuales se ordena *“eficientemente la colocación en el mercado de la producción local y el abastecimiento de insumos y otras mercancías requeridas . . . Esta escala se apoya en el centro de gestión veredal como integrador de gestión que permite administrar y programar las unidades productivas de la vereda y como plataforma logística para la consolidación de producción, transformación de primer grado, organización de transporte y conectividad al sistema y a las nutriredes”* [42, pag. 62].

Las nutriredes: Es un nodo logístico de integración de gestión por vecindad urbana. *“Su función es concentrar la operación de abastecimiento de un territorio urbano en donde sus componentes de logística integral*

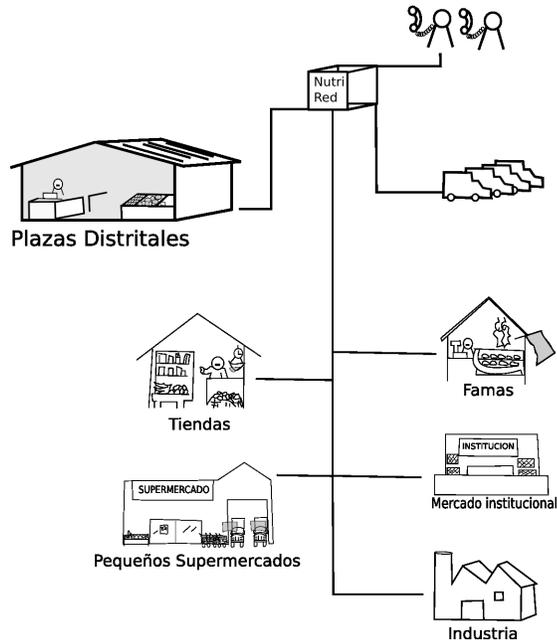


Figura 1.10: Nutriredes (Elaborado con base en [43])

...soportan las actividades de abastecimiento que requieren productores, industriales y comerciantes de la zona, para el ordenamiento y mejoramiento de la eficiencia en las operaciones con sus proveedores y sus mercados” [42, pág. 61]. Su equipo logístico de apoyo es usualmente una plaza de mercado y cubre una o varias “Unidades de Planeamiento Zonal – UPZs”.

Articuladores transaccionales: Tienen como función, la transferencia física de productos, de forma que genere “*eficiencias colectivas en la movilización de alimentos y en los procesos de transformación entre el productor y el consumidor final*” [42, pág. 62].

1.3.2.1. Modelo de interacción de actores del SAAB

El SAAB redefine los actores participantes en el proceso como “Ofertantes”, “Demandantes”, “Operadores de red de Oferta” y “Operadores de red de Demanda”; en pro de una organización sistemática que optimiza los pro-

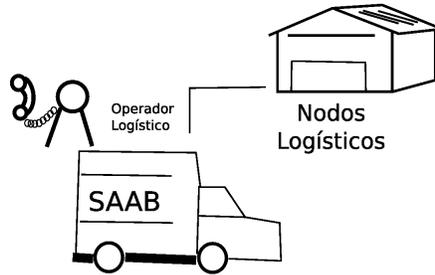


Figura 1.11: Articuladores Transaccionales (Elaborado con base en [43])

cedimientos comerciales inherentes a ellos. La Figura 1.12 muestra las interacciones definidas para cada uno de ellos.

El actor “Oferente” representa los productores agrícolas (de origen rural), que ofrecen sus productos al mercado.

El actor “Demandante” define a toda figura comercial, ubicada al interior de la ciudad de Bogotá, que busca la compra de algún producto agrícola.

Dado que el SAAB concibe que los actores participen de manera individual o en red para la comercialización de los productos, se define al “Operador de red de oferta” como aquel actor que representa una agrupación de “Ofereentes” (Agrored) y de forma similar, el “Operador de red de Demanda” quien representa una asociación de “Demandantes” (Nutrired). La plataforma logística, integra a los articuladores transaccionales, dispuestos en forma ordenada y colaborativa.

Las interacciones definidas para los actores del SAAB, fueron concebidas inicialmente con soporte en una plataforma operativa y tecnológica de gestión que comprende centros de contacto telefónico (*Call Centers*), centros físicos de atención y soporte al usuario, nodos logísticos además de una serie de sistemas de información para la automatización de sus procesos de negocio (como el “Sistema de información del SAAB” - SISAAB [40]).

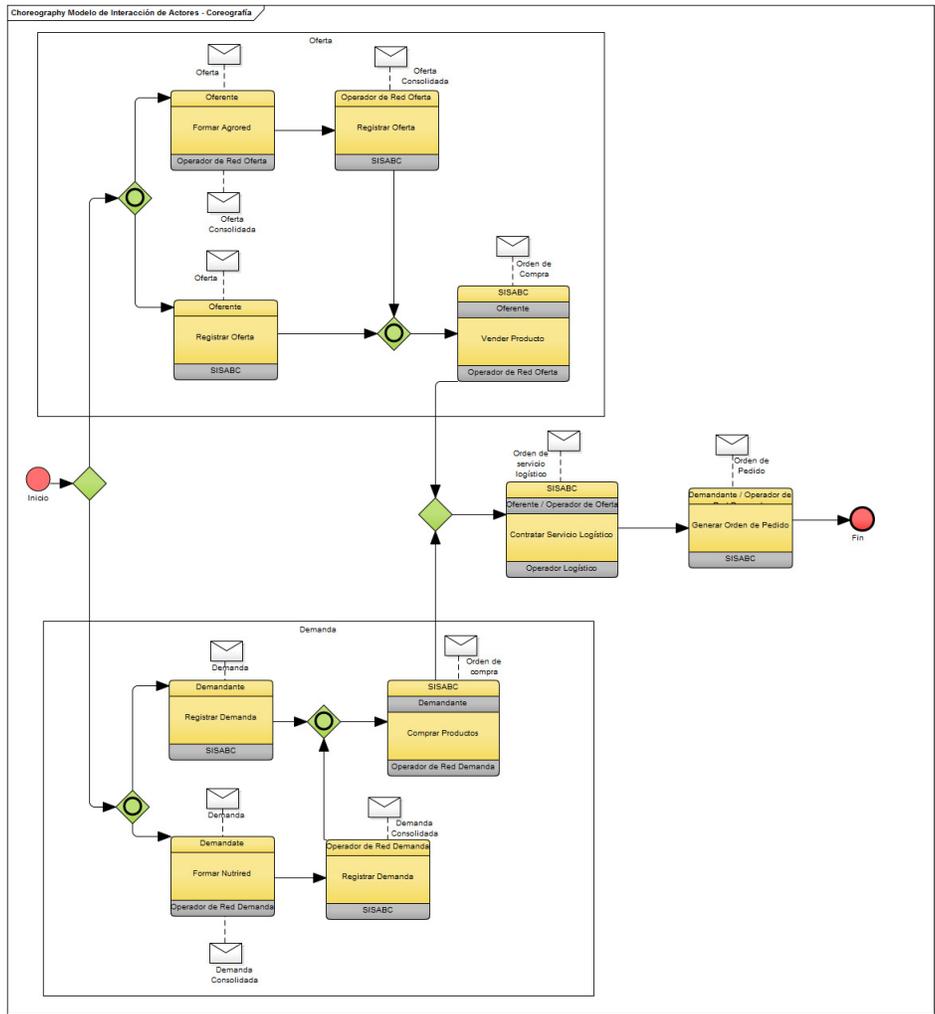


Figura 1.12: Modelo de interacción de actores del SAAB (Elaborado a partir de [42])

1.4. Estructuras sociales en el abastecimiento alimentario a Bogotá (Indagación cultural)

Una organización social está compuesta por la interacción de diferentes individuos, en desarrollo de papeles otorgados, bajo ciertas normas que dictan el deber conductual en un marco de valores comunes. En las organizaciones empresariales los papeles son planeados y atienden un requerimiento funcional que necesita ser satisfecho. Las expectativas fundamentadas en el desarrollo de dicho papel, se estipulan mediante normas, que pueden ser generales para todos los integrantes de la organización y también pueden ser específicas para un papel en cuestión. Los valores individuales y/o generales, justifican la implementación de dichos papeles y normas así como los medios y las razones por los cuales se ejecutan [27].

Las actividades comerciales que mantienen el abastecimiento alimentario, no se encuentran estructuradas, ni se desarrollan como una organización social inducida o planeada, sino que surge desde la práctica individual de un grupo de actores. Sin embargo, para propósitos de análisis, es posible identificar papeles organizacionales genotípicos, que a nivel macroscópico, se pueden interpretar como la atención a una necesidad funcional en el abastecimiento alimentario de Bogotá, como se define a continuación.

A los campesinos y habitantes rurales, se les ha otorgado la tarea de transformar los recursos naturales en productos alimenticios primarios, mediante la implementación de tecnologías agrícolas y pecuarias. El papel de *productor* involucra pautas conductuales estandarizadas encaminadas hacia la generación de productos alimenticios de origen vegetal y animal mediante la práctica de la agricultura, la recolección, la caza, la pesca y la ganadería. Tales actividades, se llevan a cabo en un ambiente campestre, con acceso directo a recursos naturales, a distancias promedio de Bogotá, caracterizadas en los anillos de abastecimiento, descritos anteriormente (Sección 1.3). La geografía colombiana otorga ciertas ventajas en la producción de alimentos ya que es posible obtener variedad gracias a la diversidad de pisos térmicos. Sin embargo por esta misma razón, muchos productos son cultivados en parajes recónditos y de difícil acceso lo cual origina una necesidad funcional para el

traslado físico de los productos, atendido por el papel de *transportador*, el cual involucra tanto el acarreo entre veredas y cabeceras municipales, como el transporte de carga pesada mediante camiones especializados. Son necesarias en dicho proceso, actividades intermedias de almacenamiento y acopio, muchas veces realizadas por los mismos transportadores pero que se definen como otro requerimiento funcional en la estructura que compone el sistema de abastecimiento alimentario y es atendido bajo el papel de *acopiador*.

Al interior de la ciudad se identifica el papel de *transformador*, el cual cumple la función de generar productos alimenticios elaborados que diversifican la oferta. Una gran parte se encuentra establecida al interior del espacio urbano con el fin de subsanar inconvenientes técnicos de acceso a los insumos y la mano de obra.

La última necesidad funcional en el abastecimiento, es ejecutada en los papeles de *distribuidor* y/o *comerciante*, los cuales están encaminados a atender la demanda de productos al interior de la ciudad, mediante transacciones comerciales.

Como se señalaba anteriormente, el abastecimiento alimentario es operado por actores independientes. Desde el momento que se generan los productos alimenticios, no existe una intención última real de abastecer a Bogotá, sino que es un resultado fortuito ocasionado por la demanda comercial generada al interior de la ciudad. Gracias a dicho fenómeno se han consolidado distintas “cadenas de abastecimiento” [42] para diferentes grupos de productos, desde distintas partes del país y del mundo. El impacto en temas de salubridad que dichas cadenas tienen en la población han llevado a los gobiernos regionales y nacionales a establecer medidas de control y regulatorias que permiten una comercialización a gran escala en condiciones aptas para el consumo humano. De tal forma, todos los estamentos públicos como las alcaldías y entidades administrativas tienen la capacidad de transformar o encaminar los procesos sociales mediante actos legislativos y decretos.

Mediante los postulados de Katz y Kahn en [27], es posible describir las estructuras culturales y políticas del sistema social inmerso en el abastecimiento alimentario de Bogotá. Estos autores conciben las organizaciones como sistemas abiertos, con capacidad para el intercambio y transformación

de energía e información, que involucran ciclos de activación con los que generan entropía negativa (en el sentido usado por Katz, D. and Kahn, R. [27]) necesaria para su supervivencia.

Según esta conceptualización, una organización se interpreta como un conjunto de partes interrelacionadas (también llamadas subsistemas) que definen su comportamiento y de cuya interacción emergen nuevas propiedades [34]. De acuerdo con lo anterior, se definen cinco subsistemas que componen la organización como sistema social: Subsistema de producción, de adaptación, de mantenimiento, de apoyo y de gerencia o administración [27].

El subsistema de producción es el encargado de las funciones principales: transformación o procesamiento de la energía y la información; sin embargo, es interdependiente de los demás componentes, requiere una estructura de apoyo que asegure la disponibilidad continua de insumos para procesamiento, así como las transacciones con el medio. Para llevar a cabo las funciones propias de los procesos de transformación y apoyo, se requiere energía otorgada por la acción humana; es la unidad de mantenimiento la responsable de proporcionar estabilidad, evitando la variabilidad y disminución de su capacidad productiva mediante la implementación de procesos de selección, recompensa y castigo de los individuos que hacen parte de la organización.

Si bien es necesario que el sistema sea estable para asegurar su supervivencia, es igual de importante que sea capaz de responder al medio cambiante. *"Un sistema que permanezca aislado del medio, un cierto período más o menos prolongado, manteniendo una conducta uniforme, es muy probable que sea destruido por el medio"* [26]. Es el subsistema de adaptación, el encargado del cambio organizacional en respuesta a la dinámica del entorno, mediante mecanismos como la planeación, investigación y desarrollo.

Por último, el componente gerencial o de administración, provee a los cuatro subsistemas mencionados anteriormente las políticas y estructuras que guían su comportamiento (cultura) y determinan sus funciones; asegurando el crecimiento y sostenibilidad de la organización.

En la Figura 1.13 se expresa la situación social del abastecimiento alimentario de Bogotá, elaborado a partir del análisis sistémico propuesto por

Katz y Kahn [27]. El propósito del diagrama es encapsular una visión de la realidad que estructure la formulación y modelado de sistemas pertinentes, como se plantea en la metodología de sistemas suaves [12]. Las líneas azules continuas indican un flujo de energía interno. Las rojas punteadas, la entrada energética desde entorno hacia el interior del sistema (el amarillo punteado se usa para diferenciar la entrada de información). Las flechas amarillas indican cohesión y/o capacidad de acción entre diferentes componentes. Por último, la línea verde punteada indica la salida energética del sistema modelado.

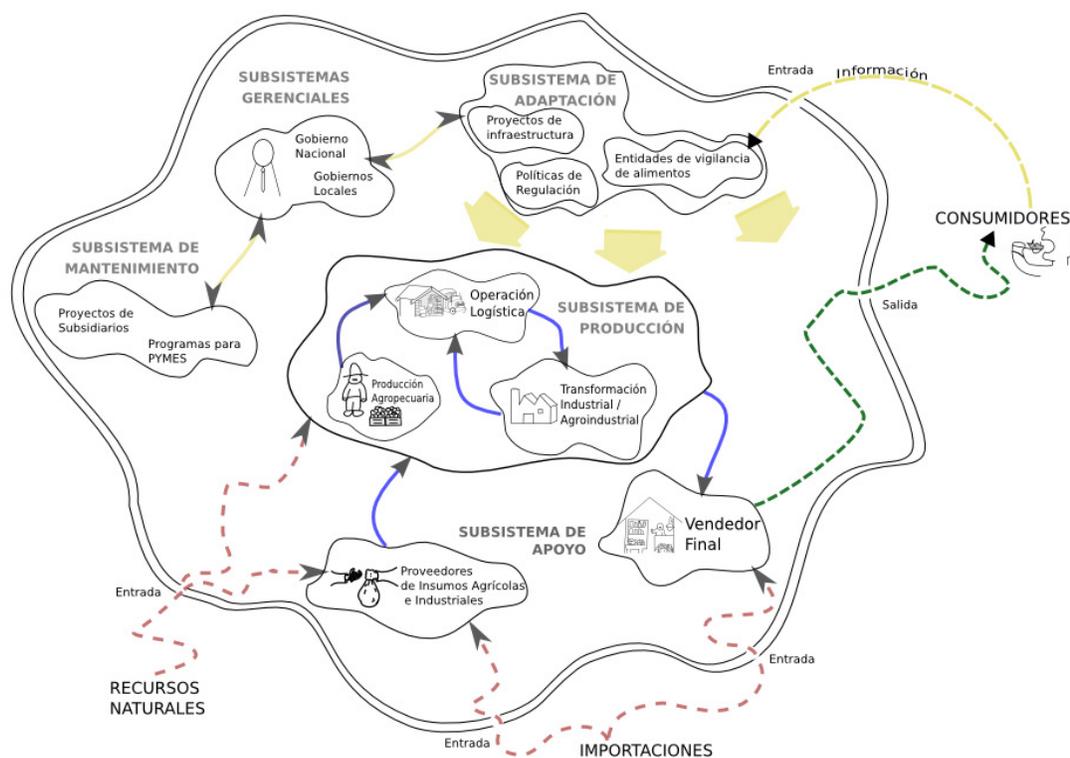


Figura 1.13: El abastecimiento alimentario de Bogotá como Sistema Abierto (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [27])

Como se muestra en la Figura 1.13 es posible distinguir cinco subsistemas:

- *Producción Agropecuaria*: Lo componen las funciones de cultivo, co-

secha, transporte y acopio de alimentos, siendo estas actividades primordiales en el proceso de abastecimiento de la ciudad. Los insumos, productos primarios o transformados, son distribuidos para su posterior comercialización.

- *Mantenimiento*: La estabilidad requerida es proporcionada a los actores del sistema a través de proyectos de subsidio y desarrollo, programas de capacitación y apoyo técnico.
- *Apoyo*: Este subsistema está conformado por los productores, encargados del abastecimiento de los insumos necesarios para transporte y procesamiento de alimentos; los entes responsables de la transformación industrial de los productos agropecuarios, que en conjunto con los distribuidores mayoristas se encargan de las transacciones comerciales con otros países y sectores, por último, los distribuidores minoristas, cuya función es la venta de los productos a los consumidores finales. En conjunto aseguran la supervivencia de la organización y mantienen las relaciones con el entorno.
- *Adaptación*: Recibe como insumo la información que proporciona el medio respecto a las condiciones externas y la percepción general del producto entregado. A partir de dicha información son tomadas decisiones relevantes para la subsistencia de la organización que se reflejan en proyectos y políticas de regulación y salubridad, desarrollo de infraestructura y programas de capacitación o apoyo técnico.
- *Gerencial*: Está compuesto por las entidades con el poder para decidir el rumbo y crecimiento de la organización, tales como el gobierno nacional y local.

1.5. Sistemas de actividad humana en el abastecimiento alimentario a Bogotá (Indagación lógica)

El análisis de fenómenos complejos mediante enfoques sistémicos facilita su modularización sin perder de vista el contexto en que se presentan. Es posible crear analogías (como la descrita en la Figura 1.13) y a partir de las mismas formular soluciones o identificar problemas, mientras se esté consciente de sus limitaciones. Bajo esta premisa, se fundamenta la metodología de sistemas suaves [11], al reconocer que toda versión representativa de la realidad está interpretada a partir de un marco conceptual o *visión del mundo* y no se le puede atribuir absoluta objetividad. Esta metodología dota al investigador con una serie de herramientas mediante las cuales es posible abarcar la complejidad en los estudios organizacionales. Mediante definiciones raíz, análisis CATWOE y “modelos de actividad con propósito definido (MPA’s - por sus siglas en inglés: sección 1.3)” [11] es posible describir y modularizar una realidad percibida como problemática.

Los enunciados conocidos como “definiciones Raíz” [12], brindan una descripción modularizada de los procesos percibidos de una organización y son el punto de partida para la construcción de otros modelos conceptuales (los MPA’s). Estas definiciones estructuradas se construyen como sistemas pertinentes o relevantes a una situación problemática que surgen de las diferentes visiones de los actores involucrados en una organización.

Las definiciones raíz constan de tres componentes:

Qué: Este componente define el objetivo inmediato del sistema.

Cómo: El *cómo*, describe la manera en la que se conseguirá el *qué*.

Por qué: Este ítem aclara la finalidad en si o propósito definido de la actividad.

De acuerdo con lo anterior, el *cómo* debe aclarar la forma en que se obtendrá el *qué*; y el *qué* se constituirá en un elemento razonable para la consecución del *por qué*. [12].

Checkland and Scholes [12] sugieren que las definiciones raíz sean formuladas de la siguiente manera:

Un sistema para.....(el qué)

mediante.....(el cómo)

para contribuir con....(el por qué)

Tras haber formulado las definiciones raíz se realiza un análisis de roles del sistema, definido por Checkland por el mnemónico CATWOE [12], el cual permite identificar la posición que toman diferentes individuos involucrados en el mismo.

C(*Customers*;) Victimas o beneficiarios de la actividad con propósito definido.

A(*Actors*;) Quién(es) realizará(n) las actividades

T(*Transformation Process*;) Proceso de transformación

W(*Weltanschauung*;) Visión del mundo que hace significativa la definición en cuestión.

O(*Owner*;) Poseedor del sistema, que tiene el poder para detenerlo.

E(*Environmental Constraints*;) Restricciones del medio.

Para cada una de las definiciones raíz debe haber también una evaluación en conformidad con las tres E's: *Eficacia*, *Eficiencia* y *Efectividad*, criterios de medición que permiten conocer cómo se juzgaría el sistema en la realidad; si actúa conforme a su misión, si se usan los recursos mínimos necesarios en su ejecución y si está cumpliendo su objetivo a largo plazo, respectivamente.

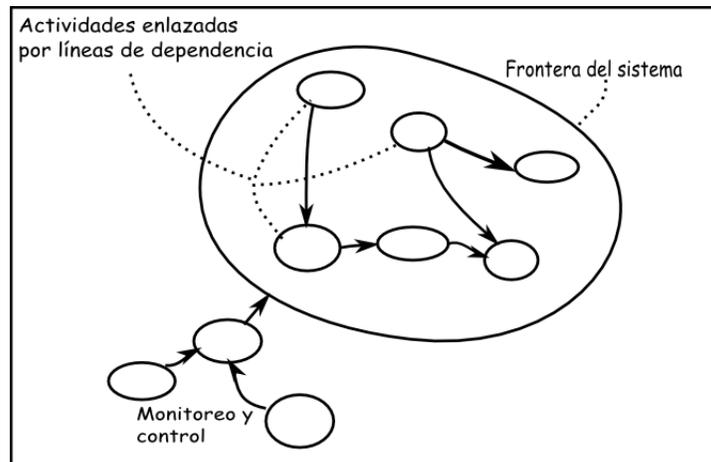


Figura 1.14: Partes del modelo (Fuente: [12])

Los “diagramas de actividades” (definidos en la SSM) son modelos conceptuales útiles para identificar los procedimientos ejecutados en el proceso de transformación (descrito en el análisis CATWOE) de cada definición raíz. Las partes constitutivas del diagrama se muestran en la Figura 1.14:

Frontera del Sistema Contiene en su interior las actividades que ejecuta el sistema.

Actividades Están representadas por medio de óvalos interconectados y numerados, de manera que se pueda identificar fácilmente la interdependencia entre las mismas. Cada actividad debe contener un único verbo que represente su objetivo y no debe ser parte de una actividad diferente contenida en el mismo modelo conceptual. Por otra parte, el modelo conceptual debe contener aproximadamente 7 más o menos 2 actividades.

Proceso de monitoreo y control Está compuesto por las tareas que permiten el seguimiento, evaluación y control de las actividades propias del sistema. Se aloja fuera de la frontera límite.

Empleando tales herramientas de conceptualización, partiendo de la representación de la situación a analizar contenida en las Figuras 1.13 y 1.3, a continuación se plantean los modelos definidos en la metodología de sistemas

suaves [12] con el fin de abstraer una visión de la realidad problemática, fundamentada en la información suministrada por los documentos de soporte técnico del PMASAB [42], para ser usada en el modelo de simulación y fijar un punto de partida descriptivo del sistema de abastecimiento alimentario.

1.5.1. Sistema de actividad humana para la oferta y comercialización de alimentos

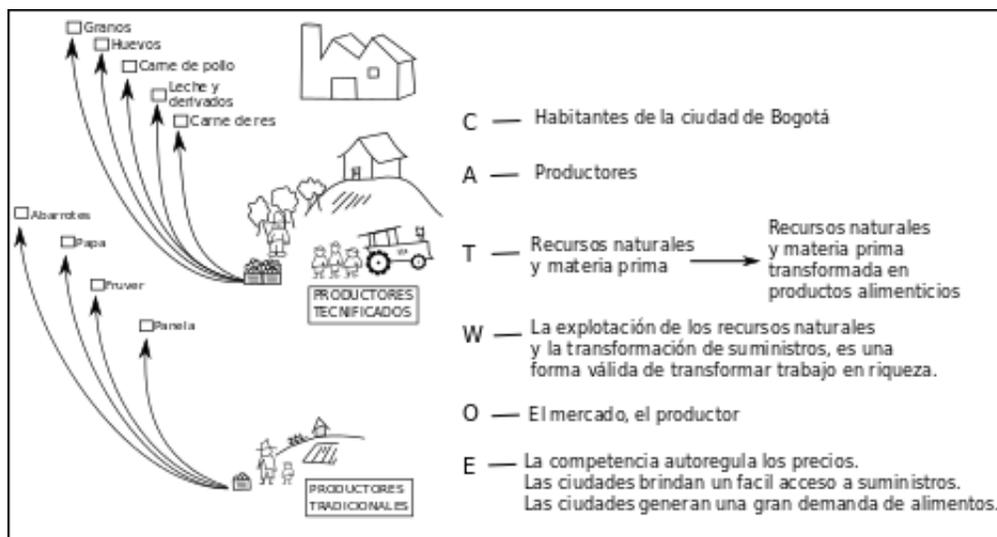


Figura 1.15: Oferta de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])

Definición Raíz: Un sistema poseído por el mercado y los productores, para *ofertar productos alimenticios*, obtenidos mediante la *explotación de materia prima y recursos naturales* llevada a cabo por los productores, afectando a los habitantes de la ciudad y así contribuir con el *abastecimiento alimentario de la ciudad de Bogotá*, dado que la explotación de los recursos naturales y la transformación de suministros constituyen una forma válida de transformar trabajo en riqueza.

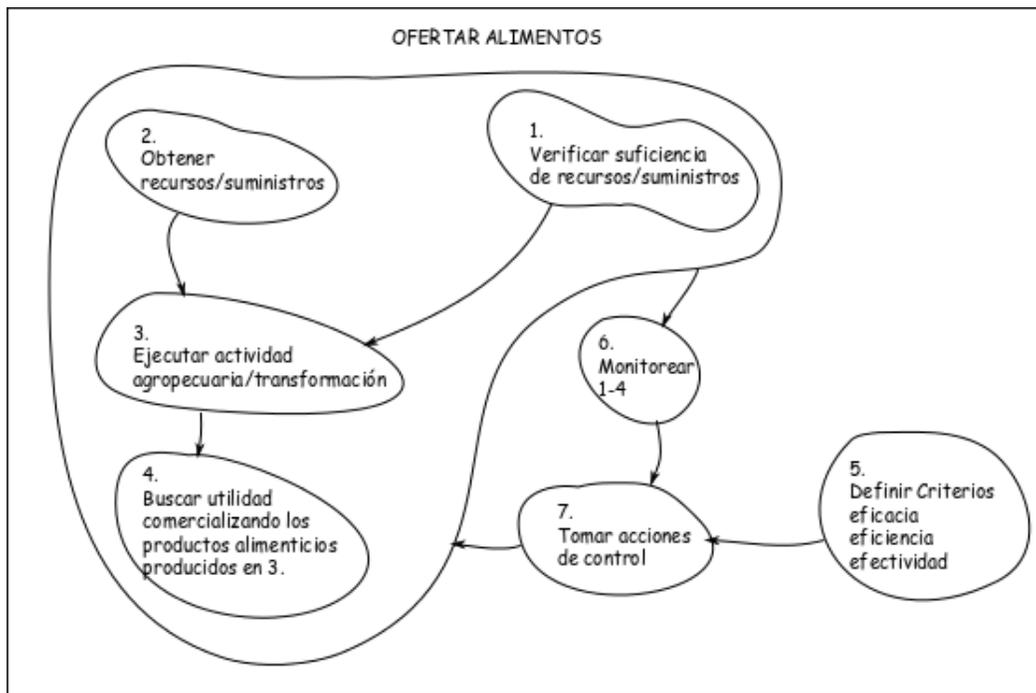


Figura 1.16: Sistema de actividad humana: Oferta de alimentos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])

1.5.2. Sistema de actividad humana para el transporte de productos

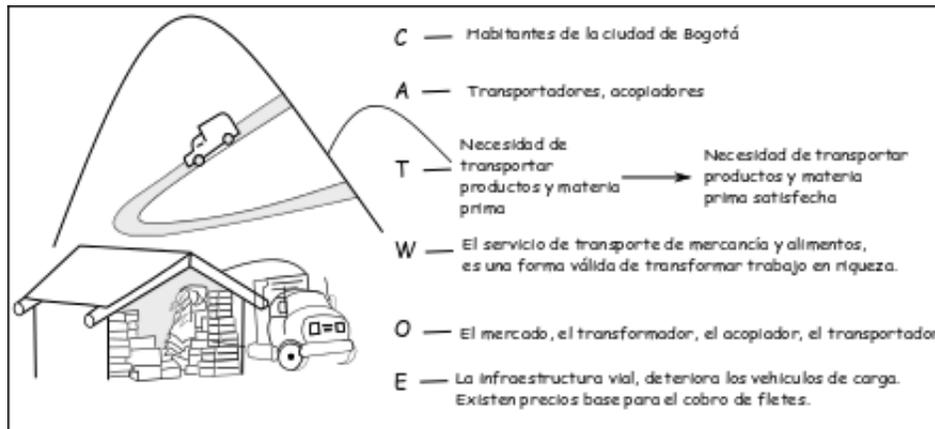


Figura 1.17: Operación logística de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])

Definición Raíz: Un sistema poseído por el mercado, los transportadores y los acopiadores, para *obtener ganancias transportando mercancía*, sobre una infraestructura vial deteriorada, mediante el *traslado físico de productos con maquinaria de carga* para contribuir con el *abastecimiento alimentario de Bogotá*.

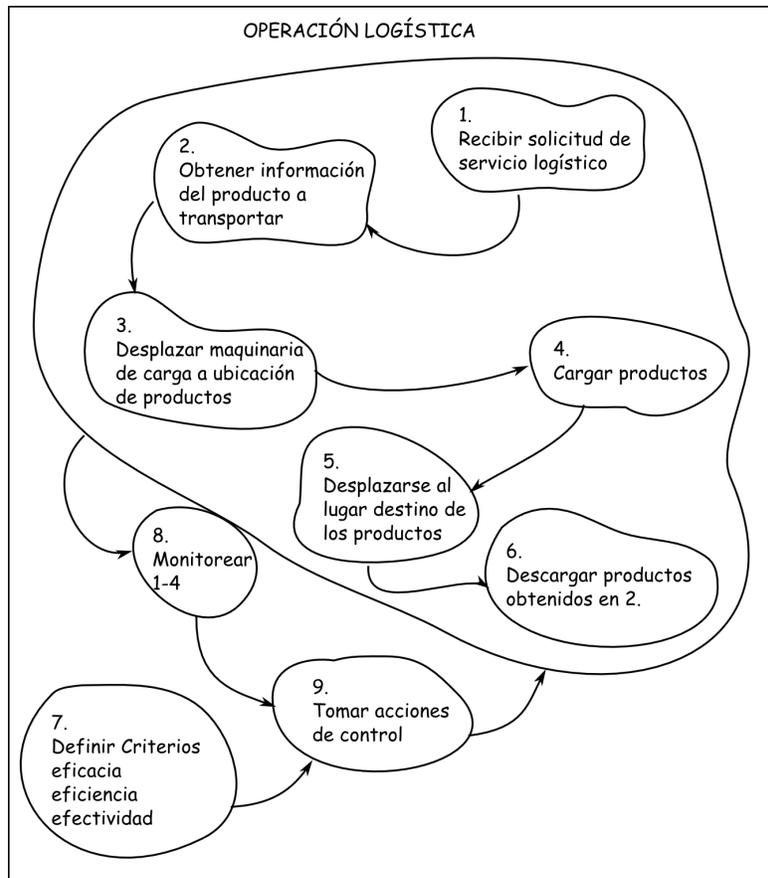


Figura 1.18: Sistema de actividad humana: Operación logística de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])

1.5.3. Sistema de actividad humana para la comercialización y distribución de alimentos

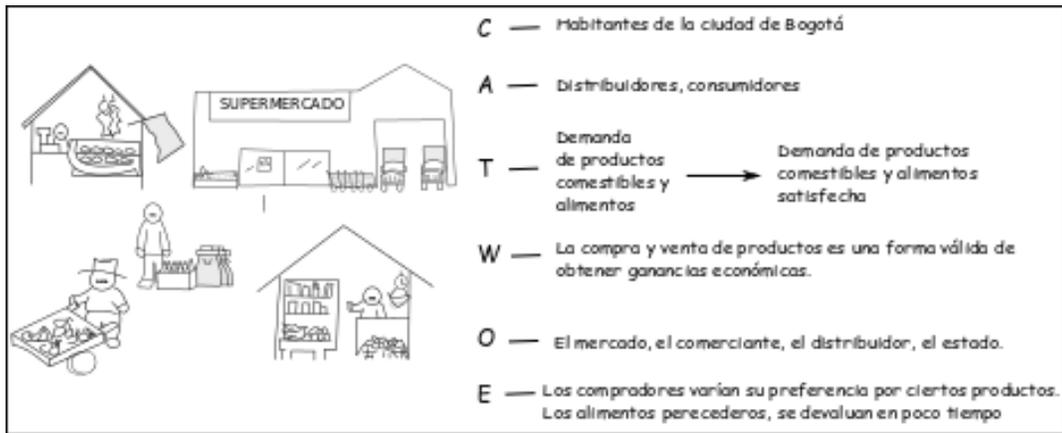


Figura 1.19: Distribución de productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])

Definición Raíz: Un sistema poseído por el mercado, el estado y los distribuidores, para *obtener ganancias vendiendo mercancía*, mediante la *oferta de productos alimenticios y comestibles*, llevado a cabo por comerciantes y distribuidores, para contribuir a *suplir la demanda en diferentes zonas de Bogotá*.

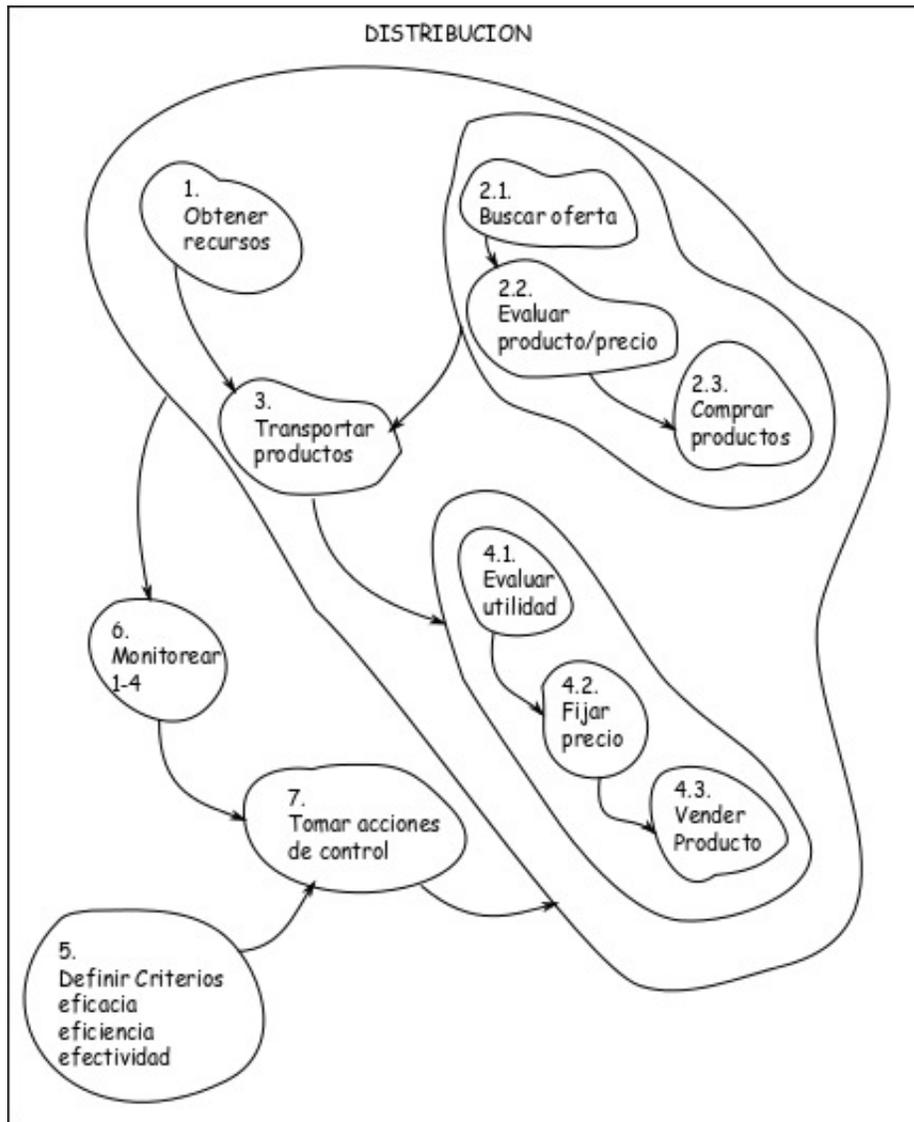


Figura 1.20: Sistema de actividad humana: Distribución productos (Elaborado a partir del análisis sistémico propuesto en [12])

1.5.4. Modelo de interacción de actores del SAAB

Los procedimientos definidos para la interacción de los actores formulados en el SAAB, previos a su implementación son meramente hipotéticos y están formulados de forma ordenada y determinística. No es necesario considerar la subjetividad agregada por la gestión humana en este escenario. El modelo de negocio define los siguientes actores [39]:

- Demandante individual: Persona natural o jurídica que demanda o requiere productos en el SAAB.
- Red de demanda: Es una asociación por vecindad de demandantes individuales reunidos con el fin de comprar determinados productos de manera conjunta para adquirir mejores precios.
- Nutrired: Constitución de redes de integración de gestión por vecindad urbana. Conjunto de redes de demanda y demandantes individuales.
- Transformador: Persona que demanda y ofrece productos en el SI-SAAB. Puede actuar como un oferente individual y demandante individual a la vez, con la condición de que los productos que demanda deben ser diferentes a los que ofrece.
- Oferente individual: Persona que ofrece productos en el sistema. Puede ser un productor o un transformador.
- Red de oferta: Es una asociación de oferentes individuales reunidos con el fin de comprar determinados productos de manera conjunta para ofrecer mejores precios y mayores ganancias.
- Agrored: Conjunto de redes de oferta y oferentes individuales.
- Operador logístico: Proveedor de servicios especializados en gestionar, programar y controlar todas las actividades logísticas, o parte de ellas, en las distintas fases de la cadena de abastecimiento de las empresas que lo contratan.
- Operador logístico de transporte: Entidad que se encarga de transportar los productos desde su origen hasta un destino específico.
- Operador logístico de plataforma: Entidad que se encarga de recibir, almacenar y despachar los productos en una plataforma logística.

En las Figuras 1.21 a 1.24 se presenta la descripción de las actividades que comprenden el modelo de interacción de actores del SAAB mediante diagramas BPMN [21] basados en la especificación planteada en [40].

Con el fin de permitir la negociación y compra de productos entre un oferente u operador de red de oferta y un demandante u operador de red de demanda, se definen procesos que inician con el registro de la oferta, unitaria (Figura 1.21) o consolidada (Figura 1.22); la oferta puede ser reservada para un demandante en particular, en ese caso, una vez confirmada la reserva se generan la orden de compra y orden de servicio logístico para el transporte del producto.

En las Figuras 1.23 y 1.24 se muestra el proceso de registro de demandas unitarias y consolidadas respectivamente, una vez registrada la demanda, el demandante u operador de red de demanda podrá buscar una oferta que se ajuste a sus requerimientos para realizar la reserva y posterior compra de la misma, que incluye la confirmación de la reserva, solicitud y compra del servicio logístico y generación de la(s) orden(es) de compra y pedido que se requieran, según el tipo de oferta adquirida.

En cualquiera de los casos el oferente o demandante que haya realizado la reserva puede darla por cancelada de ser requerido, siempre y cuando no se haya emitido una orden de compra aún.

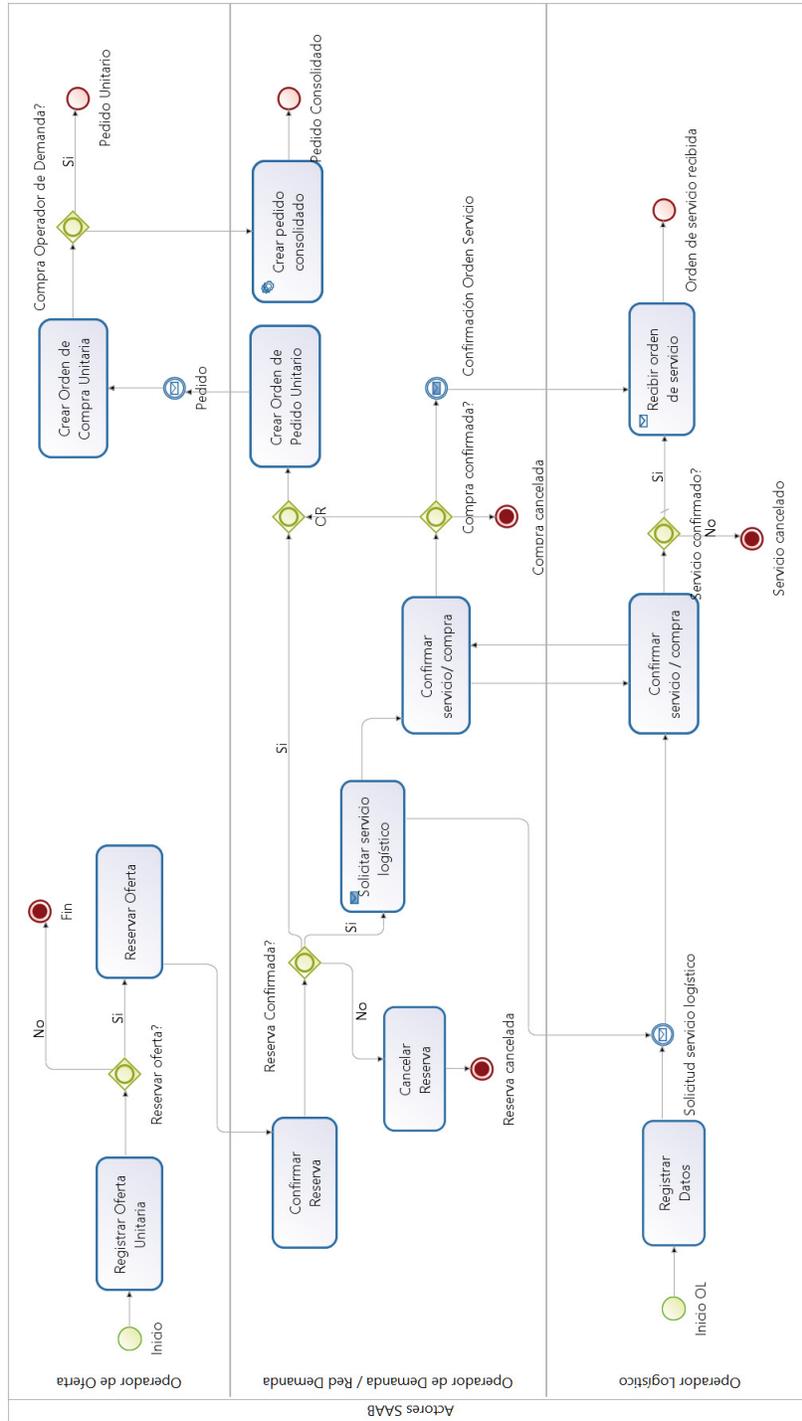


Figura 1.21: Registro de oferta unitaria (Elaborado a partir del [40])

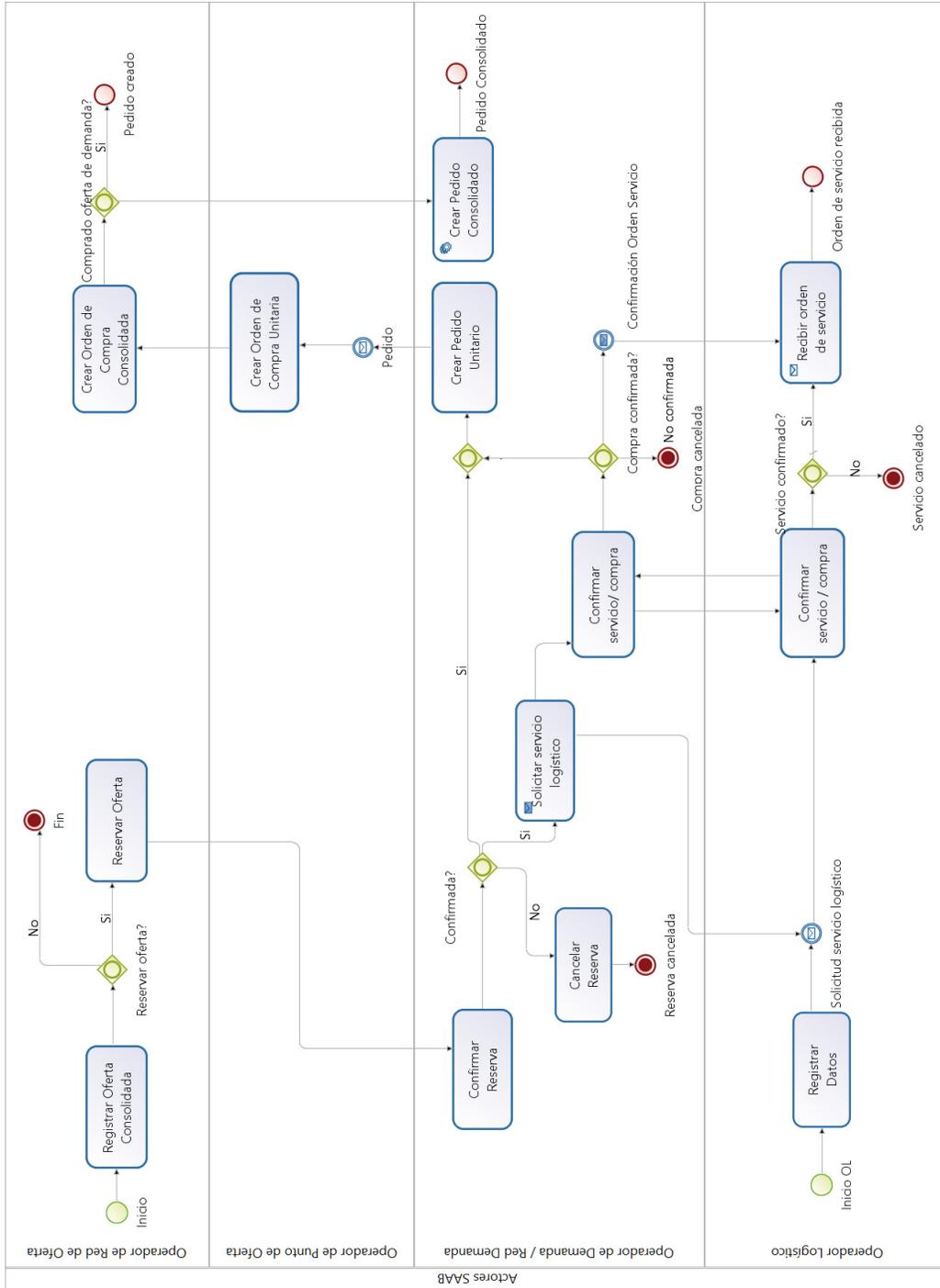


Figura 1.22: Registro de oferta consolidada (Elaborado a partir del [40])

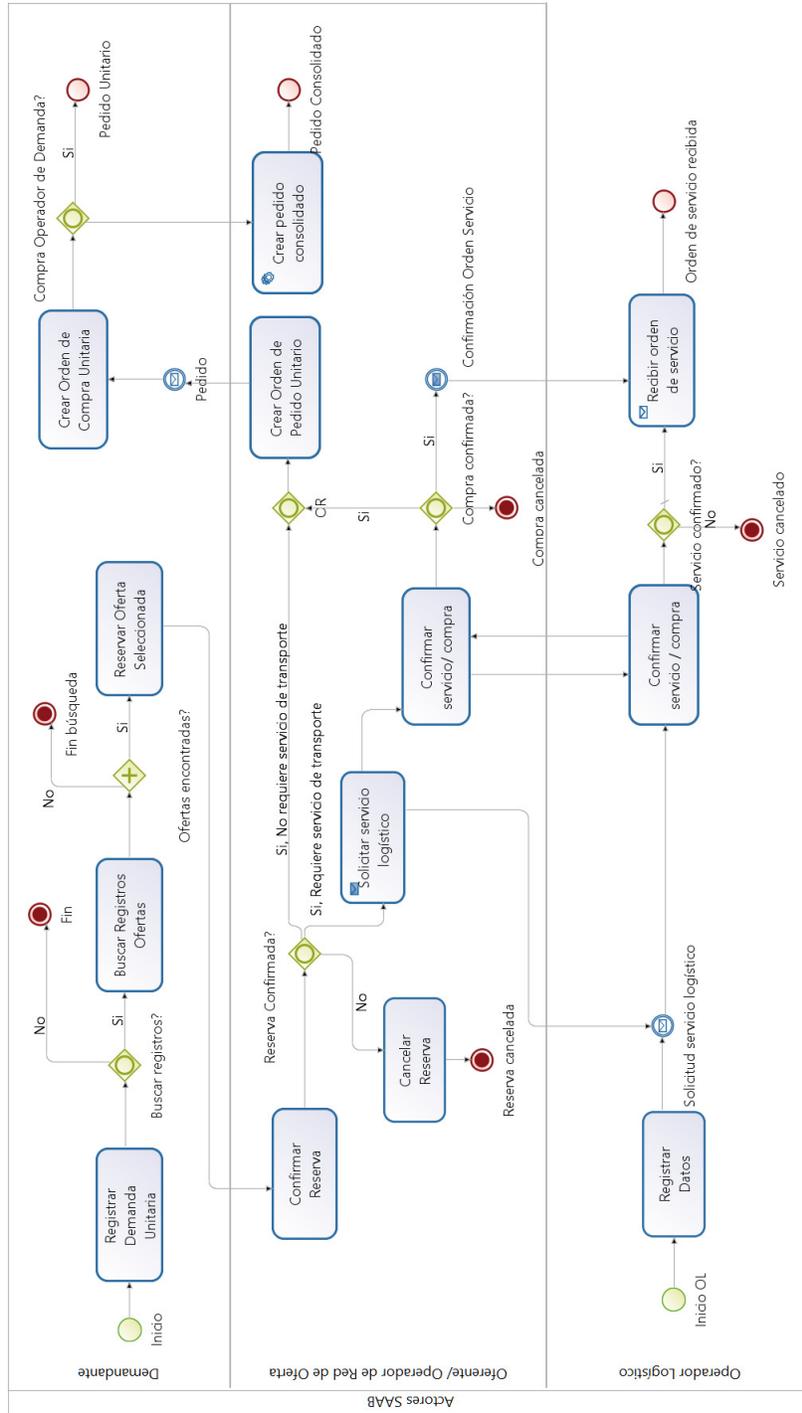


Figura 1.23: Registro de demanda unitaria y compra de productos (Elaborado a partir del [40])

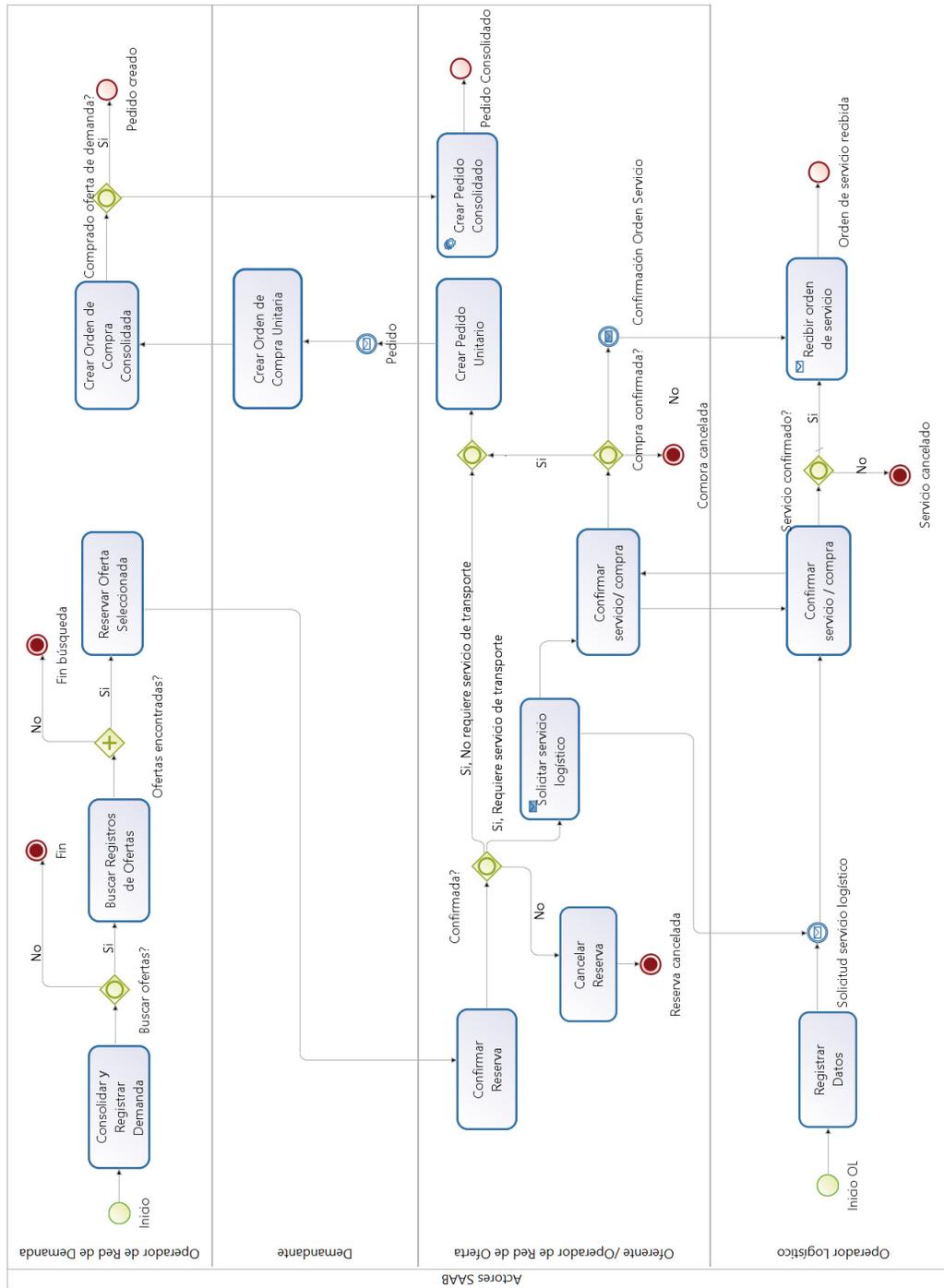


Figura 1.24: Registro de demanda consolidada y compra de productos (Elaborado a partir del [40])

Capítulo 2

MODELO DE SIMULACIÓN BASADO EN AGENTES

Un modelo es una representación simplificada de una sección de la realidad relevante para uno o varios observadores. Busca representar componentes, procesos y/o comportamientos de un fenómeno de interés. Los modelos de simulación son herramientas científicas útiles para evaluar y comprender facciones de la realidad en un modo controlado.

El paradigma sistémico agrupa una serie de principios mediante los cuales es posible describir la realidad en términos de sistemas; conjuntos de componentes cuyas características emergentes son resultado de la interrelación de los mismos y su naturaleza homeostática [11] [6]. Desde la formulación de la teoría general de sistemas, se han desarrollado diferentes aproximaciones, metodologías y técnicas para el análisis sistémico y la creación de modelos de la realidad, como se puede evidenciar al echar un vistazo a la bibliografía existente que hace referencia al enfoque sistémico como base conceptual en estudios e investigaciones relacionadas con la biología y las ciencias humanas (Por ejemplo: Bertalanffy [6], Checkland [11], Luhmann [31], Katz, D. and Kahn, R. [27]; algunos de los autores citados en el presente documento).

2.1. Modelado basado en agentes

El modelado basado en agentes (*Agent Based Modelling* - ABM), surge como una técnica que complementa los métodos de análisis sistémico tradicionales. ABM permite modelar un sistema como una colección de entidades autónomas (Agentes) capaces de tomar decisiones. Mediante esta técnica los sistemas se modelan a partir de componentes individuales y sus relaciones, haciendo uso del principio sistémico de *emergencia*. Por tal razón, los modelos basados en agentes se han constituido como herramientas útiles para estudiar el comportamiento emergente de sistemas complejos partiendo de descripciones elementales [10].

“...los modelos basados en agentes ofrecen a las ciencias sociales verdaderos “laboratorios virtuales” donde se puede experimentar y estudiar interacciones y comportamiento de individuos heterogéneos en un ambiente heterogéneo, sometidos a eventuales organizaciones jerarquizadas. En este sentido, ... han sido (y son) muy usados en las ciencias sociales. Además, ... (como otros modelos) contribuyen a cuantificar y formalizar información y conocimiento. ... pueden ser complementarios a las metodologías y estudios sociológicos y ofrecen una oportunidad de integrar conocimientos de diversas disciplinas” [10, pág. 5].

Heckbert et al. [23] (citado en [10]) plantea un árbol de decisión que permite definir la herramienta más apropiada para modelar un caso de estudio según sus características (recreado en la Figura 2.1). El camino de decisión que lleva al modelado basado en agentes lo describe como aquél que involucra: Sistemas evolutivos, con componentes autónomos heterogéneos que interactúan y toman decisiones explícitamente adaptativas.

Para definir el modelo de una situación de la realidad mediante ABM, es necesario contar con una descripción conceptual preliminar (modelo conceptual) a partir del cual se puedan identificar componentes en términos de partes, procesos, relaciones, etc. La metodología usada en el presente trabajo [1] propone cinco perspectivas desde las cuales se definen las características necesarias de un modelo basado en agentes:

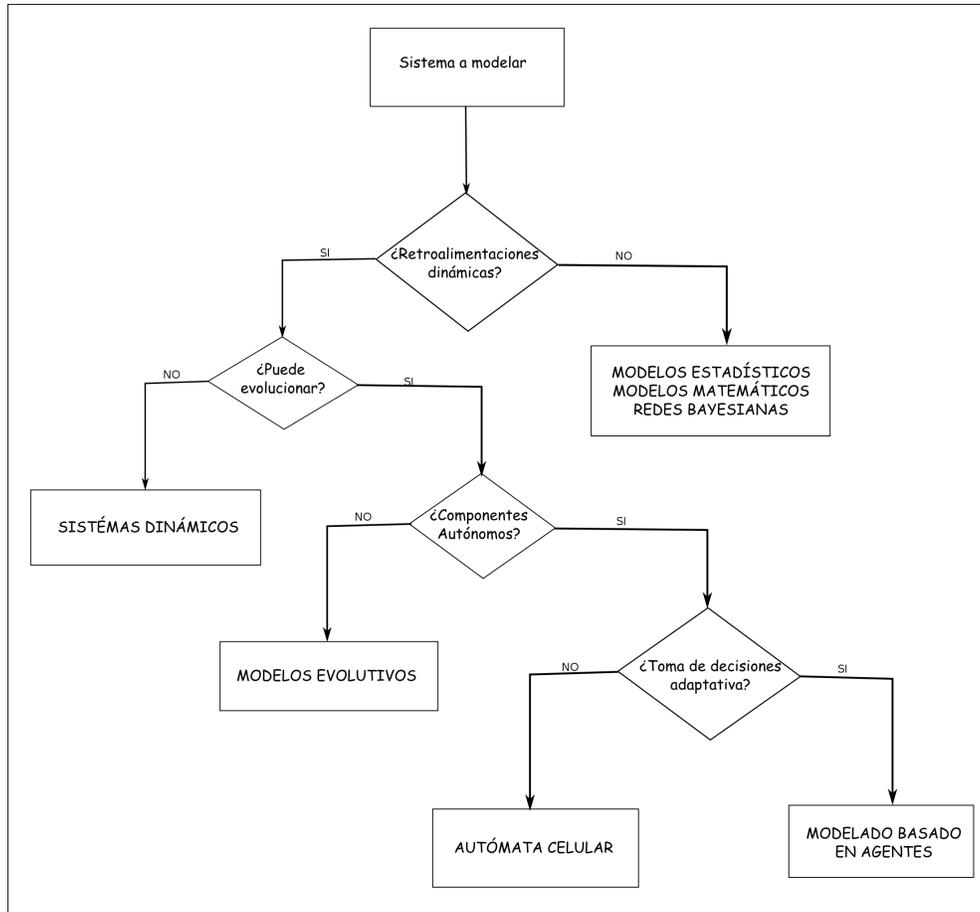


Figura 2.1: Posible árbol de decisión para el uso de ABM y otras herramientas de modelado (Fuente: [23, pág. 42])

Perspectiva de Agentes: Especifica las características de los agentes, sus habilidades, comportamiento y servicios.

Perspectiva de Tareas: Describen las tareas que se ejecutan en el modelo, los servicios asociados a las mismas y los medios necesarios para ser ejecutadas.

Perspectiva de Inteligencia: Describe todos los aspectos que le dan noción de inteligencia a los agentes del modelo; mecanismos de razonamiento y experiencia.

Perspectiva de Coordinación: Especifica detalladamente los protocolos de conversación e interacción de los componentes del modelo.

Perspectiva de Comunicación: Describe los actos de habla considerados en el modelo.

En las siguientes secciones se define cada una de dichas perspectivas como parte de un modelo basado en agentes orientado a la simulación de la interacción de los actores involucrados en el abastecimiento alimentario de Bogotá.

2.2. Delimitación del sistema modelado

En el capítulo 1 se presenta una conceptualización para los procedimientos mediante los que se realiza el abastecimiento de alimentos a la ciudad de Bogotá identificados por la UESP [42] y la alternativa formulada en el PMASAB para subsanar sus falencias y afrontar los riesgos identificados (el SAAB). Los procesos de negocio formulados en el SAAB [39] definen las posibles relaciones entre los actores involucrados en la oferta y demanda de productos bajo su marco de acción. Dado que su naturaleza permitiría el abastecimiento mediante lo que se podría definir como “procedimientos comerciales tradicionales” (el abastecimiento caótico caracterizado en [44]), se pretende modelar ambos esquemas para observar las posibles consecuencias, efectos y propiedades emergentes del sistema comercial resultante una vez ambos estén en funcionamiento.

En lo que respecta al SAAB, se incluye el proceso de negocio *Negociación y Compra* en el modelo de simulación basado en agentes, y los siguientes actores involucrados:

- Demandante Individual.
- Operador de red de demanda.
- Oferente individual.
- Operador de red de oferta.
- Operador Logístico.
- Sistema de información para el SAAB - SISAAB.

En cuanto a los “procedimientos comerciales tradicionales” se contemplan los actores “Productores”, “Intermediarios” y “Vendedores Finales”. Dada la complejidad inmersa en la caracterización del comportamiento y ubicación de los actores “Transformadores”, no son incluidos en el modelo de simulación. Su incorporación al modelo se contempla como trabajo futuro.

2.2.1. Descripción de componentes

Los sistemas de actividad humana y los diagramas BPMN formulados en el capítulo anterior, facilitan la identificación de las entidades individuales

involucradas en las mismas. El diagrama enriquecido de la Figura 2.2 describe los componentes identificados y sus relaciones, usando notación UML. Mediante etiquetas de estereotipo se especifica cuáles componentes deben ser considerados agentes.

2.2.2. Comportamiento de los agentes

Wooldridge y Jennings (citado en [45]) proponen que la noción de inteligencia de un agente está ligada a la expectativa de tres capacidades: (1) Reactividad, (2) Proactividad y (3) Habilidad social. Tales características definitivamente son necesarias en un modelo de agentes que pretenda simular un actor activo en un entorno social. La importancia de dichas capacidades está en los procesos cognitivos subyacentes a su existencia; ¿Cómo reaccionar ante los cambios del medio? ¿Cuándo y cómo actuar anticipadamente? ¿Cómo y para qué interactuar con otros actores del entorno?. Las respuestas a estas preguntas pueden parecer triviales al momento de considerarlas sobre un ser humano; sin embargo, son problemas de alta complejidad algorítmica cuando se consideran sobre el modelo de un agente orientado a la simulación de actores activos en una sociedad. Para lograr tal propósito es de gran ayuda contar con una abstracción del comportamiento humano en tal ambiente; Peter Checkland [12] presenta una caracterización útil en dicho propósito:

“Una de las características más obvias de los seres humanos es la prontitud para atribuir significado a lo que observan y experimentan. Aún más: los seres humanos no simplemente se precipitan a atribuir significados, sino que no pueden tolerar que las cosas no tengan significado. . . . La humanidad no puede soportar la ausencia de significado. . . . Debido a la creación de un mundo interpretado y no solo experimentado, podemos formar intenciones, podemos decidir hacer una cosa en vez de otra, bajo la luz de cómo estamos interpretando nuestra situación.” [12, pág. 18]

Basados en esta caracterización Checkland, P. and Holwell, S. [13] proponen un modelo básico del “agente humano activo en el mundo” (Figura 2.3). Tal modelo define el proceso mediante el cual un ser humano percibe el mundo, le atribuye significado, lleva a cabo juicios sobre sus percepciones, forma intenciones y actúa a partir de las mismas. Este proceso cambia ligera o abruptamente la forma como el ser humano percibe el mundo, iniciando

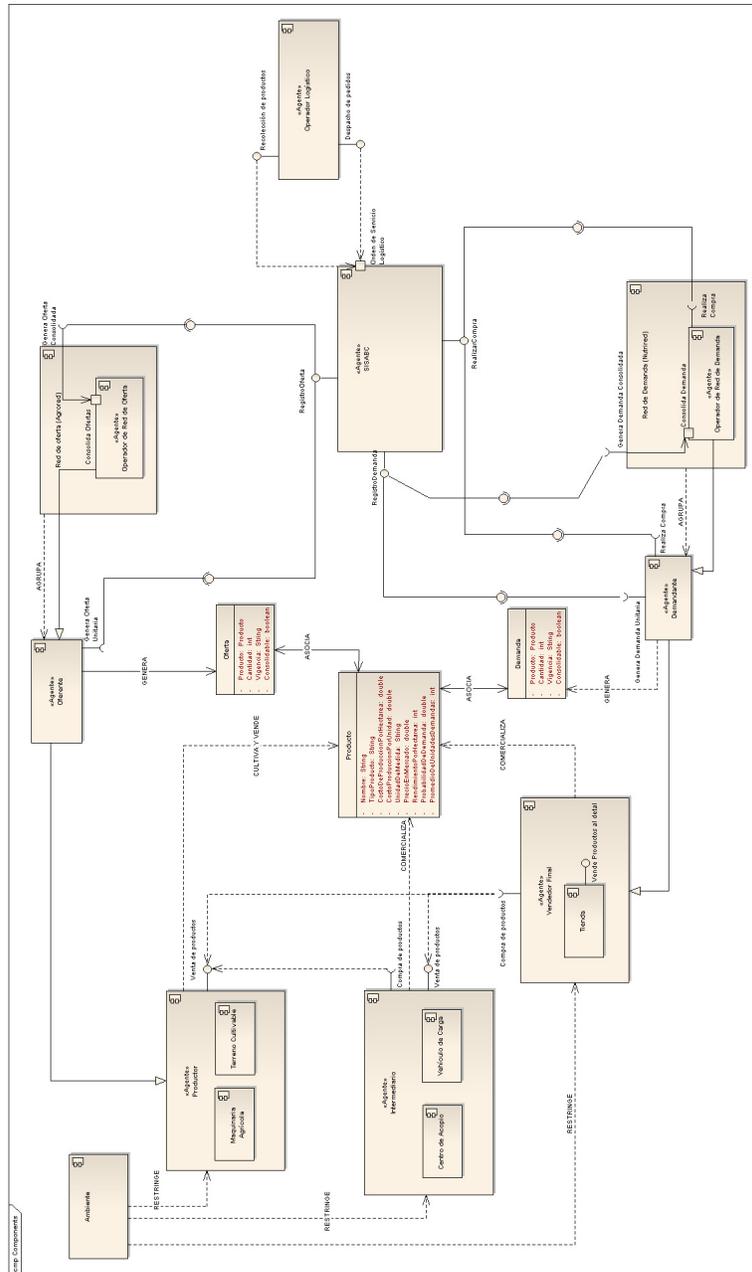


Figura 2.2: Diagrama enriquecido: Componentes del modelo de simulación (Fuente: Este proyecto)

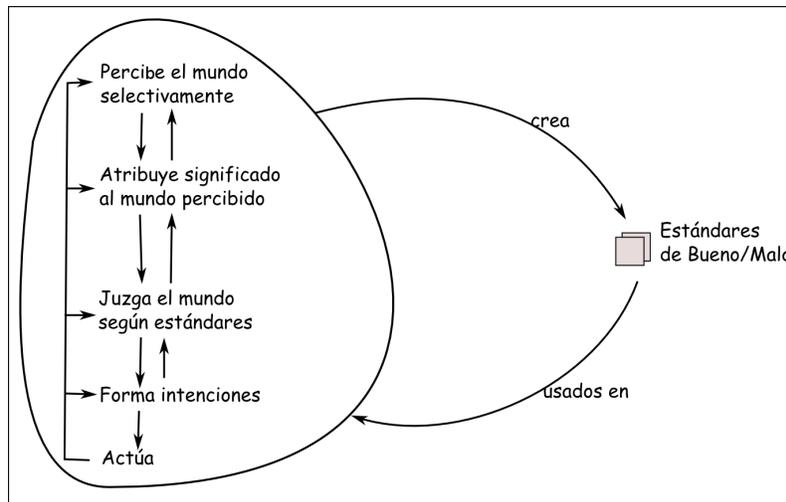


Figura 2.3: Modelo de proceso de un agente humano activo en el mundo (Fuente: [13, pág. 100])

así nuevamente el ciclo de actividades.

Este “Modelo de proceso de un agente humano activo en el mundo” es incluido como estructura comportamental individual de los agentes del modelo de simulación, específicamente para aquellos orientados a la ejecución de sistemas de actividad humana, pues encapsula los actos cognitivos e interpretativos que subyacen y justifican los *actos* individuales de una persona en un entorno social. La descripción del comportamiento específico para cada agente se puede consultar en el Apéndice B. Las Figuras B.4 a B.10 del Apéndice B, por otro lado, especifican las acciones propias del agente SISAAB en conformidad con el modelo de negocio presentado en [30]. Con el fin de exponer una descripción detallada de las actividades ejecutadas, se hace uso de diagramas de actividades con notación UML ya que permiten una descripción suficiente para clarificar la secuencia operada por cada componente.

2.3. Modelado de agentes

Los agentes de software son unidades computacionales que poseen cierto grado de autonomía y capacidad de decisión sobre su funcionamiento en un entorno específico en el cual interactúan con otros componentes (otros agentes, objetos y sistemas) con el fin de alcanzar uno o varios objetivos [45] [8]. Su conceptualización está dirigida a la definición y/o descripción de sistemas y arquitecturas a partir de elementos simples que al interrelacionarse generan estructuras más complejas (“...más que la suma de sus partes”). Bajo tal principio se diseñan los sistemas multiagente; disponiendo elementos individuales con capacidades específicas y objetivos predefinidos, sobre una plataforma que coordina y facilita la interacción dirigida entre los mismos, para generar un comportamiento emergente que persigue por lo general objetivos más complejos y generalizados. Este tipo de arquitectura computacional facilita el uso de entornos distribuidos en los que la capacidad de procesamiento se multiplica al modularizar la carga en diferentes unidades de hardware. Tales ventajas han llevado el paradigma de agentes al campo de la simulación y la inteligencia artificial, pues permiten manejar diferentes grados de complejidad y crear estrategias que facilitan el procesamiento de algoritmos que las limitaciones de hardware han mantenido en el campo teórico. Su esquema escalonado permite traducir de forma natural diferentes conceptualizaciones y análisis surgidos desde la teoría en las ciencias sociales, mediante perspectivas sistémicas, a entornos de software a través de los cuales es posible recrear situaciones cuya observación directa puede ser complicada o imposible [45] [19].

Entre las clasificaciones que diferencian y describen ciertas características de los agentes se pueden considerar las siguientes:

Agente móvil/estático: Esta clasificación corresponde a la movilidad del agente, el cual puede ser “estático” o “móvil”, dependiendo de su capacidad de cambiar de posición o no, en una red o un contexto específico por ejemplo.

Agente deliberativo: Los agentes deliberativos, poseen un esquema simbólico interno (de su entorno) y usan razonamiento lógico para decidir las acciones que más le conviene ejecutar dado un estado interno. Las reglas deductivas son configuradas en el agente en tiempo de diseño. Una ex-

plicación más detallada de este tipo de agente se puede encontrar en [45, capítulo 3]

Agente puramente reactivo: Actúan usando procedimientos de estímulo/respuesta y no poseen modelos simbólicos de su entorno ni consideran su comportamiento histórico a la hora de actuar en el presente.

Agentes con razonamiento práctico: Combinan el razonamiento deductivo (razonamiento lógico) y el razonamiento orientado a resultados como esquema para la toma de decisiones. Este tipo de agentes fija sus intenciones mediante un acto deliberativo y formula un plan de acción con el cual traduciría sus intenciones en actos.

El diagrama enriquecido de la Figura 2.2, muestra una descripción gráfica de los componentes incluidos en el modelo de simulación. Entre estos es posible identificar los que buscan representar actores humanos en ciertos roles específicos determinados en la conceptualización de la “situación problemática del mundo real” (sección 1.3). Tales componentes (estereotipados como agentes), cuentan con características especiales que les permitirán actuar de forma autónoma ante su entorno.

2.3.1. Descripción de los agentes

A continuación se presenta la especificación de cada agente, siguiendo la propuesta metodológica planteada en Aguilar J. et al. [1].

Tabla 2.1: Modelos de Agentes.

Nombre del Agente	Descripción
Agente Productor	Agente “ <i>móvil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que encapsula el concepto de productor agrícola caracterizado en [43]. Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], toma decisiones y ejecuta tareas orientadas a la producción agrícola con fines comerciales (especificación detallada del agente en Apéndice C, tabla C.1).
Continúa en la siguiente página	

Tabla 2.1: Modelos de Agentes.

Agente Intermediario	Agente “ <i>móvil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa los actores de intermediación presentes en las cadenas de abastecimiento alimentario de Bogotá. Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], toma decisiones y ejecuta tareas orientadas a la intermediación mediante la compra y venta de productos con fines lucrativos (especificación detallada del agente en apéndice C, tabla C.2).
Agente Vendedor Final	Agente “ <i>móvil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa un actor de oferta para el consumidor final y de demanda para los intermediarios y productores. Procura la venta de productos agrícolas al consumidor ciudadano. Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], toma decisiones y ejecuta tareas orientadas a la compra al por mayor de productos agrícolas con el fin de ofertarlos al detal (especificación detallada del agente en Apéndice C, tabla C.3).
Agente Oferente	Agente “ <i>móvil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa el actor de oferta en el contexto del SAAB [43]. Actúa de forma similar al agente productor, pero sus acciones están dirigidas a la venta de productos en el sistema de abastecimiento del PMASAB (especificación detallada del agente en apéndice C, tabla C.4).
Agente Operador de red de Oferta	Agente “ <i>Reactivo</i> ” que representa una asociación de agentes oferentes (Agrored). Comparte las características del “agente Oferente” con la capacidad de consolidar diferentes ofertas para ser registradas en el SAAB (especificación detallada del agente en apéndice C, tabla C.5).
Continúa en la siguiente página	

Tabla 2.1: Modelos de Agentes.

Agente Demandante	Agente “ <i>móvil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa el actor de demanda en el contexto del SAAB [43]. Actúa de forma similar al agente “Vendedor Final”, pero sus acciones están dirigidas a la compra de productos mediante el sistema de abastecimiento del PMASAB (especificación detallada del agente en Apéndice C, tabla C.6).
Agente Operador de Red de Demanda	Agente “ <i>Reactivo</i> ” que representa una asociación de agentes demandantes (Nutrired). Comparte las características del “agente Demandante” con la capacidad de consolidar diferentes demandas para ser usadas en la compra de productos en el SAAB (especificación detallada del agente en apéndice C, tabla C.7).
Agente Infraestructura Logística	Agente <i>reactivo</i> que presta los servicios de recepción y despacho de productos en el marco de ejecución del SAAB. Opera como puente de conexión en las cadenas de abastecimiento alimentario entre los ambientes rurales y la ciudad de Bogotá (especificación detallada del agente en apéndice C, tabla C.8).
Agente SISAAB	Como sistema de información, busca la automatización y control de los procesos de negocio asociados al SAAB asistiendo el proceso de negociación entre oferentes y demandantes, el registro de ofertas y demandas (especificación detallada del agente en Apéndice C, tabla C.9).

2.4. Modelo de inteligencia

Wooldridge [45] describe una serie de técnicas implementadas en diferentes experimentos, para definir un tipo de agente denominado *practical reasoning agents* (Agentes de razonamiento práctico). Los fundamentos teóricos que llevan a definir estos agentes como emuladores del comportamiento humano, concuerdan con el *Modelo de proceso de un agente humano activo en el mundo* (Figura 2.3) planteado por Checkland, P. and Holwell, S. [13]. Basados en estas formulaciones, se define el modelo de inteligencia que usan los agentes para simular el comportamiento humano en este proyecto.

2.4.1. Toma de decisiones

Al momento de tomar una decisión sobre la actividad a ejecutar, los agentes inteligentes del modelo deben haber fijado su propósito, el cual es asignado de acuerdo a su rol (por ejemplo: Si agente=“Productor” entonces Propósito=“Producir productos agrícolas”). Los ambientes simulados poseen listados de “planes de acción” [45, pág. 82] aquí denominados *Modelos de Actividad con Propósito definido* (MPA’s) que definen el conjunto de actividades ejecutables en tal entorno. El agente debe escoger los MPA’s que coinciden con su propósito y de existir más de uno, iterarlos mediante un algoritmo genético [24] para encontrar el más conveniente según su experiencia.

Los algoritmos genéticos, son (según [20]) “*Algoritmos de búsqueda basados en mecanismos de selección y genética natural*”, funcionan mediante la creación de cadenas (cromosomas) conformadas por bits (genes), que constituyen un conjunto de reglas de clasificación, candidatas a solución de un problema específico. A cada cromosoma le es asignado un valor de adaptabilidad en relación con la eficacia de su solución. Una *mutación* consiste en la permutación en un bit que modifica fracciones de la cadena y un *cruce* en el intercambio de material genético entre dos cromosomas, para este efecto, se toma un punto al azar de las cadenas padre y se intercambian los genes a partir de dicho punto. La colección de parámetros que representa una solución, es decir, están contenidos en un cromosoma, son considerados el *genotipo* del individuo[24]. El *fenotipo* esta dado por la decodificación del cromosoma, en este caso, el genotipo [Lahoz-Beltrá].

La configuración para el algoritmo genético usado por los agentes del modelo se describe en la Figura 2.4. Un *Gen* representa un MPA ejecutable en el entorno. Los *Cromosomas* contienen un solo gen y representan el MPA más conveniente a ejecutar según la experiencia del agente. Los MPA's están compuestos de una o más actividades internas, estructuradas en una secuencia lógica consistente; la mutación de un *Gen* se define como la variación de esas actividades en otras igualmente consistentes. Los valores de probabilidad que determinan la posibilidad de selección, cruce y mutación se definen aleatoriamente. La función que define la adaptabilidad de los MPA como solución, está descrita en el ciclo de "evaluación de experiencia" (sección 2.4.2). La Figura 2.5 describe la secuencia deliberativa de los agentes inteligentes.

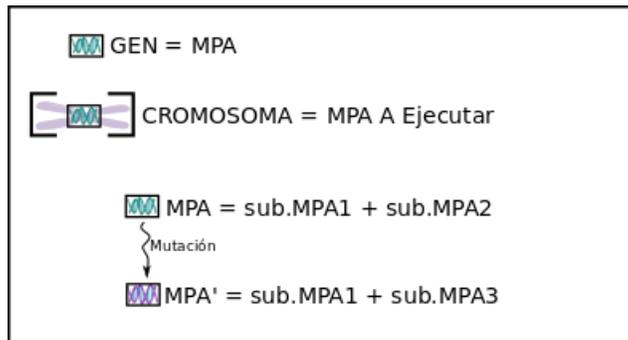


Figura 2.4: Configuración del algoritmo genético (Fuente: Este proyecto)

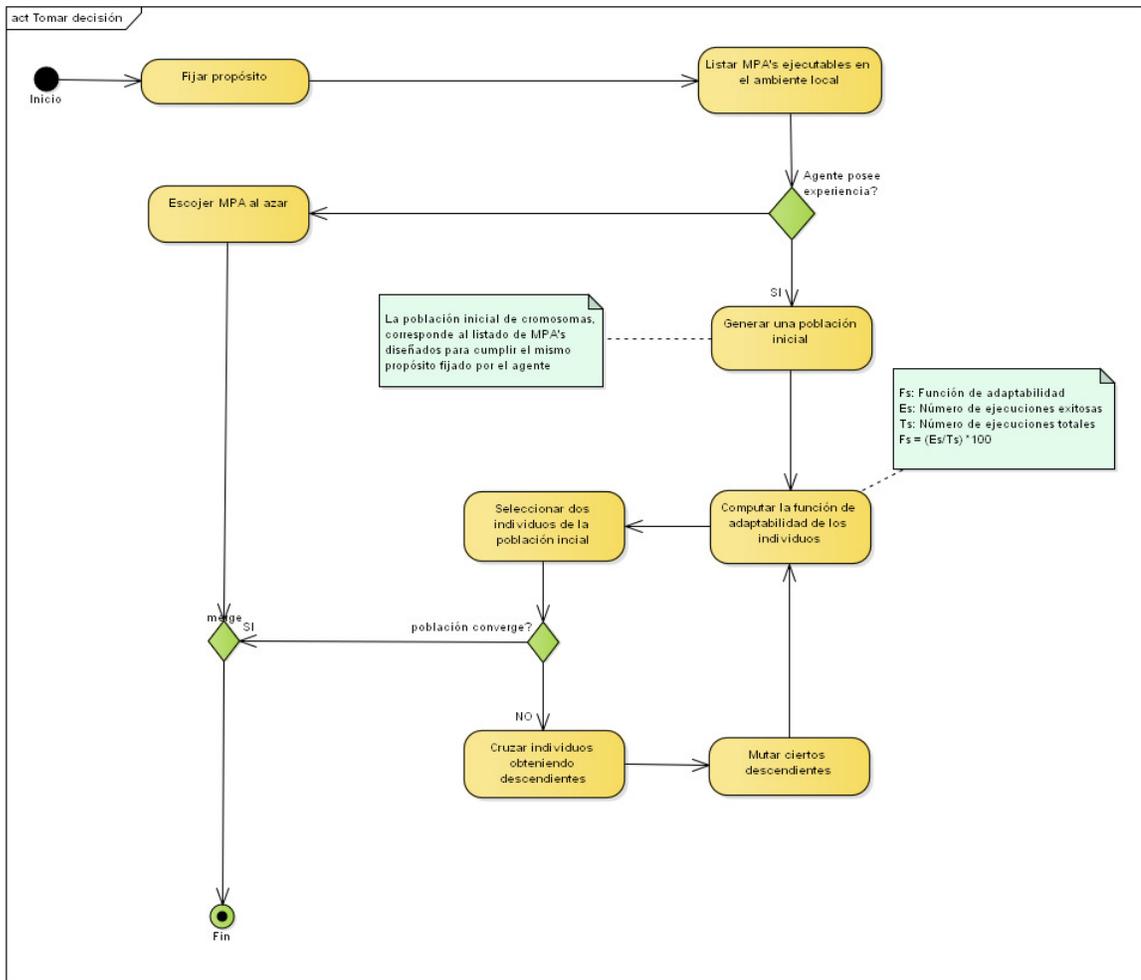


Figura 2.5: Decidir acción con propósito definido a ejecutar en relación con la situación percibida (Fuente:Este proyecto)

2.4.2. Experiencia y aprendizaje

Aprender implica adquirir conocimiento sobre “algo” por medio del estudio o de la experiencia [15]. Según Peter Checkland el conocimiento que guía la acción está “basado en la experiencia”. La Figura 1.1 describe el ciclo de experiencia acción, en el que “*toda acción con propósito definido, derivada del conocimiento basado en experiencia dará en sí por resultado una nueva experiencia*” [12, pág. 19]. Cada que dicho ciclo se completa, los estándares y conocimientos sobre el mundo experimentado varían, posibilitando el aprendizaje.

Para evaluar su experiencia, los agentes del modelo llevan un registro de los MPA’s ejecutados y la utilidad obtenida al finalizar su ejecución (este método de valoración está basado en el mecanismo usado en la arquitectura del *PRS* [45, pág. 82]). Al comparar los resultados con sus experiencias anteriores, determina si la acción fue buena o mala, concepto que es usado en la toma de posteriores decisiones como parte de la función de adaptabilidad.

Las variables consideradas para este escenario son:

- s : MPA ejecutado.
- U_s : Utilidad obtenida: Corresponde a la última utilidad obtenida al ejecutar un MPA s . Su valor inicial es 0.
- U_s MAX: ∞
- U_s MIN: 0
- M_p : Mayor utilidad obtenida: Corresponde a la mayor utilidad obtenida al ejecutar acciones encaminadas a un propósito definido p . Su valor inicial es 0.
- M_p MAX: ∞
- M_p MIN: 0
- E_s : Cantidad de ejecuciones consideradas exitosas por el agente al ejecutar un MPA s .
- E_s MAX: ∞

- E_s MIN: 0
- T_s : Número total de veces que el agente ha ejecutado un MPA s .
- T_s MAX: ∞
- T_s MIN: 0

Así entonces:

$$M'_p = \begin{cases} U_s & \text{si } U_s > M_p \\ M_p & \text{si } U_s \leq M_p \end{cases}$$

$$E'_s = \begin{cases} E_s + 1 & \text{si } \frac{U_s}{M_p} \geq 0.9 \\ E_s & \text{si } \frac{U_s}{M_p} < 0.9 \end{cases}$$

$$T_s = T_s + 1$$

Y la función adaptabilidad F_s :

$$F_s = \left(\frac{E_s}{T_s}\right) * 100 \quad (2.1)$$

La Figura 2.6 describe mediante notación UML para diagramas de actividad, el procedimiento empleado por los agentes inteligentes para evaluar su experiencia.

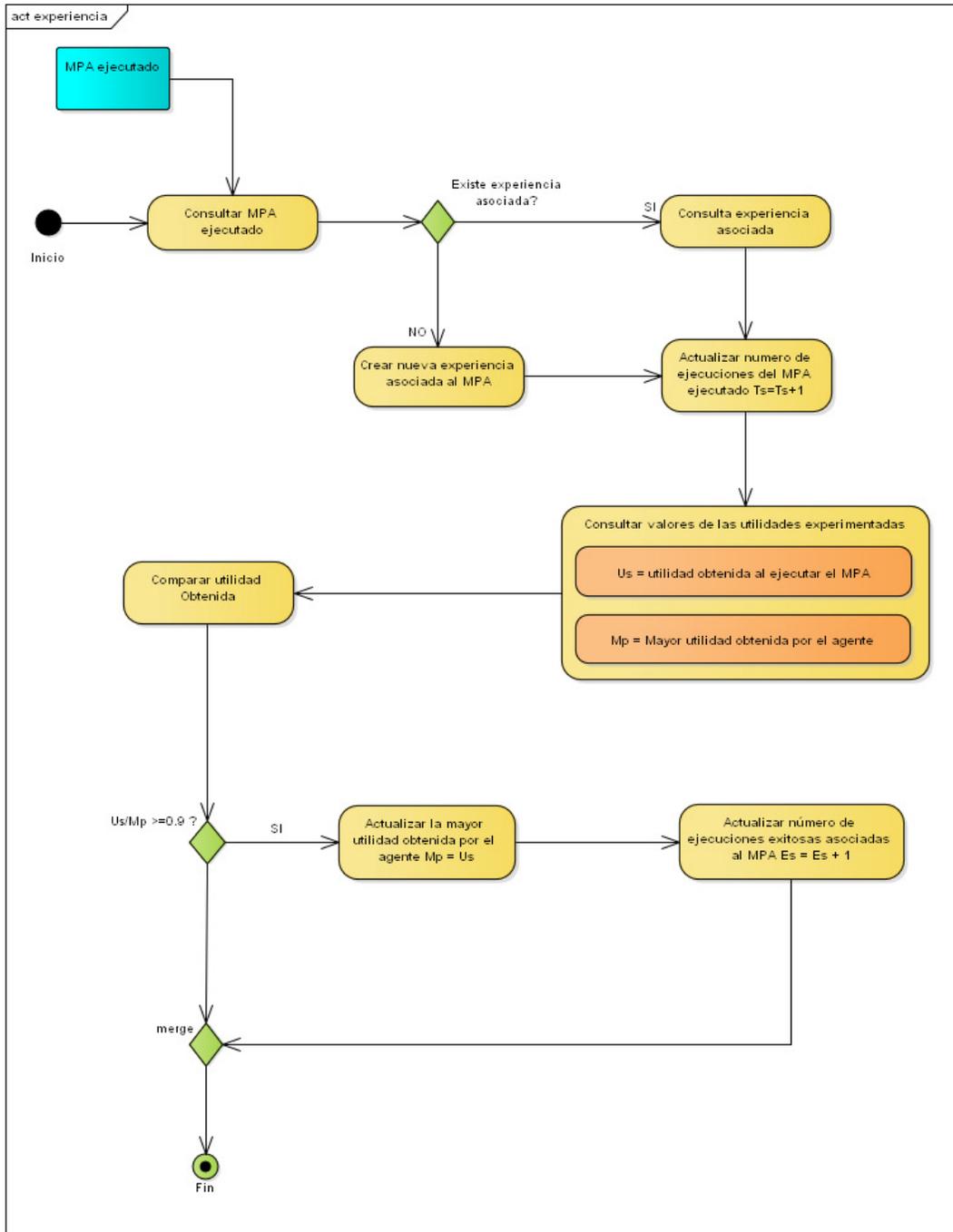


Figura 2.6: Evaluar experiencia (Fuente: Este proyecto)

2.4.3. Modelo de inteligencia para los agentes

Las Tablas 2.2 a 2.4 describen los mecanismos de razonamiento, aprendizaje y experiencia, según las plantillas propuestas en [1].

Tabla 2.2: Modelo de Inteligencia: Experiencia

Experiencia.	
Representación	Valor de utilidad.
Tipo	Calculado.
Grado de Confiabilidad	100 % para el agente que lo genera.
Esquema de procesamiento	Cálculo y actualización por parte del agente en cada experimentación.

Tabla 2.3: Modelo de Inteligencia: Mecanismo de Aprendizaje

Mecanismo de Aprendizaje.	
Nombre	Basado en la experiencia.
Tipo	Adaptativo.
Técnica de representación	Valores de utilidad para la consecución de los objetivos.
Fuente de aprendizaje	Histórico.
Mecanismo de actualización	<i>Feedback</i> basado en experiencia.

Tabla 2.4: Modelo de Inteligencia: Mecanismo de Razonamiento

Mecanismo de Razonamiento.	
Fuente de Información	Expectativas definidas en cada actividad u objeto de decisión o resultados previos.
Fuente de Alimentación	Expectativa predefinida en cada actividad u objeto de decisión. Experiencia histórica.
Continúa en la siguiente página	

Tabla 2.4: Modelo de Inteligencia: Mecanismo de Razonamiento

Tipo de inferencia	Razonamiento lógico.
Estrategia de razonamiento	Deliberativa.

2.5. Modelo de tareas

Entre los beneficios que brinda el uso de modelos basados en agentes para simulación de estructuras sociales, está la capacidad de poder simplificarlas a un nivel de actividades y aún contar con una descripción suficiente para la formulación. Cuando el comportamiento individual al interior de una organización social es caótico y complejo, es difícil definir satisfactoriamente modelos matemáticos e incluso abstracciones estructuradas en cadenas de procesos que los definan; sin embargo, siempre es posible identificar las tareas que llevan a cabo sus componentes a nivel individual; lo que ejecuta cada persona que compone tal organización [8, pág. 7281].

Con el fin de tener un marco conceptual sobre el cual sustentar la identificación de las actividades ejecutadas como parte del sistema de abastecimiento alimentario de Bogotá, se involucra el concepto de *sistema de actividad humana con propósito definido* (también llamado MPA -ver sección 1.3), definido por Checkland [11], como un modelo de abstracción pertinente para la conceptualización del comportamiento humano que permite encapsular diferentes grados de complejidad y manejar la subjetividad asociada al estudio social.

Las técnicas deliberativas mediante las cuales los agentes escogen las tareas a ejecutar que vayan acorde con sus objetivos e intenciones (Figura 2.5), están basados en la arquitectura del *Procedural Reasoning System* (PRS), desarrollado por Michael Georgeff and Amy Lansky, en el Instituto de Investigación de Stanford [45, pág. 82]:

“En el PRS, un agente . . . está equipado con una librería de planes de acción precompilados . . . Cuando el agente inicia, el objetivo a ser alcanzado es puesto en un arreglo de intenciones. Este arreglo contiene todos los objetivos que se pretenden alcanzar. El agente busca en el repositorio de planes aquellos cuya postcondición concuerda con el primer objetivo a alcanzar. De éstos, filtra aquellos cuyas precondiciones pueden ser cumplidas, de acuerdo con las creencias del agente. El conjunto de planes que (1) llevan a cabo el objetivo y (2) se cumplen sus precondiciones, conforman las posibilidades viables para el agente.”

Mediante los MPA's es posible encapsular comportamientos aplicables a uno o varios agentes, lo cual simplifica la especificación de las actividades incluidas en el modelo de simulación a la vez que permite su escalabilidad y adaptabilidad por medio de la inclusión de nuevos sistemas de actividad que se adapten a los resultados esperados y enriquezcan su complejidad. Este mismo esquema es usado en el PRS, donde incluyen *planes de acción* para definir la secuencia de actividades que ejecuta un agente artificial de acuerdo a sus objetivos.

En las siguientes secciones, se especifican los sistemas de actividad humana con propósito definido, obtenidos como resultado de un análisis sistémico llevado a cabo sobre el sistema social inmerso en el abastecimiento alimentario de Bogotá, empleando la metodología de sistemas suaves. Estos MPA's constituyen el grupo inicial de sistemas de actividad incluidos en la simulación del modelo de interacción de actores del SAAB y corresponden a la visión del mundo de los autores del presente trabajo. Es importante entender que el modelo propuesto es de naturaleza escalable por acción colaborativa de parte de sus posibles usuarios. Los modelos propuestos en esta versión inicial, pueden parecer cargados de subjetividad, ser muy genéricos o imprecisos (lo cual es consistente con la teoría de sistemas suaves); al incluir nuevos sistemas de actividad humana definidos a partir de distintas visiones del mundo, sin suprimir abstracciones anteriores propias o de terceros, enriquece la complejidad de la simulación y por ende su capacidad de emular la realidad.

2.5.1. Especificación de tareas

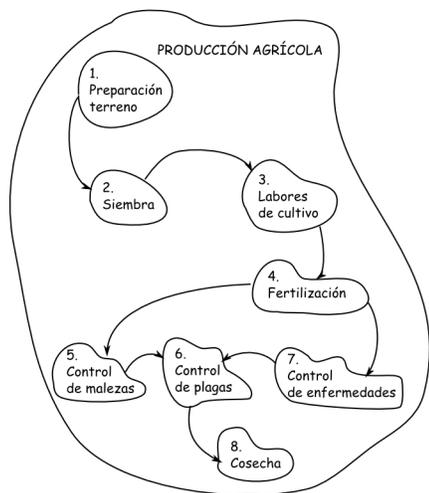
Para la descripción de los MPA's se sigue la notación propuesta por Checkland [11], detallada en la Figura 1.14. Su especificación se presenta mediante los formatos planteados por Aguilar J. et al. [1].

Tabla 2.5: Especificación de MPA: Producción agrícola

Producción agrícola
-Continúa en la siguiente página-

Descripción	Sistema de gestión de finca operado por un productor que mediante la transformación de recursos naturales, materia prima, conocimiento e información en productos alimenticios comercializables busca suplir sus necesidades de subsistencia.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Suplir necesidades de subsistencia y alimentación produciendo alimentos mediante la agricultura. - Producir alimentos agropecuarios para la venta. - Sacar provecho económico de terrenos propios mediante la agricultura.
Propósitos	- Producir producto agrícola (P) en (H) número de hectáreas, en el terreno (T) ubicado en el ambiente (A).
Servicios Asociados	- Ejecutar actividades de producción.
Precondición	<ul style="list-style-type: none"> - Poseer un terreno rural con capacidad para producir un producto. - Tener acceso a insumos agrícolas.
MPA-Producción Agrícola	
-Continúa en la siguiente página-	

Un sistema de gestión de finca operado por un productor que mediante la transformación de recursos naturales, materia prima, conocimiento e información en productos alimenticios comercializables busca suplir sus necesidades de subsistencia.



- C — Consumidores, transformadores, transportadores, operadores logísticos, vendedores.
- A — Productor
- T — Recursos naturales, materia prima, conocimiento e información → Esos elementos transformados en productos agrícolas
- W — La subsistencia de los seres humanos, está condicionada al consumo regular de alimentos.
- O — productor, gobierno, entes de regulación
- E — *Las condiciones geográficas, climáticas y naturales, determinan la viabilidad de productos en una región.
*Las regiones productoras suelen tener limitaciones y problemas de accesibilidad vial, seguridad, comunicación y deficit de mano de obra.

Postcondición	Propósito de venta/comercialización de productos agrícolas.
Parámetros de entrada	
Condiciones Ambientales (A)	Características del lugar donde se pretende ejecutar la actividad con propósito definido (Clima, piso térmico, productos viables, etc).
Terreno (T)	Características del terreno donde se ejecutará la actividad de producción.
Hectáreas (H)	Número de hectáreas a usar del terreno.
Producto (P)	Datos del producto a cultivar (Costo de producción por hectárea, unidad de medida, rendimiento por hectárea).

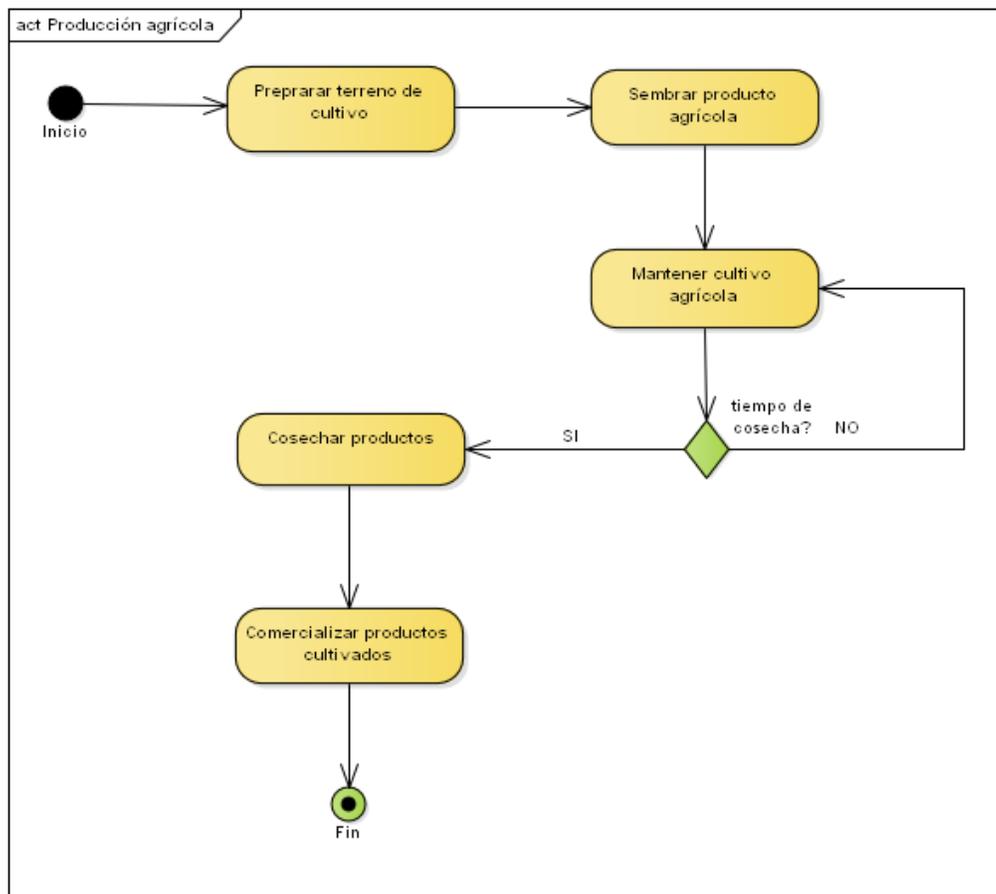


Figura 2.7: Producción agrícola (Fuente: Este proyecto)

Tabla 2.6: Descripción de MPA: Comprar Productos

Comprar Productos	
Descripción	Sistema operado por transformadores, vendedores e intermediarios para la transformación y/o venta de productos, mediante la compra de productos no transformados con ofertas acordes a intereses económicos que procuran la obtención de ganancias.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Suplir necesidades de subsistencia comercializando productos alimenticios. - Comprar alimentos para comercializarlos en mercados específicos.
Especificación:	Apéndice D, tabla D.2

Tabla 2.7: Descripción de MPA: Vender Productos

Vender Productos	
Descripción	Sistema operado por productores, intermediarios, para la venta de productos agropecuarios no transformados, mediante la oferta y negociación de productos para obtener ganancias económicas suficientes para suplir su subsistencia como ser humano y operación como productor agropecuario.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Suplir necesidades de subsistencia comercializando productos alimenticios. - Vender alimentos en mercados específicos.
Especificación:	Apéndice D, tabla D.3

2.6. Fijación de precios a productos por parte de los agentes

Dado que la fijación de los precios de los productos es una acción recurrente en distintos MPA's y puede impactar los resultados de la simulación,

se estandariza tal actividad usando fijación mediante márgenes de ganancia [32]. El costo unitario y precio de venta del producto se fijan de la siguiente manera [22]:

$$C_u = C_v + C_{ft}$$

Siendo:

- C_u : Costo Unitario del producto.
- C_v : Costos variables por unidad de producto.
- C_{ft} : Costo Fijo Total/ Cantidad de unidades del producto.

Una vez obtenido el costo unitario del producto, el precio estará dado por:

$$P = \frac{C_u}{1 - Mg}$$

Donde:

- P : Precio de venta por unidad del producto.
- C_u : Costo Unitario del producto.
- Mg : Margen de ganancia esperado expresado en valor porcentual.

Así por ejemplo, para una cosecha de 100.000 kilos de cebolla con un costo de producción de COP 54'000.000, un productor con un margen de ganancia del 10 % fija el precio de venta de la siguiente forma:

$$C_u = \frac{54'000.000COP}{100.000Kg} = 540 \frac{COP}{Kg}$$

$$P = \frac{540}{1 - 0.1} = 600 \frac{COP}{Kg}$$

2.6.1. Variación de precios

En cada una de las fases de la cadena de venta del producto en la que es ejecutada la actividad de venta, el precio del producto se ve afectado en conformidad con los expuesto en el numeral anterior. Así pues, el porcentaje de variación del precio estará dado por:

$$C = \left(\frac{P_f - P_0}{P_0} \right) * 100$$

Siendo:

- P_f : Precio final de venta del producto, es decir, aquel que paga el consumidor final.
- P_0 : Precio inicial de venta del producto, es decir, aquel que estima el productor y con el cual genera la oferta inicial.

2.7. Modelo de comunicación

Para garantizar la comunicación entre los agentes en un modelo ABM, es posible usar distintas formas de interacción: (1) Acciones sobre el entorno, en donde no hay una comunicación directa entre componentes sino se usa la interpretación del entorno como medio comunicativo [33]; (2) Pizarra compartida, en la que se establece un área de trabajo común a la cual pueden estar “afiliados” varios agentes y sobre la cual registran información relevante. Mediante dicha pizarra se comparte información y no hay comunicación directa entre los agentes [33]; (3) Paso de mensajes, es el método más natural a usar en modelos de simulación social por seguir los principios de la comunicación humana.

Una característica de los actos humanos y su interacción con el entorno es el uso del lenguaje, el cual permite transmitir ideas, conceptos y creencias así como expresar intencionalidad y actuar sobre otros seres humanos. Esa intencionalidad en el uso del lenguaje se conoce como *acto de habla* o *acto comunicativo*. Toda declaración está inmersa en un acto de habla: petición, sugerencia, promesa, amenaza, etc., a partir del cual toma coherencia en un determinado contexto. En inteligencia artificial los actos de habla forman parte de la base conceptual sobre la cual se implementa la comunicación entre componentes. Toda acción realizada por un agente artificial con la intención de ser percibida por otro(s) agente(s) constituye un acto comunicativo [14].

Un acto de habla “designa las acciones intencionales en el curso de una conversación” [33], hace referencia a la función conativa y no a la veracidad o falsedad de una sentencia [4] (citado en [14]). Se define como un tipo especial de acción que implica interacción de dos entidades y posee una *fuerza ilocutora* (F) que caracteriza a su vez la naturaleza del acto mismo.

El acto realizado por el locutor (emisor de un mensaje) sobre el destinatario del mensaje, se conoce como *ilocución*; los efectos que tienen tales actos ilocutorios en el estado del destinatario y en sus creencias, juicios y/o acciones se conoce como *perlocución* [33]. Cada acto ilocucionario posee contenido proposicional (p) que especifica lo que está siendo preguntado, sugerido, ordenado, advertido, etc. Las preposiciones deben guardar coherencia con un lenguaje y una gramática común entre los escuchantes para asegurar que el

mensaje sea comprendido y el acto comunicativo se complete. Con el ánimo de estandarizar las estructuras de comunicación entre agentes artificiales, la FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) [16], como ente encargado de producir especificaciones estándar para las tecnología basadas en agentes, establece una biblioteca de 22 actos comunicativos (como parte del lenguaje de comunicación entre agentes: ACL - por las siglas en inglés para *Agents Communication Language*), que permiten conceptualizar diferentes intenciones y otorgan un marco de trabajo sobre el cual definir modelos comunicativos y de interacción social.

2.7.1. Actos comunicativos FIPA a incluir en el modelo de simulación

El modelo de simulación contempla interacciones comunicativas como parte integral de las tareas definidas en los MPA's (sección 2.5.1) usando el estándar ACL. En esta sección se describen los actos comunicativos FIPA FIPA [16] usados en el modelo, haciendo uso de las plantillas para la especificación de actos de habla sugeridas por Aguilar J. et al. [1].

Tabla 2.8: Modelo de comunicación: accept-proposal [16, pág. 3]

accept-proposal.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Aceptar una proposición enviada previamente (generalmente a través del acto <i>proposal</i>).
Especificación:	Apéndice E tabla E.0.16.

Tabla 2.9: Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp [16, pág. 6]

Call for Proposal - cfp.	
Tipo	Asertivo.
Continúa en la siguiente página	

Tabla 2.9: Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp [16, pág. 6]

Objetivo	Comunicar el inicio de un proceso de negociación e inducir el envío de propuestas para llevarla a cabo.
Especificación:	Apéndice E tabla E.0.17.

Tabla 2.10: Modelo de comunicación: inform [16, pág. 10]

inform.	
Tipo	Declarativo.
Objetivo	Informar sobre una proposición que se asegura es verdadera (puede darse como respuesta a una pregunta anterior).
Especificación:	Apéndice E tabla E.0.18.

Tabla 2.11: Modelo de comunicación: not-understood [16, pág. 14]

not-understood.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Informar que un acto de habla recibido con anterioridad, no lo pudo entender.
Especificación:	Apéndice E tabla E.0.19.

Tabla 2.12: Modelo de comunicación: propose [16, pág. 18]

propose.	
Tipo	Declarativo.
Continúa en la siguiente página	

Tabla 2.12: Modelo de comunicación: propose [16, pág. 18]

Objetivo	Declarar una propuesta o responder una anterior en un proceso de negociación.
Especificación:	Apéndice E tabla E.5.

Tabla 2.13: Modelo de comunicación: query-if [16, pág. 21]

query-IF.	
Tipo	Directivo.
Objetivo	Preguntar a otro agente si la proposición dada es verdadera.
Especificación:	Apéndice E tabla E.6.

Tabla 2.14: Modelo de comunicación: refuse [16, pág. 23]

refuse.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Informar sobre la imposibilidad de ejecutar cierta acción solicitada.
Especificación:	Apéndice E tabla E.0.22.

Tabla 2.15: Modelo de comunicación: reject-proposal [16, pág. 24]

reject-proposal.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Rechazar una propuesta hecha por el agente destinatario.
Especificación:	Apéndice E tabla E.0.23.

Tabla 2.16: Modelo de comunicación: Request [16, pág. 25]

request	
Tipo	Declarativo.
Objetivo	Solicitar al destinatario la ejecución de una acción.
Especificación:	Apéndice E tabla E.0.24.

2.7.2. Ontología

En el lenguaje natural las reglas gramaticales necesarias para la comunicación son determinadas por el idioma; sin embargo, al momento de involucrar la transmisión de mensajes en un modelo artificial, es necesario formular, redefinir y acotar el universo de términos así como la riqueza gramatical usada en la transmisión de mensajes con el fin de reducir su complejidad.

Ontología se puede definir como: el conjunto de términos que describen un dominio temático, estructurados jerárquicamente de forma tal que sea posible construir una base de conocimiento a partir de la misma [41]. La descripción de una ontología común para los agentes del modelo garantiza la interpretación de los mensajes implicados en la comunicación y permite compartir y reutilizar el conocimiento además de separarlo de aspectos operacionales [3]. La formalización de una ontología puede contener componentes tales como *Clases*, *Subclases*, *Instancias*, *Propiedades (Slots)*, *Variables*, *Relaciones*, *Funciones y Axiomas*.

Noy and McGuinness [38] definen ontología como “una descripción formal y explícita de conceptos en un dominio de discurso (*Clases*, también llamados *conceptos*), propiedades de cada concepto que describen sus características y atributos (*slots*, también llamados *roles*) y restricciones sobre los *slots* (o *facets*)”. Las *Clases* describen los conceptos del dominio. Las *Clases* pueden tener subclases que representan conceptos más específicos. Los *Slots* describen las propiedades de las clases.

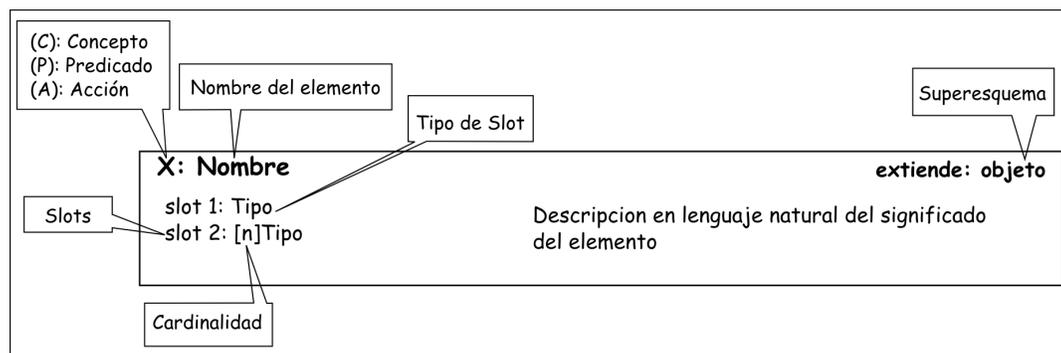


Figura 2.8: Representación de conceptos, predicados y acciones (Tomado de [3, pág. 40])

Con la finalidad de facilitar la comunicación entre los agentes del modelo de simulación, se formula una ontología que agrupa términos usuales en un entorno comercial dónde diferentes actores ofertan y demandan productos agropecuarios. Se decide no hacer uso de ontologías preexistentes, con el fin de limitar su alcance estrictamente a las necesidades del modelo y simplificar su implementación. La primera representación formal se hace mediante un diagrama de clases (haciendo uso de notación UML), la cual define la jerarquía y propiedades de cada concepto y acción (Figura 2.9). En la Figura 2.10 se presenta el dominio semántico que usarán los agentes en sus conversaciones, usando la notación no normalizada presentada por Arauzo, José Alberto et al. [3]. Dicha notación simplifica la presentación visual de los diferentes artefactos involucrados en la formulación de la ontología (ver Figura 2.8).

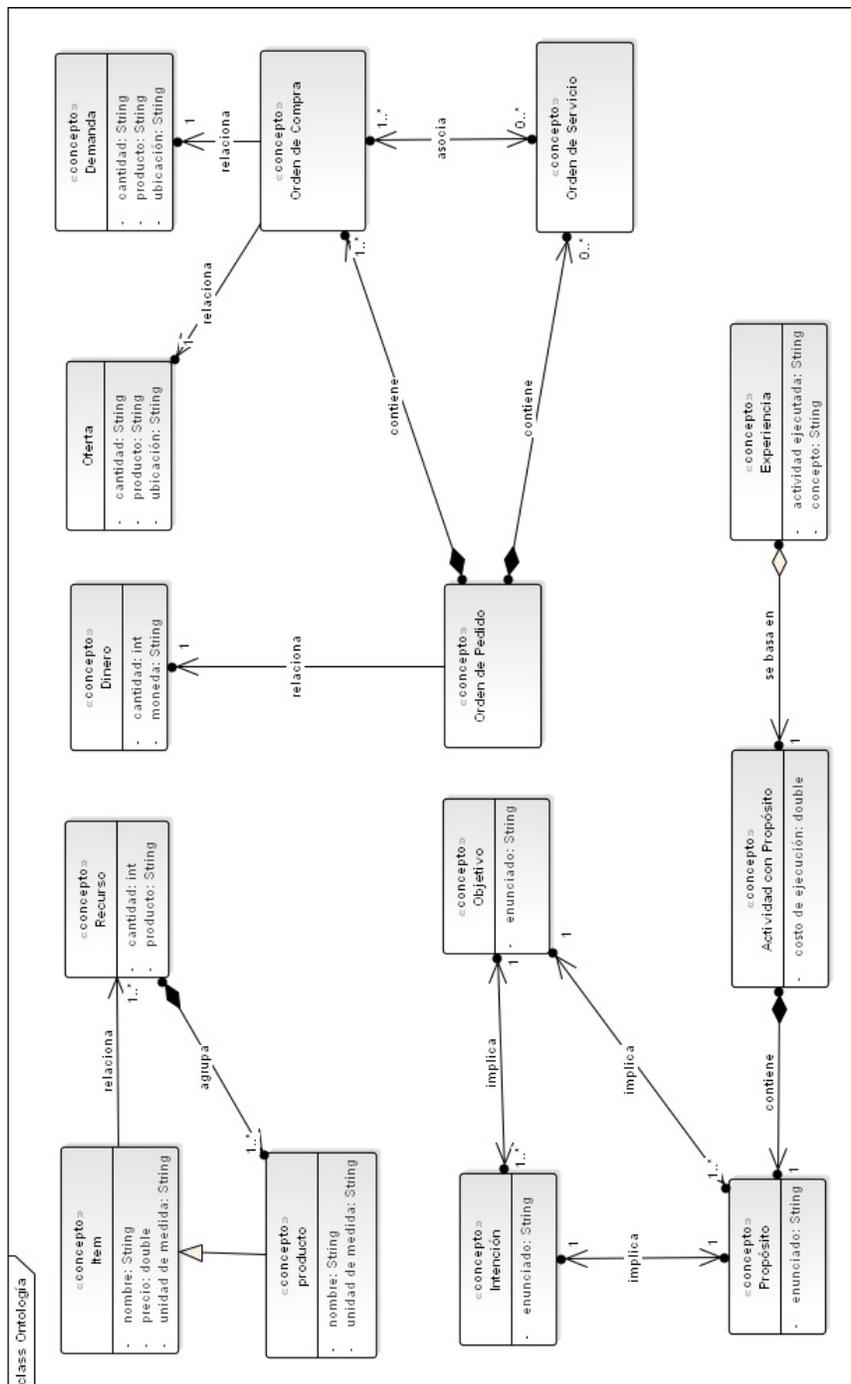


Figura 2.9: Ontología para comunicación entre agentes (Fuente: Este proyecto)

<p>C: Item nombre:String precio: String unidad de medida: String</p> <p>Objeto utilizable por un agente.</p>	
<p>C: Producto nombre:String precio: String unidad de medida: String agrícola: boolean pecuario: boolean</p> <p>extiende: Item</p> <p>Item específico, obtenido de un proceso de transformación.</p>	
<p>C: Recurso Items [1..*]: Item</p> <p>Conjunto de items utilizables por un agente.</p>	
<p>C: Propósito Enunciado: String Objeto [1..*]: Item</p> <p>Item que se pretende conseguir</p>	
<p>C: Objetivo Enunciado: String</p> <p>Fin al que se encamina alguna acción.</p>	
<p>C: Dinero Moneda: String Cantidad: Double</p> <p>Valor adquisitivo de un objeto que representa un medio de cambio legal.</p>	
<p>C: Utilidad Esperada: boolean Real: boolean Monto [1..1]: Dinero</p> <p>Provecho monetario que se saca de una actividad u objeto.</p>	
<p>C: Demanda cantidad promedio: int producto [1..1]: Producto Ubicación [1..1]: Ubicación</p> <p>extiende: Utilidad</p> <p>Necesidad aparente de un producto en una ubicación específica.</p>	
<p>C: Oferta Cantidad: int Producto [1..1]: Producto Lugar [1..1]: Ubicación</p> <p>Intención de venta de un producto en una ubicación específica.</p>	
<p>C: Experiencia Concepto: String Actividad ejecutada [1..1]: ActividadConProposito</p> <p>Recuerdo histórico de la ejecución de cierta actividad</p>	
<p>C: Ubicación descripción: String coordenadas: String</p> <p>Puntos cartesianos que identifican un lugar específico..</p>	
<p>C: Punto de Oferta/Demanda descripción: String coordenadas: String oferta: boolean demanda: boolean</p> <p>extiende: Ubicación</p> <p>Lugar dónde existe una intención de venta o necesidad aparente de un producto.</p>	
<p>C: NodoLogístico descripción: String coordenadas: String</p> <p>extiende: Ubicación</p> <p>Lugar de utilidad para el abastecimiento de alimentos..</p>	
<p>C: VíaTransitable descripción: String coordenadas: String</p> <p>extiende: Ubicación</p> <p>Espacio cartesiano que permite movilizarse entre dos puntos.</p>	
<p>C: CentroAcopio descripción: String coordenadas: String capacidad: int Unidad de Medida: String</p> <p>extiende: NodoLogístico</p> <p>Lugar especial dispuesto para el almacenamiento de alimentos y mercancía.</p>	
<p>C: Tienda descripción: String coordenadas: String oferta: boolean demanda: boolean productos [*..*]: Producto</p> <p>extiende: Punto de Oferta/Demanda</p> <p>Lugar donde se compran al por mayor y se venden al por menor diferentes productos.</p>	
<p>C: Mercado descripción: String coordenadas: String oferta: boolean demanda: boolean productos [*..*]: Producto</p> <p>extiende: Punto de Oferta/Demanda</p> <p>Lugar donde se compran al por mayor y se venden al por menor diferentes productos frescos.</p>	
<p>A: AccionConProposito Nombre:String Proposito [1..1]: Proposito Recursos [0..*]: Recurso Utilidad [1..1]: Utilidad costo de ejecución[1..1]: Dinero</p> <p>Acción con propósito definido que puede ejecutar un agente</p>	
<p>C: Puntaje de Utilidad Codigo: String Ponderación: Double</p> <p>Medida de la conveniencia de ejecutar una acción con propósito definido..</p>	

Figura 2.10: Conceptos definidos en la ontología para los agentes (Según notación [3, pág. 40])

<p>P: Vendo producto a precio</p> <p>producto [1..*]: Producto precio [1..*]: Dinero unidadMedida: String</p>	<p>Expresa la venta del producto al precio especificado por unidad (en unidades de medida).</p>
<p>P: Compro cantidad de producto</p> <p>producto [1..*]: Producto cantidad: int unidadMedida: String</p>	<p>Expresa la intención de comprar la cantidad del producto especificado (cantidad en unidades de medida).</p>
<p>P: Comprar producto a precio</p> <p>producto [1..*]: Producto precio [1..*]: Dinero cantidad: int unidadMedida: String</p>	<p>Indica la compra (una cantidad específica) del producto al precio especificado por unidad (en unidades de medida).</p>
<p>P: Vender producto a precio</p> <p>producto [1..*]: Producto precio [1..*]: Dinero cantidad: int unidadMedida: String</p>	<p>Indica la venta (una cantidad específica) del producto al precio especificado por unidad (en unidades de medida).</p>
<p>P: Ejecutar Accion con Propósito</p> <p>acción [1..*]: AccionConProposito</p>	<p>Expresa la acción de ejecutar una actividad con propósito definido.</p>
<p>P: UtilidadDeAccion</p> <p>Accion [1..*]: AccionConProposito utilidad [1..*]: Puntaje de Utilidad creencia: boolean</p>	<p>Expresa la creencia sobre la utilidad esperada al ejecutar una acción.</p>
<p>P: AccionEjecutable</p> <p>Accion [1..*]: AccionConProposito Ejecutable: Boolean</p>	<p>Indica si la acción es ejecutable.</p>

Figura 2.11: Preposiciones definidas en la ontología para los agentes (Según notación [3, pág. 40])

2.8. Modelo de coordinación

Dada la interdependencia tácita de los agentes en el modelo, un esquema de coordinación es imperativo para definir los tiempos y prioridades en que diferentes actividades concurrentes son ejecutadas así como el intercambio de información mediante actos comunicativos [45, pág. 200]. A diferencia de otras metodologías de simulación, el tiempo de ejecución de un modelo basado en agentes tiende a ser continuo, donde las propiedades emergentes deseables o esperadas, pueden no ser inmediatas o estáticas. Con el fin de llevar a cabo una implementación controlada y coordinada de la simulación, se usan ciclos de tiempo discreto “*tick-based simulation*” [35]. El uso de esta técnica requiere que a cada agente le sea definido un procedimiento, servicio o acción base, la cual ejecutará en cada ciclo (*tick*). En la Tabla 2.17 se detallan las condiciones de activación de los servicios de cada uno de los agentes definidos en las secciones anteriores.

Tabla 2.17: Metodología de activación de servicios

Agente	Condición de activación	Servicio
Productor Oferente Operador de red de Oferta	Inicio del ciclo (<i>tick</i>)	Ejecutar actividades de productor.
Intermediario	Inicio del ciclo (<i>tick</i>)	Ejecutar actividades de intermediario.
Vendedor Final Demandante Operador de red de demanda	Inicio del ciclo (<i>tick</i>)	Ejecutar actividades de vendedor.
Infraestructura Logística	Generación de Orden de servicio logístico	El servicio relacionado en la orden.
SISAAB	Bajo demanda	El servicio demandado.

La interacción de un agente con su entorno, está supeditada a sus capacidades de comunicación con el mismo. Para no afectar su independencia es preferible determinar elementos comunicativos mediante los cuales pueda transmitir y recibir mensajes, con los elementos del modelo al que pertenece y los entornos con los que interactúa. Con el fin de simplificar las capacidades comunicativas de los agentes, es posible reducir los tipos de mensajes que necesitará cada uno, especificando las interacciones que se toman en cuenta para la simulación y a partir de ellas definir los *modelos de conversación* que coordinarán la interacción de los elementos del modelo de simulación. En la sección F.0.25 del Apéndice F, se especifican los protocolos de conversación definidos para los agentes, haciendo uso de las plantillas sugeridas en [1].

Capítulo 3

ESPECIFICACIÓN FUNCIONAL DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN

3.1. Alcance del Prototipo

El prototipo de simulación consiste en una herramienta de software que automatiza la ejecución del modelo de simulación basado en agentes (Capítulo 2). Sus componentes posibilitan la interacción conjunta de un grupo de agentes artificiales, los cuales representan el comportamiento de los actores presentes en SAAB en una eventual implementación del PMASAB por parte del gobierno distrital. Se limitan las funcionalidades del prototipo buscando simplificar su implementación y garantizar su viabilidad bajo los recursos previstos en el presente proyecto.

Se requiere que el prototipo incluya un agente SISAAB el cual debe encapsular el comportamiento de los sistemas de información del SAAB en lo que respecta al registro de ofertas, demandas y compra de productos bajo el esquema planteado en el PMASAB. Debe implementar los agentes “Productor”, “Oferente”, “Operador de red de Oferta”, “Demandante”, “Operador de red de demanda” y “Vendedor Final” como agentes con razonamiento práctico (ver sección 2.3), con los parámetros que definen su inteligencia pa-

ra la toma de decisiones y aprendizaje por experiencia como se describe en la sección 2.4. Los agentes “Operador logístico”, “Sistema de Información del SAAB” y consumidor pueden estar limitados bajo características de agentes reactivos. Se requiere que el “Operador Logístico” encapsule las actividades de recepción de ordenes de servicio, recolección y despacho de productos desde los nodos del SAAB. Debe emular la producción y comercialización del producto “Cebolla de Bulbo” desde el primer anillo (este es el único producto que se incluye en el prototipo ya que es la cadena de abastecimiento de la que se posee mayor información en el grupo de investigación Arquisoft [18]).

3.2. Requerimientos del prototipo de simulación

A raíz de la conceptualización del SAAB como situación problemática mediante el uso de metodologías de análisis organizacional, el modelo de simulación basado en agentes y enmarcado en el alcance planteado para el prototipo, surgen requerimientos a ser ejecutados por el software de simulación, los cuales son especificados de la siguiente manera:

ID	RF1
Nombre	Emulación del ambiente transaccional para el producto "cebolla de bulbo".
Descripción	Se debe implementar el modelo de simulación tomando el producto 'cebolla de bulbo' como ejemplo para la ejecución.
Prioridad	Alta.

Con el fin de simplificar la presentación de este documento, el detalle de los demás requerimientos funcionales (identificados con las siglas RF) y no funcionales (RNF) planteados para la simulación de los modelos de agentes, tareas, inteligencia y comunicación pueden ser encontrados en:

Apéndice G: Especificación de requerimientos del prototipo de simulación

3.3. Diagrama general de casos de uso

En la Figura 3.1 se describen los casos de uso identificados para el sistema simulador de interacción de actores del SAAB. Se reconoce principalmente un solo actor definido como “Usuario con propósitos de simulación” (Tabla 3.1) al cual se le permite configurar los parámetros de ejecución tanto del sistema como del modelo. No se definen funcionalidades especiales de configuración y/o administración del sistema, pensando en que todos los usuarios deben contar con la capacidad de manipulación total de la herramienta para garantizar sus propósitos de simulación. Aún así, para posibilitar la ejecución de la simulación sin exigir mayor información al usuario, se anota la necesidad de una pre-configuración inicial suficiente. La funcionalidad del software está orientada a la ejecución y obtención de resultados al usar el modelo de simulación basado en agentes.

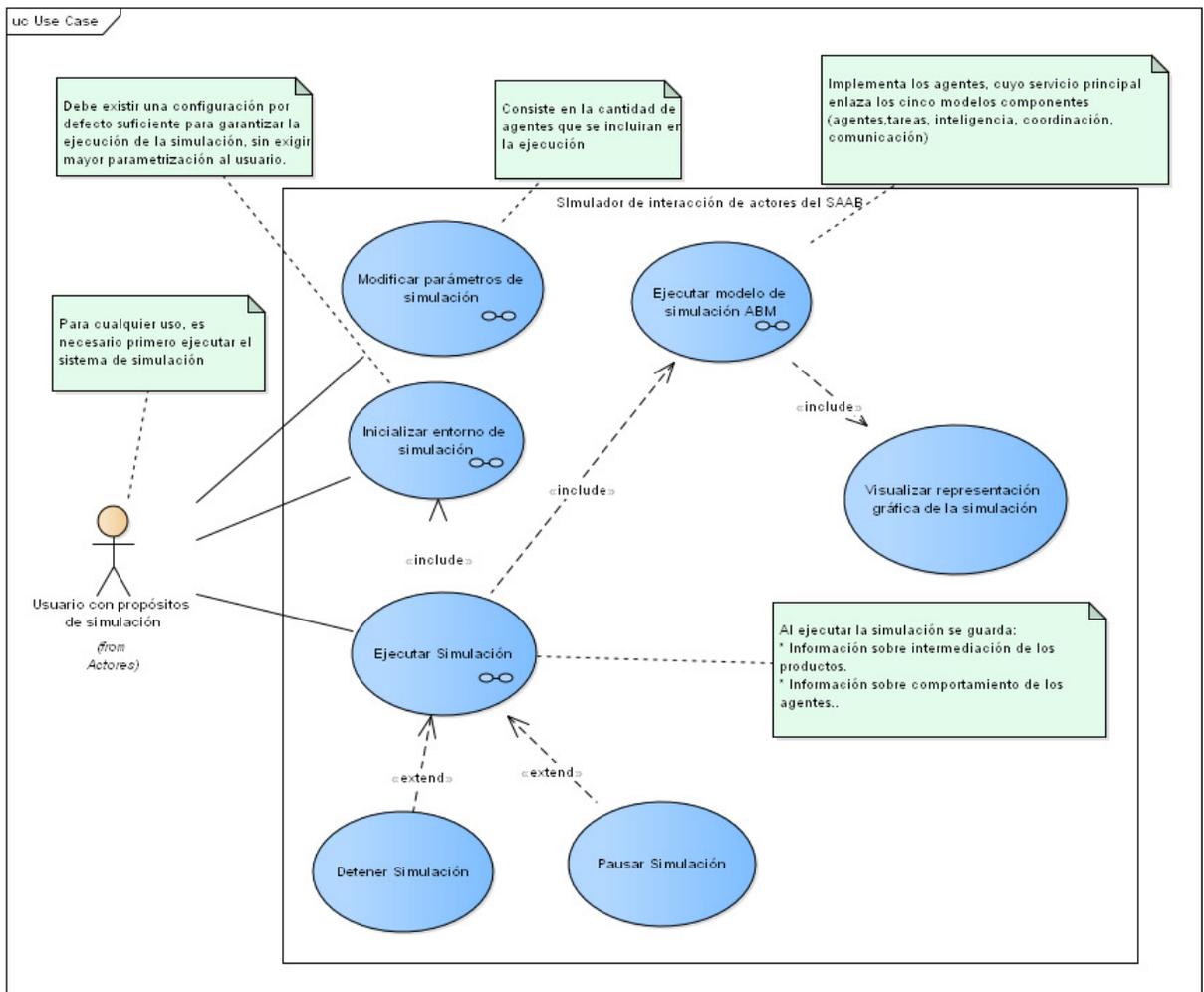


Figura 3.1: Casos de uso identificados para el sistema de simulación del modelo de interacción de actores del SAAB (Fuente: Este proyecto)

3.3.1. Actores del sistema

Nombre	Usuario con propósitos de Simulación
Funciones	Ejecutar la simulación, ver su proceso y visualizar los resultados de la misma.
Privilegios	Asignar un valor a los datos parametrizables previo al inicio de la simulación, iniciar, detener y pausar el proceso de simulación.

Tabla 3.1: Actores definidos para el prototipo de simulación de interacción de actores del SAAB

3.3.2. Especificación de casos de uso

La especificación de los casos de uso identificados se realiza mediante diagramas de actividades y una descripción previa de sus principales características:

3.3.2.1. Modificar parámetros de simulación

Caso de Uso	CU1: Modificar parámetros de simulación.
Descripción	Permite modificar los parámetros configurados por defecto que se usan al simular la interacción de actores del SAAB. Incluye la cantidad de ciclos de tiempo a ejecutar, la semilla para números aleatorios y el número de agentes a incluir en la simulación.
Pre-condición	Ejecutar ("abrir") el programa de simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Valores incorrectos o insuficientes.
Condición de éxito	Valores correctos.

Tabla 3.2: Caso de uso: Modificar parámetros de simulación

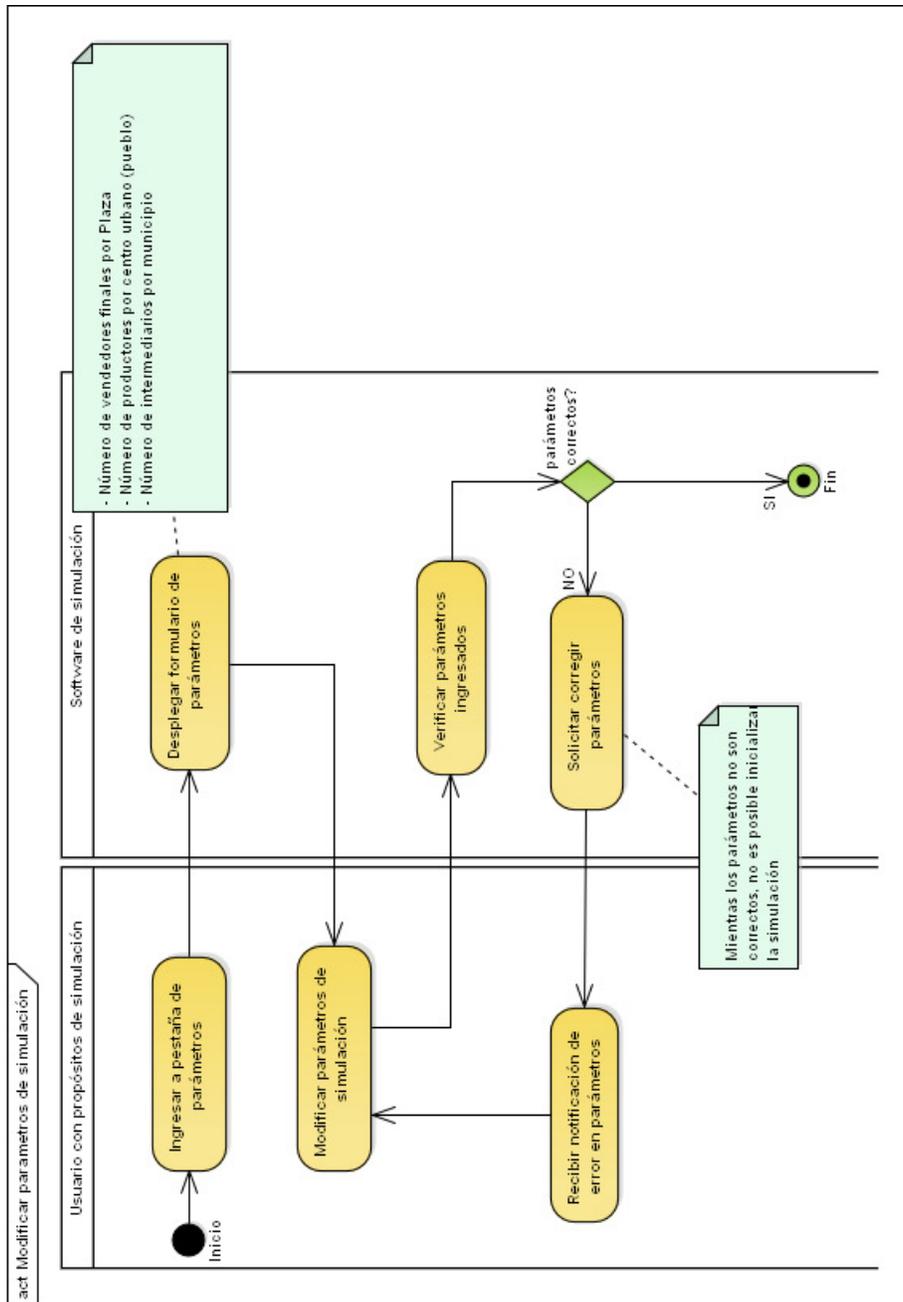


Figura 3.2: Especificación del caso de uso: Modificar parámetros de simulación (Fuente: Este proyecto)

Para efectos de facilitar la lectura de este documento, la especificación de los casos de uso restantes puede ser observada en:

Apéndice H: Especificación de casos de uso

Capítulo 4

ESPECIFICACIÓN ARQUITECTÓNICA DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN

4.1. Módulos del prototipo

En esta sección se presentan los módulos que integran el prototipo de simulación, mediante el uso de elementos “componentes” de UML estereotipados para su representación.

El *framework RePast Symphony* es uno de los módulos del prototipo, como se ilustra en la Figura 4.1. Proporciona la plataforma de ejecución multiagente y el entorno gráfico de la herramienta. Incluye el *framework* JGAP (*The Java Genetic Algorithms Package*), el cual facilita la implementación de algoritmos genéticos y el subcomponente *Scheduler* el cual coordina ejecución de los agentes mediante ciclos de tiempo discreto (*ticks*).

El prototipo está compuesto también por cinco módulos que implementan las perspectivas que definen el modelo basado en agentes descrito en el Capítulo 2.

El *módulo de agentes* implementa los agentes definidos en el modelo de simulación.

El *módulo de inteligencia* hace uso del paquete *JGAP* para implementar el razonamiento de los agentes;

El *módulo de comunicación* encapsula la estructura para envío y recepción de mensajes, que permite la comunicación ente los agentes requerida para la ejecución de MPA's incluidos en el *módulo de tareas*.

El *módulo de contextos* implementa los espacios físicos y conceptuales en los que se ubican e interactúan los agentes; en este módulo se implementa la interfaz *ContextBuilder* del *framework* Repast Symphony, mediante la cual crea los contextos y proyecciones que representan dichos ambientes.

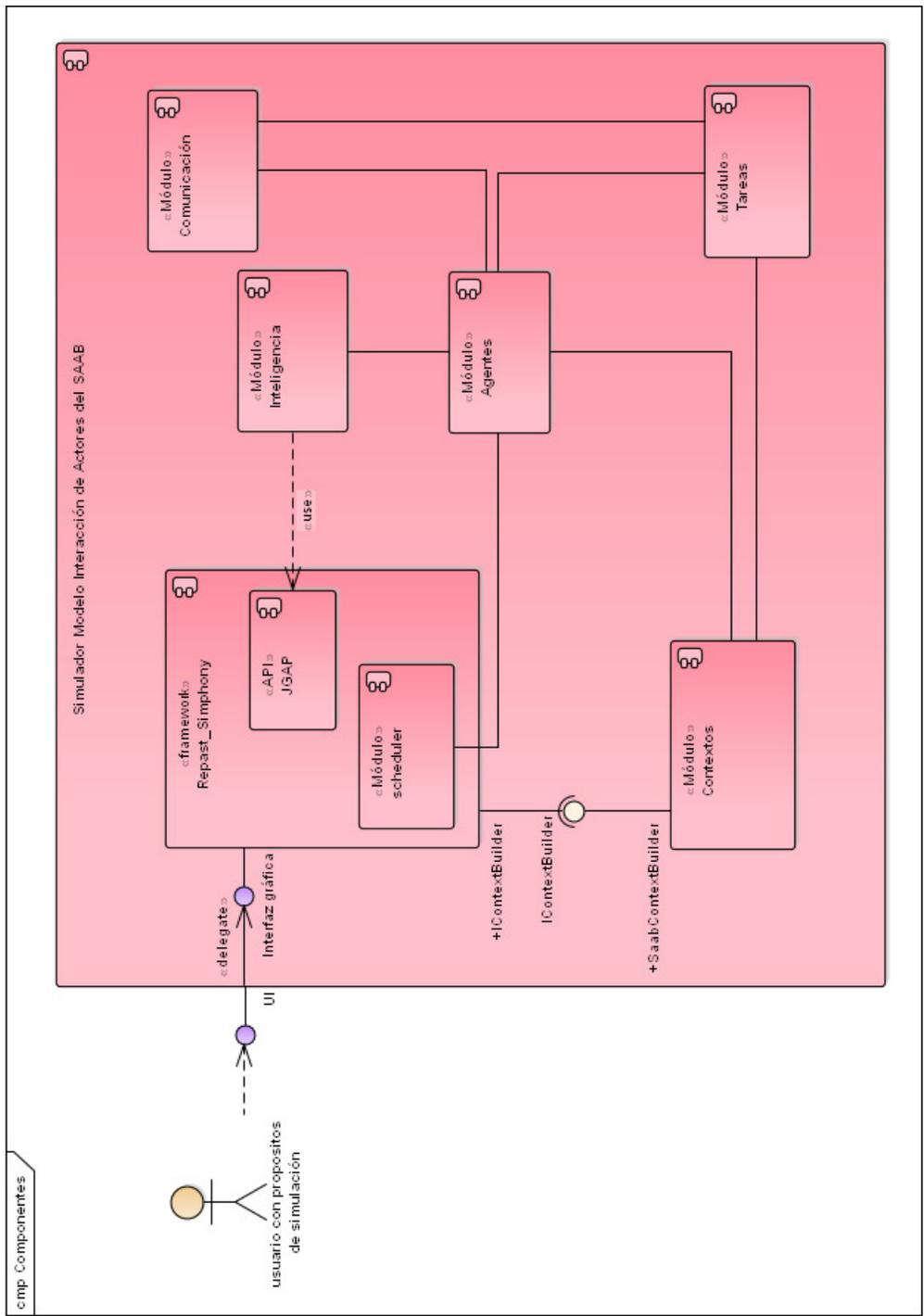


Figura 4.1: Diagrama de componentes del sistema

Capítulo 5

MODELADO ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN

5.1. Modelo de clases

La especificación estructural del prototipo se describe mediante diagramas de clases UML (Figuras 5.1 a 5.6) segmentado en diferentes paquetes (global, contextos, agentes, tareas, inteligencia, comunicación) para simplificar su presentación. El listado de las clases del modelo, junto con la descripción de los atributos y métodos que la componen se encuentra en el diccionario de clases. Ver Apéndice A.

5.1.1. Clases globales y abstracciones de contextos

El paquete de *contextos* contiene representaciones de ambientes físicos y abstractos, además de clases para configuración y visualización de los entornos de simulación. Las clases de tipo “-*clase-Style*” definen la apariencia visual del objeto del cual llevan el nombre (ej: *TiendaStyle* define la apariencia visual de los objetos *Tienda*). En el paquete *global*, se definen clases de uso común en varios componentes del simulador, como la enumeración *VARIABLES_Globales*, un observador que registra datos sobre varios componentes

durante la simulación (*DataCollector*) y la clase mediante la cual persiste tales datos (*SimulaSAABLogging*).

5.1.2. Agentes

En el módulo de *agentes* se incluye las clases que implementan los agentes del modelo de simulación; define las interfaces *Agenteinteligente* y *AgenteReactivo* de las cuales heredan clases especializadas definidas a partir del modelo (ej: *Oferente*, *Demandante*, *Productor*, *Intermediario*, ... entre otros).

5.1.3. Inteligencia

EL paquete *inteligencia* presenta las abstracciones de objetos mediante las cuales se implementa el modelo de inteligencia definido en la sección 2.4. Define implementaciones de clases del *framework JGAP* (*ExperienciaAccion y MPAGene*) y una clase *Cerebro* la cual implementa los “procesos inteligentes” de los agentes.

5.1.4. Tareas

En el módulo de *Tareas* se incluyen las clases que implementan las actividades ejecutables por los agentes del modelo, las cuales heredan de la interfaz *SistemaActividadHumana*.

5.1.5. Comunicación

En concordancia con el modelo de comunicación definido en la sección 2.7, el módulo define los conceptos y elementos necesarios para hacer posible la comunicación entre agentes. La clase *MensajeACL* esta basada en el estándar FIPA-ACL.

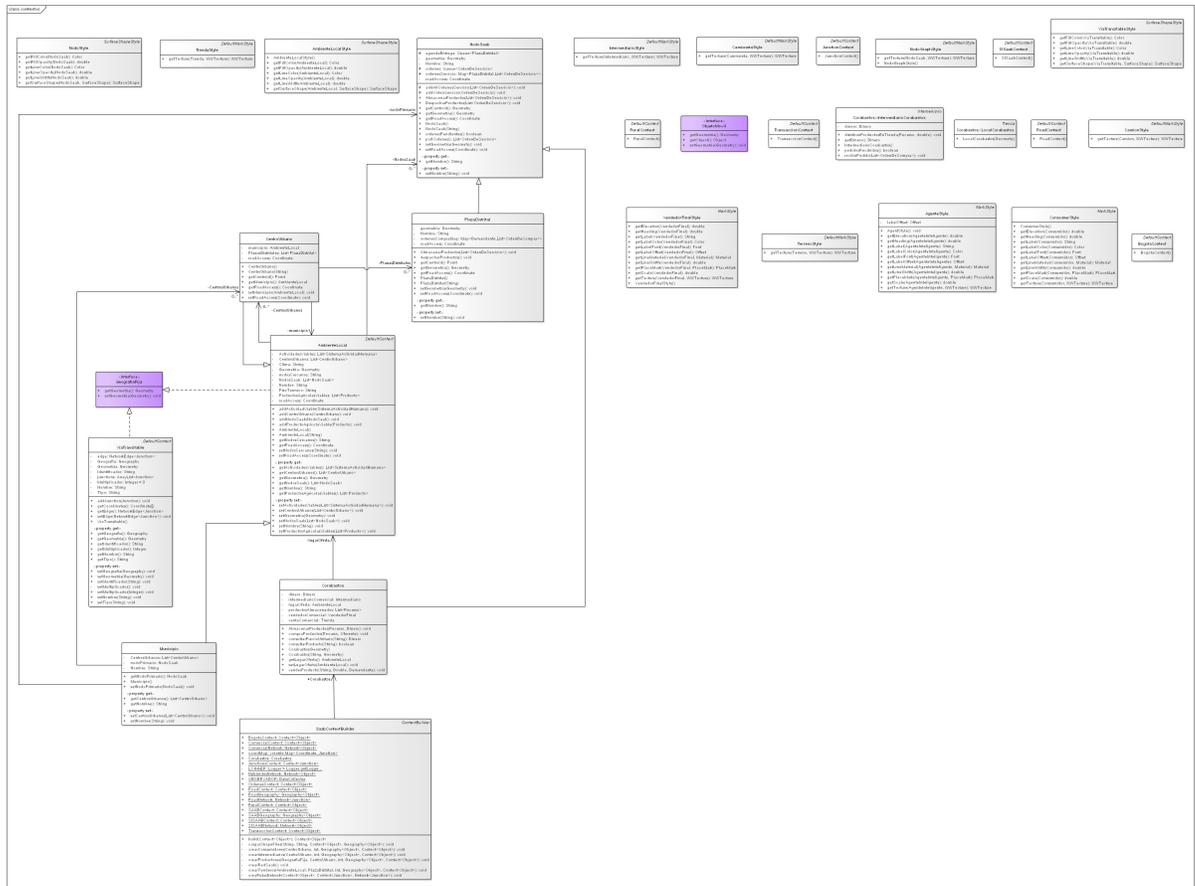


Figura 5.2: Abstracción de clases para los contextos (Fuente: este trabajo)
 -Para mejor visualización ver Apéndice A-

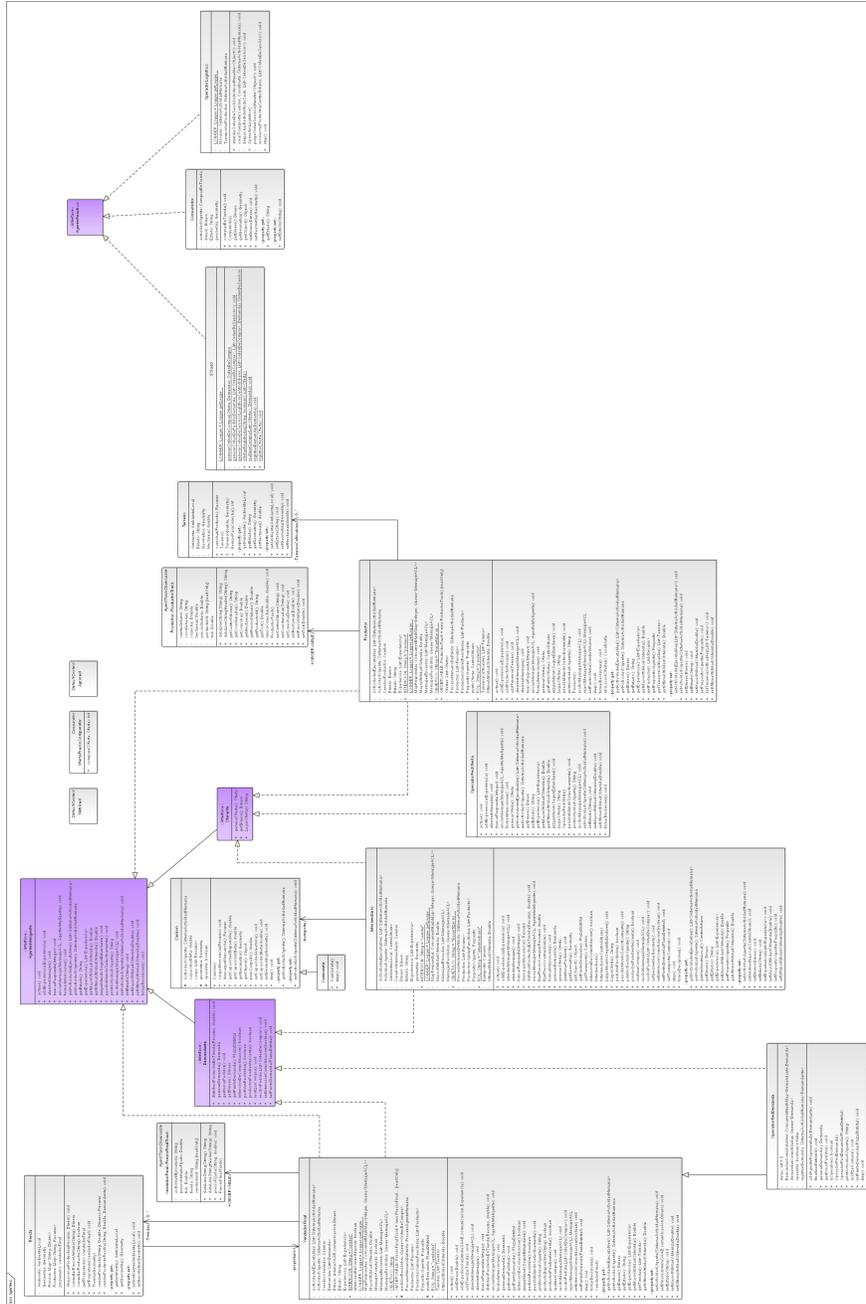


Figura 5.3: Abstracción de clases para los agentes (Fuente: este trabajo)
-Para mejor visualización ver Apéndice A-

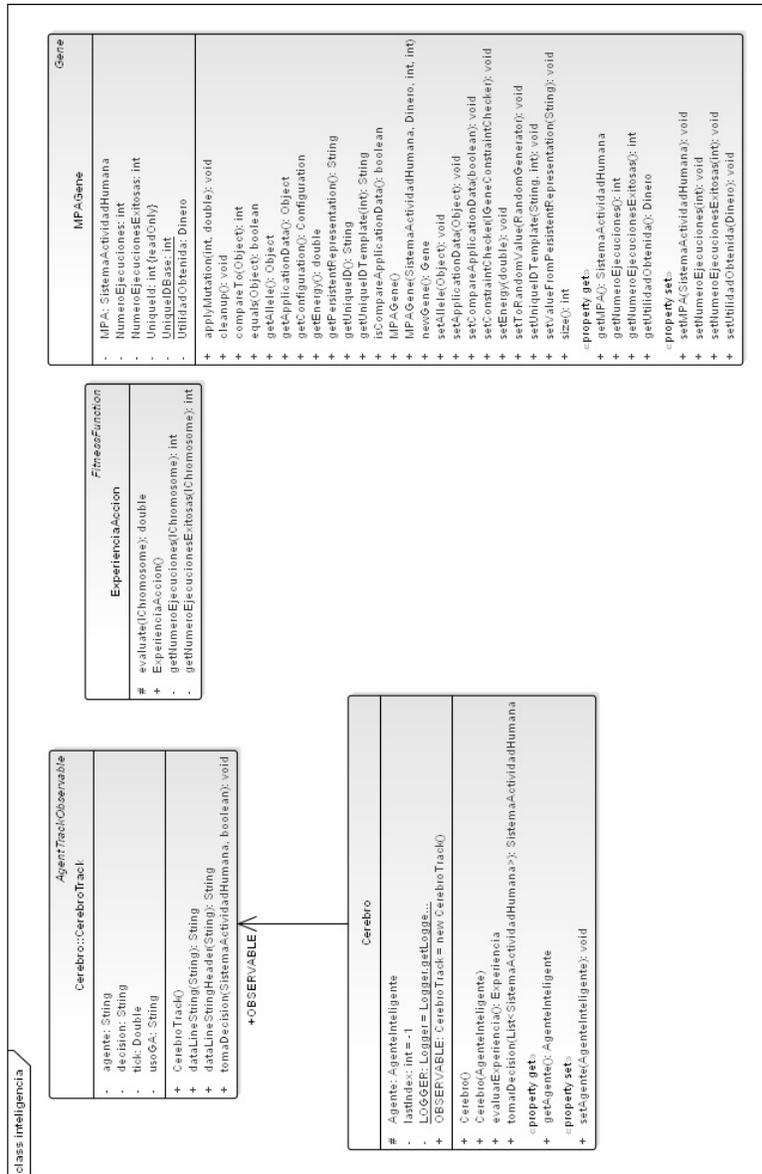


Figura 5.4: Abstracción de clases para el modelo de inteligencia (Fuente: este trabajo)

-Para mejor visualización ver Apéndice A-

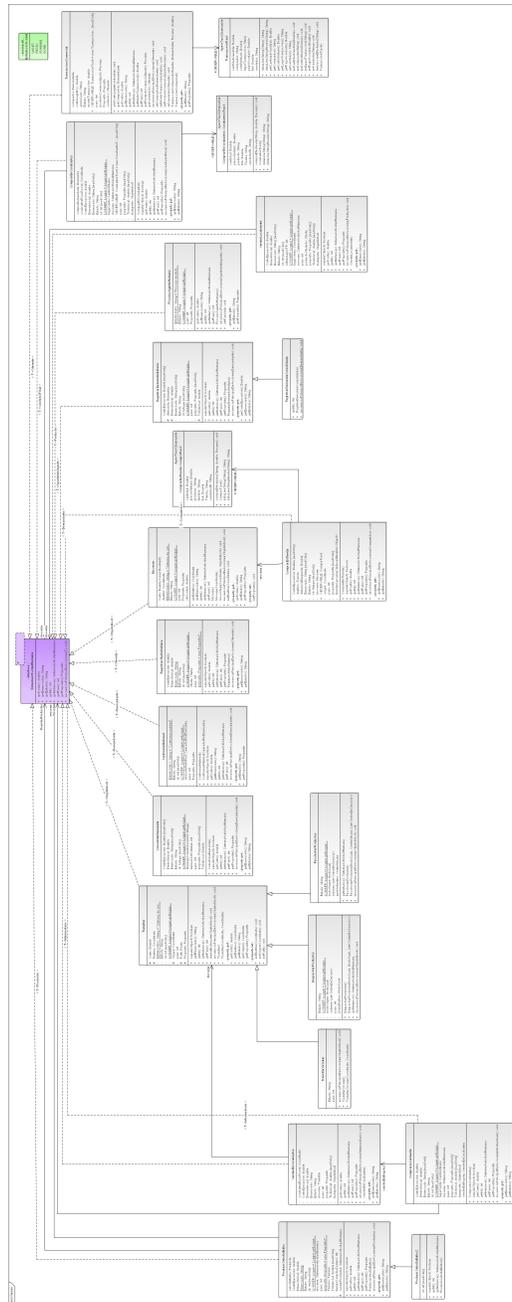


Figura 5.5: Abstracción de clases para el modelo de tareas (Fuente: este trabajo)

-Para mejor visualización ver Apéndice A-

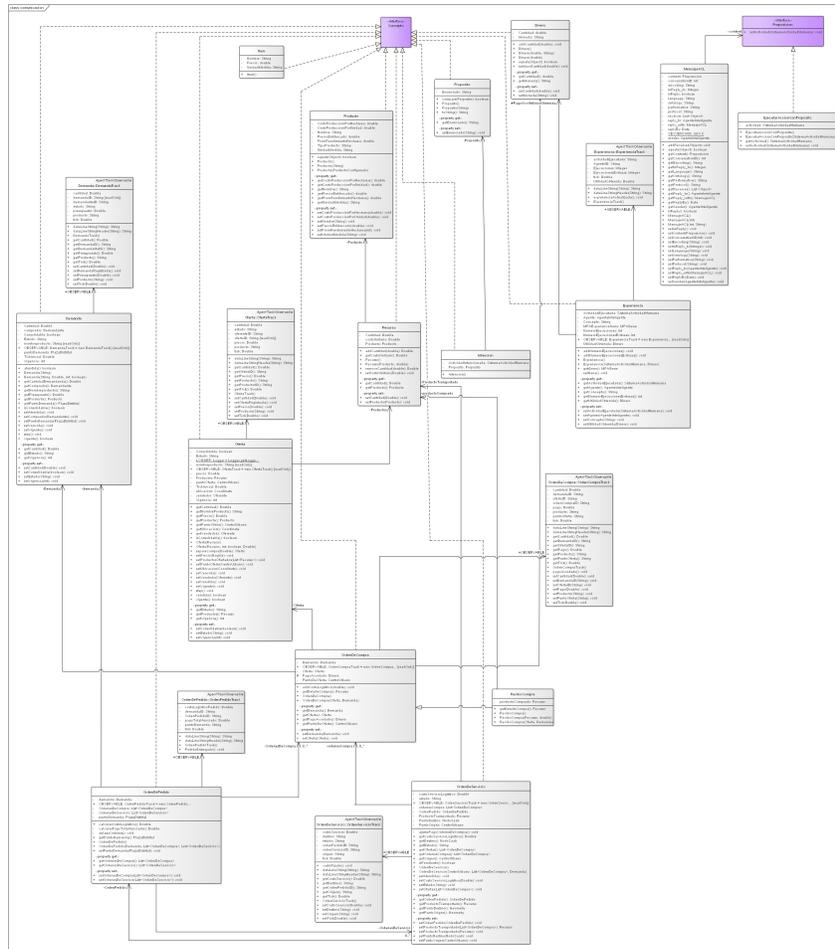


Figura 5.6: Estructura de clases implementadas para el modelo de comunicación (Fuente: este trabajo)

-Para mejor visualización ver Apéndice A-

Capítulo 6

MODELADO COMPORTAMENTAL DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN

El comportamiento del sistema de simulación está dirigido por el esquema de ejecución del *framework Repast Symphony* de forma virtualmente “transparente en tiempo de desarrollo”; sin embargo, el comportamiento del modelo de simulación debe ser definido en conformidad con las necesidades requeridas y especificadas en los casos de uso expuestos en la sección 3.3.

6.1. Inicializar entorno de simulación

El diagrama de secuencia UML presentado en la Figura 6.1, modela el comportamiento del software correspondiente a la “inicialización del entorno de simulación”. Describe cómo mediante la clase *SaabContextBuilder* se inicializan y configuran los contextos y proyecciones donde se ubicarán los agentes artificiales.

Los diagramas de secuencia que modelan la interacción entre los componentes del sistema para cumplir el objetivo de los casos de uso restantes pueden encontrarse en:

Apéndice I: Especificación comportamental mediante diagramas de secuencia

Capítulo 7

ASPECTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE SIMULACIÓN

En esta sección se presentan algunos aspectos claves del marco de trabajo usado en la implementación del prototipo (*Repast Symphony* v.2.3), luego se enfatiza en las soluciones a nivel de código desarrolladas que permiten lograr los resultados esperados en perfecta integración con las reglas y librerías proporcionadas en dicho *framework*, de forma que puedan ser fácilmente entendidas por futuros usuarios del simulador para su modificación y/o adaptación a distintos propósitos, al igual que las personas interesadas en la comprensión de este proyecto.

7.1. Plataforma multiagente

La implementación de un software que involucra el concepto de “Agente” plantea la necesidad de una plataforma que facilite su interacción, coordinación y ejecución concurrente, proporcionando (o emulando) un ambiente distribuido. Se analizaron diferentes marcos de trabajo (*frameworks*) que proporcionaran tales características (ver Tabla 7.1) tomando en cuenta cinco criterios para su selección: (1) La licencia de distribución preferiblemente de código abierto (*Open Source*). (2) Su lenguaje de programación e implementación debe ser Java. (3) Debe contar con documentación y soporte suficiente para facilitar su uso, acortar el tiempo de aprendizaje y obtener solución ante posibles errores (*Bugs*) en fase de desarrollo. (4) Preferiblemente un proyecto activo con actualizaciones recientes. (5) Que facilite mecanismos para la representación gráfica de los modelos de simulación.

Tabla 7.1: Comparación entre frameworks para ABM

Criterio / Framework	JADE	BESA	SWARM	REPAST
Lenguaje	Java	Java	Java, Kernel desarrollado en Objective-C	Java
Licencia	LGPL	GPL	GPL	BSD
Última Actualización	Marzo 2013	2003	2002	Junio 2014, versión 2.2
Continúa en la siguiente página				

Tabla 7.1: Comparación entre frameworks para ABM

Soporte y Documentación	Guías, Documentación, Comunidad, Contacto con desarrolladores		Guías, Documentación	Guías, Documentación, Comunidad, Contacto con desarrolladores, FAQ, Lista de mails
Entorno gráfico de simulación	Si, solo a nivel de interacción de agentes (intercambio de mensajes)	No	No	Si

Bajo tales criterios, se seleccionó el marco de trabajo *RePast Symphony* pues cumple con todos los requisitos establecidos, permitiendo la manipulación y representación de la simulación a intervalos discretos de tiempo mediante el control de ejecución paso a paso; cuenta con una amplia documentación en su sitio web [36] y es posible contactar a los desarrolladores a través de listas de correo actualmente activas para resolver dudas y obtener apoyo por parte de otros usuarios.

7.2. Elementos del *framework* Repast Symphony

Repast Symphony es un marco de trabajo gratuito de código abierto, pensado para la implementación de sistemas adaptativos complejos (*Complex Adaptive Systems - CAS*) mediante modelado basado en agentes. Integrando *plugins* sobre la aplicación SAF (*Symphony Application Framework*), pone a disposición una serie de funciones orientadas a la simulación que permiten organización temporal y espacial, generación aleatoria de números, representación abstracta de contextos anidados hereditariamente, relaciones dinámicas entre agentes (proyecciones), ejecución reactiva, secuencial, concurrente y paralela [37]. Provee un programador temporal de eventos discretos que usa números reales lo cual permite la asignación de prioridades en cada ciclo de ejecución. Puede ser usado como plataforma de implementación de modelos basados en agentes o como paquete de librerías vinculables a proyectos java independientes, sin necesidad de configurar todas las dependencias de la plataforma.

7.2.1. Agentes adaptativos

Con el fin de facilitar la implementación de características adaptativas a los agentes de un modelo, Repast-Symphony integra “The Java Genetic Algorithms Package” (JGAP) para la implementación de algoritmos genéticos, “The Java Object Oriented Neural Engine” (JOONE) para facilitar el uso de redes neuronales y la librería *OpenForecast* para la implementación de modelos regresivos. Los paquetes pueden ser usados directamente bajo las especificaciones de cada proyecto o mediante *wrappers*, los cuales pueden ser configurados sobre la interfaz visual.

7.2.2. Contextos

El *framework* provee la estructura necesaria para organizar los agentes desde perspectivas tanto de software como del modelo. Los contextos son manejados como contenedores de componentes (agentes, objetos, proyecciones ...) “anidados hereditariamente”, lo cual significa que un objeto perteneciente a un contexto también pertenece a los contextos padres que a su vez lo contienen. Cada componente (o agente) del modelo de simulación puede

estar presente en los contextos que requiera y a su vez puede ser uno. Los componentes pueden ser agregados, eliminados y suscritos dinámicamente en tiempo de ejecución.

Repast-Simphony facilita el uso de *Data Layers*, datos numéricos accesibles mediante un conjunto de coordenadas, que pueden (o no) estar enlazados a una o varias proyecciones y permiten al modelador la inclusión de valores numéricos disponibles para los agentes. Los *data layers* de un contexto están separados de los otros [36].

7.2.3. Proyecciones

Las relaciones entre los componentes de un contexto se definen como proyecciones (*Projections*). Pueden representar la interacción física de dos objetos/agentes o vínculos más abstractos como acuerdos contractuales o relaciones familiares. Las proyecciones son comúnmente utilizadas para representar configuraciones espaciales. Los contextos pueden tener enlazadas cualquier cantidad de proyecciones las cuales son aplicadas sobre todos los agentes contenidos en el contexto *proyectado*.

Repast-Simphony implementa cuatro tipos de proyecciones:

- *Continuous Space Projection*; es una proyección espacial, donde la ubicación de un agente se representa mediante coordenadas de punto flotante. Soporta espacios continuos de N dimensiones, toroidales o con condiciones de frontera.
- *Grid Projection*; es una proyección basada en una estructura de datos multidimensional dividida en celdas (malla), referenciadas por los números enteros que representan sus coordenadas. Puede ser usada para simular tanto espacios físicos, como relaciones altamente estructuradas entre los agentes.
- *Network Projection*; permite representar cualquier tipo de relación abstracta entre agentes. Repast-Simphony incluye soporte sobre este tipo de proyección mediante la librería *Java Universal Network/Graph* (JUNG).

- *GIS projection*; es una proyección espacial geográfica, que permite asociar a los agentes con diferentes tipos de geometrías. Los agentes son dispuestos en diferentes capas sobre una geografía. Los objetos del mismo tipo conservan una misma geometría. Repast-Simphony integra *Java Topology Suite (JTS)* y *Geotools* para proporcionar el soporte GIS.

7.3. Integración del modelo con Repast Simphony

En la implementación del modelo de simulación se usa el *framework* Repast Simphony como plataforma multiagente haciendo uso de su interfaces de usuario y adaptando cada uno de los componentes planteados en la sección 2. Las estrategias lógicas y de programación mediante las cuales se integra el modelo son descritas a continuación.

7.3.1. Integración con el modelo de tareas y coordinación

Siguiendo la línea conceptual definida en el modelo, los MPA's son implementaciones de la interfaz "SistemaActividadHumana", la cual define un método principal (*secuenciaPrincipalDeAcciones*) el cual contiene la secuencia de pasos que un agente debe ejecutar para conseguir el propósito perseguido.

Listing 7.1: Interfaz SistemaActividadHumana

```
public interface SistemaActividadHumana {

/**
 * Método principal donde se ejecuta la secuencia de acciones necesarias
 * para completar
 * el sistema de actividad humana conceptualizado
 * @param actor.
 * Agente que ejecuta el sistema de actividad Humana con propósito
 * definido.
 */
public void secuenciaPrincipalDeAcciones(T actor);

/**
 * Devuelve el paso en el que se encuentra la ejecución del sistema de
 * actividad humana.
 * Para efectos de visualización, los sistemas de actividad humana son
 * ejecutados en un
```

```

* número predefinido de pasos y de tal forma controlar el número de ciclos
  que le tomará
* al agente ejecutar el sistema de actividad en su totalidad.
*
* @return int. número de pasos ejecutados en el sistema de actividad.
*/
public int getPaso();

/**
* Devuelve el estado en que se encuentra la ejecución del sistema de
  actividad.
* Pueden ser: UNSET, READY, RUNNING, DONE.
* Describe en que estado de ejecución se encuentra el sistema de actividad,
  por parte del agente que lo instancia.
* @return String Estado
*/
public String getEstado();
}

```

La clase “ProcesoAgenteHumano” implementa dicha interfaz y abstrae el comportamiento cíclico de un agente humano activo en el mundo definido por Checkland, P. and Holwell, S. [13], de la cual cada “Agente Inteligente” posee una instancia que ejecuta bajo el método *step()*. Mediante la anotación de agendamiento *ScheduledMethod*, proporcionada por Repast Symphony, se programa su ejecución en diferentes ciclos (según parametrización).

El agendamiento proporcionado por Repast Symphony permite especificar el tipo de agente (clase) y la acción (método) que debe ejecutar en un determinado ciclo de tiempo (*tick*). Haciendo uso del soporte a anotaciones introducido a partir de Java 5, es posible especificarlo de esta forma. El agendador busca los objetos en tiempo de compilación y programa su ejecución según seis elementos de parametrización opcionales [28]:

- *duration (double)*: Indica el número de ciclos en que el procedimiento se puede ejecutar.
- *interval (double)*: Indica cada cuantos ciclos se debe volver a ejecutar el procedimiento.
- *pick (long)*: Especifica el número de objetos que implementan el procedimiento agendado.
- *priority (double)*: Prioridad que se le da al procedimiento frente a los otros agendados en un mismo ciclo de tiempo discreto.

- *shuffle (boolean)*: Especifica si la ejecución se hace de forma aleatoria en los ciclos de tiempo discreto.
- *start (double)*: Especifica el primer ciclo en que se ejecuta el procedimiento.

Listing 7.2: Método `step()` en un Agente Inteligente

```

/**
 * Método que ejecuta el comportamiento del agente en cada ciclo de reloj
 * enviado por repast
 */
@ScheduledMethod (start = 1, interval = 2)
public void step () {
    ProcesoHumanoDefinido.secuenciaPrincipalDeAcciones(this);
}

```

Para tener un mayor control sobre la ejecución de los “sistemas de actividad humana” y a su vez garantizar una visualización didáctica de la simulación, la secuencia de actividades es arbitrariamente dividida en un número determinado de pasos mediante un condicional de selección *switch*. En el atributo *Estado* se asigna una bandera de validación que garantiza la inicialización de los parámetros necesarios para una correcta ejecución y cuando un MPA ha sido terminado. Los posibles estados están definidos en el enumerador *EstadosActividad*.

Listing 7.3: Ejemplo método `secuenciaPrincipalDeAcciones()`

```

@Override
public void secuenciaPrincipalDeAcciones(AgenteInteligente actor) {
    if (this.Estado.equalsIgnoreCase(EstadosActividad.READY.toString())){
        . . .
    }
    else if (this.Estado.equalsIgnoreCase(
        EstadosActividad.RUNNING.toString())){
        switch (this.paso){
            case 1:
                . . .
                break;
            case 2:
                . . .
                break;
            . . .
            default:
                . . .
        }
    }
}
}

```

7.3.2. Integración con el modelo de agentes

Para los agentes considerados “inteligentes” en la simulación, se define la interfaz *AgenteInteligente*, la cual declara los métodos *percibirMundoSelectivamente()*, *formarIntenciones()*, *tomarDecisiones()*, *actuar()*, *juzgarMundoSegunEstandares()*, que deben ser implementados por los agentes de acuerdo al rol que desempeña en la multiplataforma. Tales métodos son invocados secuencialmente por la clase *ProcesoAgenteHumano*, cumpliendo de tal forma el esquema de ejecución especificado en el modelo de simulación (capítulo 2).

Listing 7.4: Métodos Principales AgenteInteligente

```
/**
 * Observa y reconoce las restricciones del medio.
 */
void percibirMundoSelectivamente();

/**
 * Define su propósito vigente
 */
void formarIntenciones();

/**
 * Escoge la actividad con proposito definido con la que pretende obtener
   su propósito
 */
void tomarDecisiones();

/**
 * Ejecuta la actividad con propósito definido vigente
 */
void actuar();

/**
 * Genera una nueva experiencia de acuerdo con los resultados obtenidos al
   ejecutar
 * un sistema de actividad
 */
void juzgarMundoSegunEstandares();
```

Los agentes modelados como “*Reactivos*” usan la misma estrategia de agendamiento mediante la anotación *@SeduledMethod* sobre un método *step()*. A diferencia de los “inteligentes” estos verifican los estados y atributos que representan “*estimulos ambientales*” y ejecutan las actividades definidas según el caso.

El agente SISAAB es implementado en una clase abstracta con métodos estáticos sincronizables que pueden ser invocados por los agentes del modelo.

Los métodos de la clase emulan los servicios prestados por los sistemas de información del SAAB en lo que respecta a los procesos de negocio de oferta, demanda y compra de productos.

Listing 7.5: Clase SiSaab.java

```

public abstract class SiSaab {

    /**
     * Genera orden de pedido que relaciona una oferta con una demanda y
     * calcula los costos logísticos asociados al mismo implica la
     * generación
     * de una orden de servicio logístico y una orden de compra
     *
     * @param oferta Objeto Oferta relacionado en la orden de pedido
     * @param demanda Objeto de demanda relacionado en la orden de
     * pedido
     */
    private static void generarOrdenDePedido(
        Demanda demanda,
        List<OrdenDeCompra> ordenescompra,
        List<OrdenDeServicio> ordenesservicio){
        . . .
    }

    /**
     * Genera la orden de servicio logístico
     *
     * @param oferta Objeto Oferta relacionado al servicio logístico
     * @param demanda Objeto de demanda relacionado al servicio
     * logístico
     */
    private static OrdenDeServicio
    generarOrdenDeServicioLogistico(CentroUrbano puntoOferta,
        List<Oferta> ofertas, Demanda demanda){
        . . .
    }

    /**
     * Genera orden de Compra para una oferta y demanda registradas en
     * el SAAB
     *
     * @param oferta Objeto oferta ligado a la orden de compra
     * @param demanda Objeto demanda ligado a la orden de compra
     */
    private static OrdenDeCompra generarOrdenDeCompra(Oferta oferta,
        Demanda demanda){
        . . .
        return orden;
    }

    /**
     * Registra una oferta en el sistema para ser tomada en cuenta en
     * las transacciones de comercialización.
     * @param oferta Oferta a registrar
     */
}

```

```

public synchronized static void registrarOferta(Oferta oferta){
    . . .
}

/**
 * Registra una demanda en el sistema para ser tomada en cuenta en
 * las transacciones de comercialización.
 * @param demanda
 */
public synchronized static void registrarDemanda(Demanda demanda){
    . . .
}

/**
 * Devuelve las ofertas registradas para el producto pasado como
 * parametro
 * @param producto
 * @return List<Ofertas>
 */
public synchronized static List<Oferta> ofertasRegistradas(
    String producto){
    . . .
    return ofertas;
}

/**
 * Permite la compra de productos relacionando una oferta y una
 * demanda registrada
 * @param offer Oferta relacionada en la compra
 * @param demand Demanda relacionada en la compra
 */
public synchronized static void realizarCompra(List<Oferta> offer ,
    Demanda demanda){
    . . .
}
}

```

El comportamiento de los agentes, reactivos e inteligentes tiende a estar encapsulado en clases que implementan la interfaz `SistemaActividadHumana` y para ciertos fines son ejecutados fuera del marco del modelo de proceso para un agente activo en el mundo (ver capítulo 2).

7.3.3. Integración con el modelo de inteligencia

La clase `Cerebro` implementa los métodos necesarios para la toma de decisiones y evaluar una experiencia al ejecutar un MPA. Los agentes inteligentes poseen una instancia de esta clase en la cual delegan el procesamiento de tales procedimientos.

Listing 7.6: Método tomarDecision de la clase Cerebro.java

```

/**
 * Haciendo uso de Algoritmos genéticos, itera las posibles actividades
 * ejecutables y devuelve una solución.
 * En caso que el agente no cuente con experiencia previa, escoge una
 * actividad aleatoriamente.
 * @param Actividades Conjunto de actividades ejecutables.
 * @return
 */
public SistemaActividadHumana tomarDecision(List<SistemaActividadHumana>
    Actividades){
    . . .
    //si no tiene experiencia previa o solo es posible ejecutar una
    //actividad, escoge la actividad al azar
    if(Population.size()==0 || Actividades.size()==1){
        Solucion = Actividades.get(RandomHelper.nextIntFromTo(0,
            Actividades.size()-1));
    }else{ //usa GA
        . . .
    }
    return Solucion;
}

```

Listing 7.7: Método evaluarExperiencia de la clase Cerebro.java

```

/**
 * Implementa la funcion de adaptabilidad usada por los algoritmos genéticos
 * para establecer un puntaje a cada solución probada (Actividad
 * ejecutada).
 * @return
 */
public Experiencia evaluarExperiencia(){
    . . .
    //Busca experiencias anteriores del MPA.
    for(Experiencia exp: Experiencias){
        . . .
    }

    //Corroborar la ultima utilidad obtenida
    if(UtilidadActual>MayorUtilidad){
        . . .
    }

    //Evalua la experiencia sobre el MPA
    if(experiencia==null){
        . . .
    }else{
        . . .
    }
    double concepto = UtilidadActual/MayorUtilidad;

    if(concepto >=0.9){
        experiencia.addNumeroEjecucionesExitosas();
    }
    return experiencia;
}

```

```
}
```

7.3.4. Integración con el modelo de comunicación

El paquete *SimulaSAAB.comunicacion* define la interfaz *Concepto* la cual es implementada por las clases que poseen un significado semántico en la ontología establecida para el modelo de simulación. La comunicación entre los agentes es posible mediante la invocación del método *recibirMensaje(MensajeACL mssg)*, (definido en la interfaz *AgenteInteligente*) cuya implementación debe encolar los mensajes recibidos para ser atendidos por el agente en algún ciclo de ejecución.

La clase *MensajeACL* implementa la estructura definida en [16] para mensajes entre agentes artificiales.

Listing 7.8: Método evaluarExperiencia de la clase Cerebro.java

```
public class MensajeACL {  
  
    private static int SECUENCIAID;  
  
    private String performative;  
  
    private AgenteInteligente sender;  
  
    private AgenteInteligente reply_to;  
  
    private String language;  
  
    private String encoding;  
  
    private String ontology;  
  
    private String protocol;  
  
    private int conversationID;  
  
    private MensajeACL reply_with;  
  
    private int inReply_to;  
  
    private Date replyBy;  
  
    private List<Object> receiver;  
  
    private Preposicion content;  
  
    /**
```

```
    * Constructor
    */
    public MensajeACL () {

        conversationID = new Integer (SECUENCIAID+1);
        SECUENCIAID++;
    }
    . . . . .
    . . . . .
```

El diccionario de clases de la implementación se encuentra en la carpeta “Anexos” adjunta a este documento, ver Apéndice A.

Capítulo 8

RESULTADOS Y TRABAJO FUTURO

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el transcurso del proyecto, en cuatro segmentos: Resultados (1) sobre el análisis organizacional, presenta los logros obtenidos en la etapa de conceptualización al implementar las técnicas analíticas de Katz y Kahn como complemento de la SSM; (2) sobre modelado basado en agentes, dónde se describe el aporte que hacen los autores de este proyecto al campo de ABM; (3) sobre el proceso de especificación seguido en el desarrollo de este trabajo, detalla las modificaciones hechas sobre la metodología aplicada [1], con el fin de combinar consistentemente los diferentes temas abordados; (4) sobre el software de simulación, el cual muestra el análisis de los datos generados por el prototipo de simulador y las conclusiones generadas a partir de los mismos. Dado que el prototipo no cuenta con interfaces de visualización de datos y resultados generados, el análisis de los datos se llevó a cabo mediante herramientas externas (*Talend Open Studio DI - Version 6.0*, para la extracción, transformación y consolidación de los datos; y *RapidMinner Studio - Version 6.4*, para la generación de gráficas analíticas). Anexo a este documento se encuentran los proyectos usados en cada herramienta de Software (Ver Apéndice A). En cada uno de los segmentos, se incluye un apartado de “trabajo futuro”, específico para cada tema en cuestión.

8.1. Sobre el análisis organizacional de entornos sociales complejos

Para la conceptualización de los entornos sociales (capítulo 1) se usaron dos enfoques sistémicos, los cuales, durante la elaboración del presente trabajo se identificaron como complementarios entre sí. La metodología de sistemas suaves implementa técnicas de abstracción muy útiles que permiten obtener descripciones tan detalladas o generalizadas como el analista lo requiera, en el llamado “flujo de indagación lógica” (sección 1.5). El flujo paralelo a este (de indagación cultural) pretende identificar realidades sociales inherentes a las estructuras analizadas, para tener en cuenta la viabilidad cultural de los cambios deseados, analizando las expresiones de poder en el entorno (dimensión política) y la relación roles, normas, valores (dimensión social). De igual forma, el esquema de análisis organizacional planteado por Katz, D. and Kahn, R. [27], facilita la descripción de la perspectiva que tienen los analistas sobre la dimensión cultural, ayudando a identificar y discutir fallas y/o diferencias conceptuales. Potencian el estudio de la estructura social al plantear un punto de partida en la definición de los cinco subsistemas (producción, adaptación, apoyo, mantenimiento y gerencial). Al aplicar este enfoque (sección 1.5) se encontró que además de permitir la identificación del clima organizacional (roles, valores y normas), identifica características inherentes a los sistemas sociales que definen su naturaleza y entorno; a pesar de agregar cierto grado de complejidad al análisis social, permite plantear panoramas amplios, estructurados y definidos, dónde ubicar los “sistemas pertinentes” (de tarea principal y basados en controversia) generados a través de la SSM. Las ventajas de obtener una conceptualización organizacional estructurada es evidente al momento de sustentar modelos “estáticos” para ser usados en ejercicios empíricos (como la simulación) (sección 2). Es comprensible la simplificación planteada por Checkland and Scholes [12] dado que los objetivos de su metodología están enfocados a la práctica empresarial, dónde las actividades para gestión del cambio deben estar orientadas a la obtención de resultados en plazos razonables, sin embargo la propuesta de Katz, D. and Kahn, R. [27] da los elementos suficientes para identificar su madurez organizacional y su capacidad de supervivencia, permitiendo canalizar la gestión del cambio en la dirección deseada.

Katz, D. and Kahn, R. [27] clasifican el grado de madurez de una organización social en tres “etapas de crecimiento organizacional”; en etapa uno (Institución social) cuando existen en forma de asociaciones que carecen de mecanismos reguladores; en etapa dos (organización informal) cuando carecen de subestructuras especializadas; y en etapa tres (organización formal) cuando es posible identificar los cinco subsistemas descritos en la sección 1.4. A partir del análisis realizado en el desarrollo de este proyecto, se encontró al abastecimiento alimentario en una etapa intermedia (etapa dos: organización informal) de crecimiento organizacional; existe en forma de “tareas cooperativas que surgen de las necesidades de una población” (demanda de alimentos al interior de la ciudad) sumadas a presiones ambientales (carencia de espacios y cultivos a gran escala en zonas urbanas). Se evidencia una estructura de producción primitiva, regida por valores y creencias propias de los entornos comerciales y el mercado, en busca de estabilidad. Hay presencia parcial de una estructura de autoridad (figuras departamentales y distritales) que fijan normas y reglas para ciertos aspectos propios a la producción, sin embargo su capacidad de acción sobre las tareas principales del sistema social no son suficientes para definirlos como parte de un subsistema gerencial. No posee estructuras sólidas que puedan ser caracterizadas como “subsistema de adaptación”, lo cual implica que no podría sobrevivir en el tiempo ante cambios ambientales (como la inclusión de tratados de libre comercio).

La implementación del SAAB (como está planteado en el PMASAB) permitiría la consolidación de subsistemas gerenciales, de apoyo y mantenimiento, situación en la cual la estructura social podría clasificarse en una forma temprana de la “etapa tres” (organización formal) de crecimiento y consolidación organizacional, al crear una estructura organizada (entidades a cargo del SAAB), las cuales pueden llevar a cabo monitoreos constantes y crear cambios dinámicos que adapten el sistema a los cambios del entorno (subsistema de adaptación) y al asistir, facilitar e impulsar las transacciones entre productores y comerciantes, manteniendo la dinámica interna del entorno social, asegurando su existencia (subsistema de mantenimiento).

8.1.1. Trabajo futuro

Con el fin de corroborar las facilidades que brinda el uso conjunto de estas dos metodologías de análisis, es necesario llevar a cabo el ejercicio en un entorno social mucho más concreto y definido, como una empresa o una

comunidad específica, donde los resultados obtenidos sean usados en la implementación real de un proyecto de gestión del cambio que cuente con la disposición y los recursos necesarios para poder observar sus resultados.

8.2. Sobre modelos de simulación basados en agentes

Una característica presente en las diferentes etapas de este proyecto es el uso y conciliación de metodologías surgidas desde diferentes disciplinas, en donde el pensamiento sistémico ha encontrado un campo de acción. Como se detalla en el capítulo 2 de este documento, se encontraron concordancias entre los conceptos clave para la formulación de modelos basados en agentes y los usados en la SSM. Tomando ideas plasmadas por Checkland, P. and Holwell, S. [13] a partir de su trabajo continuo con SSM en el estudio organizacional, se diseñó un algoritmo orientado a la simulación del comportamiento humano por un agente artificial, el cual facilita la transición (de forma consistente) entre la conceptualización de un entorno social (usando SSM) y un modelo basado en agentes.

El algoritmo planteado consiste en la inclusión del “modelo de proceso del agente humano activo en el mundo” [13, pág. 100] como base para el comportamiento de los agentes inteligentes. En cada paso del proceso planteado por Checkland y Holwell, se formularon soluciones utilizables en sistemas multiagentes, previamente implementadas en proyectos similares a este y que se encuentran en la bibliografía existente [45],[17], [1]. La siguiente sección describe el algoritmo propuesto.

8.2.1. Algoritmo de simulación del comportamiento humano

El algoritmo define cinco pasos iterados de forma cíclica, que permiten al agente actuar de acuerdo a sus creencias y percepciones del entorno.

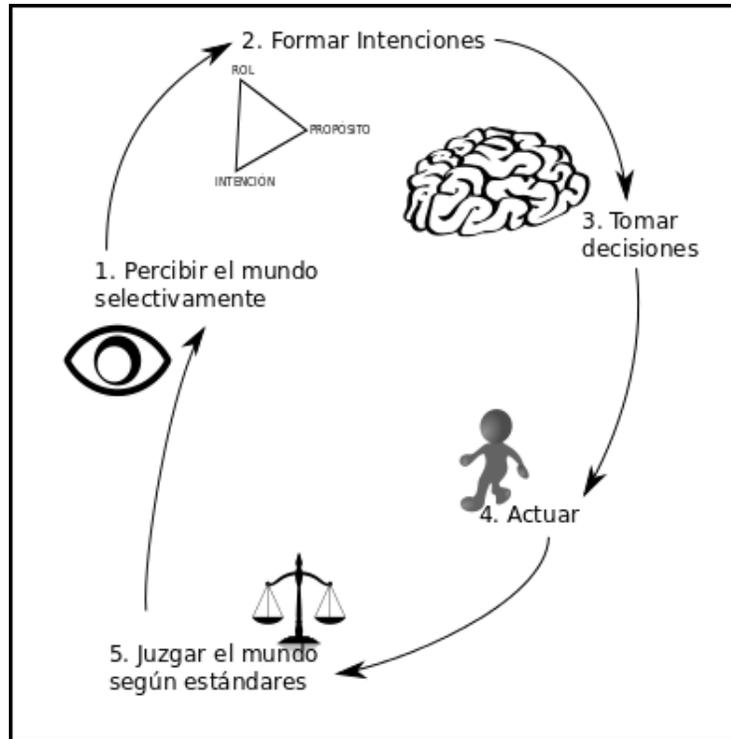


Figura 8.1: “Algoritmo de simulación del comportamiento humano” (Fuente: [13, pág. 100])

8.2.1.1. Percibir mundo selectivamente

Con el fin de encapsular todas las posibles restricciones ambientales que pueden afectar a un agente, se implementa lo que los autores de este proyecto decidieron llamar “*restrictividad inversa de los entornos mediante sistemas de actividad predefinidos*”; se basa en el hecho de que las restricciones de un entorno definen la forma como un “agente” debe actuar en busca de un propósito. Esto implica que si fuera posible definir todas las posibles secuen-

cias de actividades realizables en pro de un objetivo específico en un espacio definido, implícitamente se estarían plasmando las restricciones físicas, políticas y culturales del entorno representado. Así entonces, la simulación del entorno será más precisa, entre mayor sea el número de “modelos de actividad con propósito definido viables (MPA’s)” configurados en el mismo. En este escenario la “selectividad” la define el propósito del agente, pues solo percibe aquello que es relevante para sus intenciones vigentes.

La explicación conceptual que llevó a su formulación se plantea a lo largo del Capítulo 2.4.

8.2.1.2. Formar intenciones

Un factor común en las diferentes definiciones de “agente artificial” [45] es la presencia de un objetivo el cual delimita el rol que desempeña. Al crear una relación entre el rol, intención y propósito de forma tal que la unión de dos de estos conceptos definan el tercero, permite al agente formar su intencionalidad consistentemente con sus objetivos. Al tener un rol definido e intenciones preestablecidas, se pueden determinar propósitos específicos viables para el agente.

Cuando en el modelo implementado se define un rol específico para cada agente (como en la implementación del presente proyecto, ver sección 7) la intención del agente es directa a su rol y por tanto lo es su propósito (por ejemplo para el rol “productor”, su intención es “producir productos agrícolas” y su propósito específico “cultivar cebolla de bulbo”). Sin embargo si se deseara permitir que un agente desempeñe diferentes roles de acuerdo a su intención, debería determinar su propósito e intención lo cual definiría su rol.

8.2.1.3. Tomar decisiones

Se define como el procedimiento mediante el cual un agente establece la secuencia de acciones que llevará a cabo para cumplir su propósito vigente, evaluando la “conveniencia” de un conjunto de MPA’s, al calcular su valor de adaptabilidad mediante un algoritmo genético. Se basa en el esquema de implementación planteado en el *The Procedural Reasoning System (PRS)*,

desarrollado en el instituto de investigación de la Universidad de Stanford [45, pág. 82].

Para el algoritmo genético cada MPA corresponde a una posible solución (Cromosoma). Cada cromosoma está compuesto por un solo gen cuyo alelo equivale a la última utilidad obtenida al ejecutar el MPA representado (sección 2.4).

8.2.1.4. Actuar

Consiste en la ejecución del MPA seleccionado mediante las iteraciones de decisión. La complejidad del modelo de simulación resultante es directamente proporcional al número de MPA's incluidos. Esta característica está fundamentada en la definición de sistema social de Allport (citado en [27]): “*estructuración de acontecimientos (o sucedidos)*” el cual “*no tiene una estructura separada de su funcionamiento*”; de esta forma, mediante los MPA's incluidos en el modelo (Sección 2.5.1) se define en sí el entorno social simulado.

8.2.1.5. Juzgar el mundo, según estándares

En este paso el agente fija sus estándares, formulando conceptos de *exitoso* o *no exitoso* y reformulando sus estándares a través de la experiencia. Basado en el ciclo “*ciclo de experiencia-acción*” planteado por Checkland and Scholes [12], explicado en la Sección 2.4.2, cada acción del agente retroalimenta su comportamiento y le permite adaptarse a las condiciones del entorno.

8.2.2. Trabajo futuro

Checkland, P. and Holwell, S. [13] plantean una forma más compleja (y enriquecida) del “*modelo de proceso del agente humano activo en el mundo*”, denominado “*modelo de proceso social*”, dónde se consideran agrupaciones de “agentes humanos” (además de individuos) y cómo la “*discusión sobre el mundo*” crea significados colectivos, intenciones comunes y acuerdos que inducen la acción colectiva e individual [13, pág. 102]. Incluir la “*discusión*” y sus efectos sobre la toma de decisiones y juicios de valor en un agente artificial plantea un reto que sería interesante abordar como trabajo futuro,

pues agregaría “sociabilidad” al comportamiento simulado en los agentes, acercándolo un poco más a la realidad de los entornos sociales complejos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación (ver Sección 8.4), es necesario ampliar el alcance del modelo, incluyendo el sector empresarial, los consumidores mayoristas (como los comedores comunitarios y restaurantes) con el fin de generar un entorno comercial más dinámico en la simulación, que permita a los agentes reconocer los beneficios del uso del SAAB como alternativa al abastecimiento comercial tradicional. También incluir cadenas de transformación de alimentos y definiciones más complejas de los aspectos logísticos asociados al abastecimiento definido en el SAAB, ya que forma parte clave de las mejoras propuestas.

8.3. Sobre la metodología de modelado de sistemas de ingeniería orientado a agentes

El modelado basado en agentes se ha convertido en un área que ha demostrado aplicabilidad en distintos escenarios tanto industriales y empresariales como académicos. Mediante distintos campos de investigación se han aportado aproximaciones metodológicas y teóricas que han permitido fomentar y facilitar su aplicabilidad, sin embargo, no ha surgido un consenso o estándar universalmente aceptado respecto a la forma de abordar los problemas inherentes a su implementación. El presente proyecto es un ejemplo práctico de la aplicación de ABM en la formulación e implementación de un simulador para un entorno social predefinido. Inicialmente se basó en la metodología propuesta por Aguilar J. et al. [1], pero en el transcurso de su ejecución se modificaron muchos de los procedimientos sugeridos en la misma, así como los diagramas propuestos para definición de ciertos aspectos del modelo. A continuación se presenta el proceso finalmente utilizado durante la ejecución de este proyecto, de forma que pueda servir a futuros “analistas-ABM” como base o guía para la sus propias implementaciones.

8.3.1. Proceso de definición del modelo ABM y especificación del software de simulación

La propuesta metodológica [1], pretende simplificar la definición del sistema multiagente deseado, fusionando el proceso de especificación con la *Técnica de Desarrollo de Sistemas de Objetos* (TDSO), de forma que al definir los cinco modelos especificados en MASINA [2] paralelamente se estarían definiendo los modelos dinámicos y funcionales del software orientado a objetos que los implementa. En el presente proyecto, dicha propuesta metodológica generó inconsistencias conceptuales frente a los estándares definidos en arquitectura de software, haciendo difícil la interpretación y especificación de los diagramas que deberían describir el modelo orientado a agentes propuesto. Ante tal situación, se decidió abordar cada uno de forma separada; se usó UML como herramienta de interpretación semántica para definir las distintas perspectivas (Capítulo 2) del modelo de simulación orientado a agentes, pero sin pretender definir los modelos dinámicos y funcionales del software. Así entonces, se logró una mayor claridad en la descripción de los elementos que conforman el modelo basado en agentes, se encontraron diagramas UML más pertinentes para la especificación de agentes y componentes del modelo (Sección 2.2.1) que los propuestos en la metodología mencionada y se incluyó el concepto de MPA (*Model of purposefull activity*) para la definición de la perspectiva de tareas (Sección 2.5).

En la Figura 8.2 se describen los entregables surgidos durante el proyecto y las fases en las cuales fueron concebidos mediante un diagrama de estructura de desglose de trabajo (EDT), herramienta que permite visualizar la “*descomposición jerárquica del alcance total del trabajo a realizar ... para crear los entregables requeridos*” [25, pág. 125].

Inicia con la descripción de la situación problema, para lo cual se usan diagramas enriquecidos (sugeridos en [13]) como herramienta de conceptualización (Capítulo 1); se ejecuta el flujo de indagación lógica definido en SSM (Sección 1.5) y paralelamente el flujo de indagación cultural (Sección 1.4) usando el análisis organizacional definido por Katz, D. and Kahn, R. [27], con lo cual se obtiene una descripción de los aspectos suaves (*Soft*) del entorno social analizado (mediante MPA's) y una descripción de su estructura organizacional; adicionalmente se describen los aspectos bien definidos (*hard*) a ser tenidos en cuenta mediante diagramas de actividades en notación

BPMN (Sección 1.5.4); a partir de tales resultados, se procede a definir las cinco perspectivas del modelo basado en agentes (Capítulo 2) para lo cual se usan diagramas UML y los cuadros de especificación definidos en [1]; una vez definido el modelo de simulación ABM, se procede al modelado del software que lo implementa (Capítulos 3 a 7) mediante metodología en espiral [7].

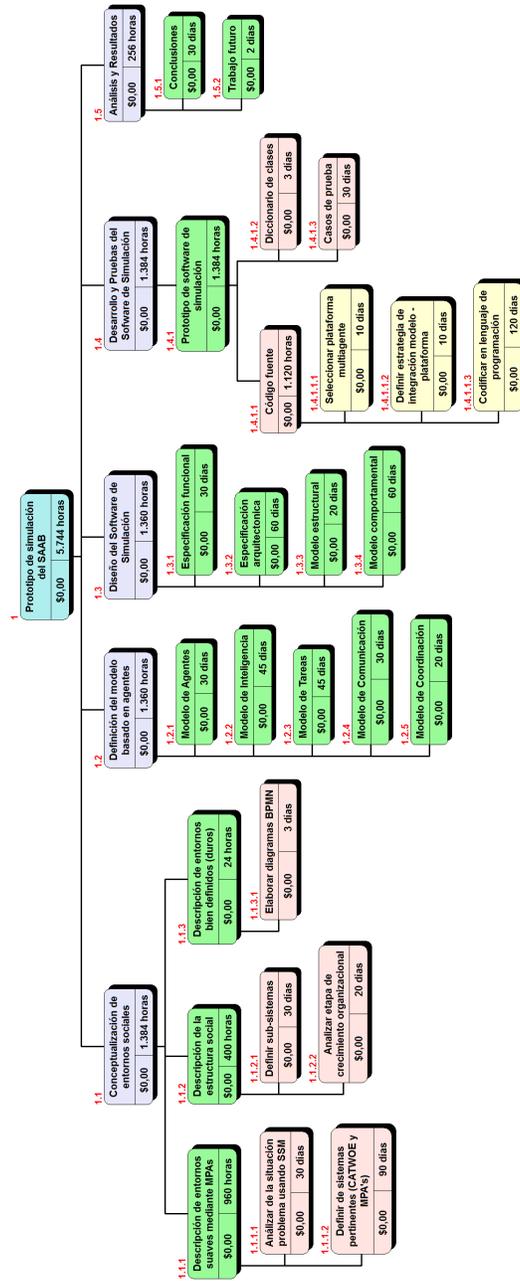


Figura 8.2: “Proceso seguido en la definición del modelo orientado a agentes y especificación del software de simulación” (Basado en: [1])

8.4. Sobre el software de simulación

El software de simulación obtenido como resultado de este proyecto (ver apéndice A), implementa el modelo de simulación basado en agentes descrito en el Capítulo 2. Inicia ubicando sobre un espacio geográfico (que representa el primer anillo de abastecimiento: Sección 1.3.1) cuatro tipos de agentes (productor, intermediario, vendedor final y consumidor: Sección 2.3) y las estructuras definidas en el SAAB para el abastecimiento alimentario (nodos logísticos, plazas distritales, puntos de oferta y demanda: Sección 1.5). Los agentes (siguiendo el algoritmo de simulación del comportamiento humano: Sección 8.2) ejecutan dos tipos de acciones; las encaminadas al abastecimiento comercial tradicional (referido en esta sección como “Tradicional”, para simplificación) y las orientadas al abastecimiento mediante la plataforma definida en el SAAB (llamado de ahora en adelante “SISAAB”). En sus primeras ejecuciones, los agentes escogen los MPA’s de forma aleatoria (como se define en la Sección 2.4) y una vez cuentan con experiencia, se basan en la misma para la toma de decisiones. Se esperaba que a partir de este comportamiento, los agentes reconocieran los beneficios del *abastecimiento SISAAB* frente a los del *Tradicional* y emular la variación de precios resultante al implementar el SAAB. Las siguientes secciones detallan los resultados obtenidos en estos aspectos.

8.4.1. Comportamiento emergente

A partir de los datos generados por el prototipo de simulación, se observó un comportamiento emergente contrario al esperado.

La Figura 8.3 describe la toma de decisiones de los agentes en diferentes tiempos de ejecución. El eje X representa los ciclos (*ticks*) en miles (el segmento 0 - 5 equivale a los primeros cinco mil ticks), y el eje Y indica la cantidad de veces que un MPA es ejecutado. Las esferas (en azul) representan los MPA’s orientados al *SISAAB* y los cuadros (en rojo) representan los orientados al *Abastecimiento Tradicional*. El tamaño de los polígonos, indica la cantidad de ejecuciones consideradas exitosas por los agentes. Se observa que las primeras ejecuciones orientadas al *SISAAB* cuentan con una aceptabilidad alta por parte de los agentes (fija los estándares al principio de la simulación), generando dos picos de ejecución (el más alto cerca a los 575 y el segundo más alto alrededor de las 480 ejecuciones); sin embargo tales

picos muestran un nivel de éxito (tamaño del polígono) bastante bajo, lo cual altera la percepción de los agentes (debido a su función de utilidad: Sección 2.4.2) quienes terminan optando por el *abastecimiento Tradicional*, el cual muestra un nivel de éxito medianamente constante.

Se concluye que dada la complejidad del problema abordado, el alcance limitado del prototipo (al no incluir agentes demandantes mayoristas, grandes superficies y transformadores) no genera un ambiente comercial lo suficientemente dinámico para que los agentes encuentren beneficios constantes al ejecutar los MPA's orientados al uso del *SIAAB*, al evaluar únicamente los beneficios económicos obtenidos. Esto podría implicar sin embargo, que la implementación del SAAB en la ciudad de Bogotá debería estar enfocada en la prestación de beneficios al sector empresarial, como medio de estabilización y se debe esperar que sea complementado gradualmente por la actividad comercial de tenderos y consumidores finales. Es necesario, de cualquier forma, pensar en incluir factores intangibles en el proceso de evaluación de beneficios obtenidos además de los económicos, como puede ser por ejemplo, el estado de los productos recibidos tras una compra *Tradicional* frente al *SISAAB*.

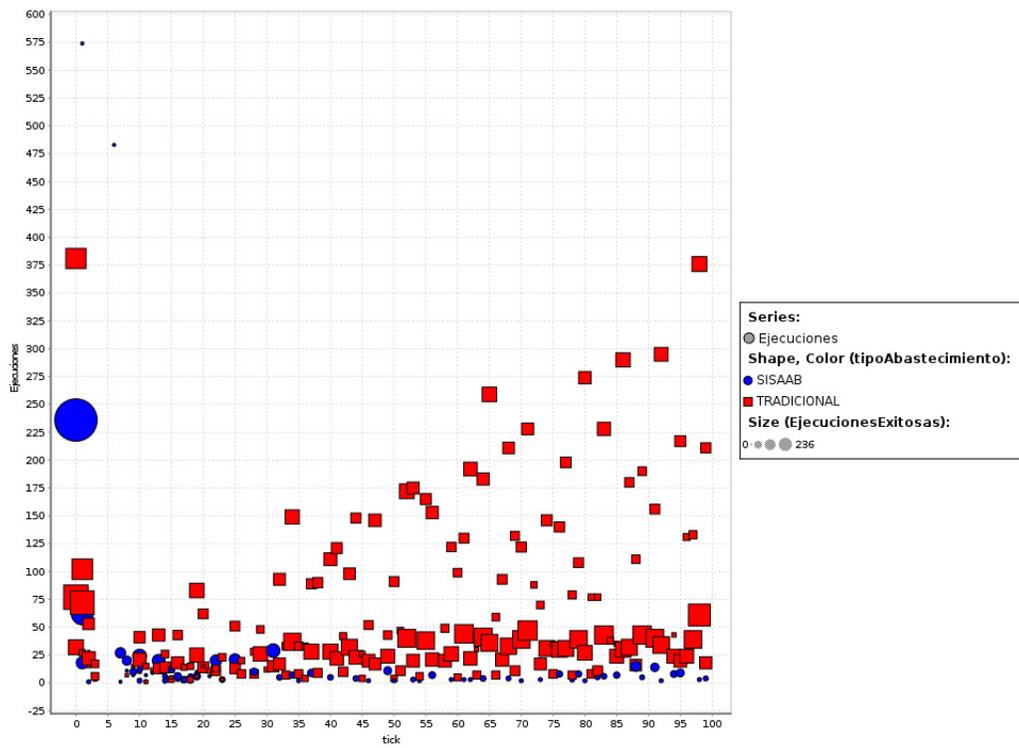


Figura 8.3: Toma de decisiones por parte de los agentes

8.4.2. Variación de precios

La Figura 8.4 muestra los precios de venta del producto según la forma de abastecimiento. Sobre el eje transversal se ubican los tres MPA's principales ejecutados por los agentes "vendedores finales" del modelo de simulación (comprar en Corabastos, comprar por nutired y comprar como demandante individual). El eje de ordenadas indica el precio unitario fijado una vez finalizada tal acción. El color de la esfera diferencia el tipo de abastecimiento al que corresponde el MPA especificado (rojo: *Tradicional*, azul: *SISAAB*).

Se evidencia que la reducción de la intermediación en el proceso de abastecimiento mediante el SAAB, acompañado de un esquema logístico ordenado genera precios de venta factibles más bajos que el abastecimiento tradicional. La tabla 8.1 muestra la variación del precio entre los dos esquemas de abastecimiento alimentario.

Tabla 8.1: Precios Cebolla de Bulbo

ACTIVIDAD	Tipo abastecimiento	
	Comercial	SAAB
Productor	\$ 606	\$ 606
Vendedor Final	\$ 813	\$ 664
Variación	34.18 %	9.50 %

8.4.3. Trabajo Futuro

Es necesario establecer puntos de control que permitan validar la pertinencia de los MPA's incluidos en la simulación, dándole al sistema las características necesarias para ser una herramienta de análisis para la construcción y validación del modelo de simulación que pretende implementar.

Se debe ampliar el alcance del modelo de simulación y consecuentemente el del prototipo, para incluir actores de peso comercial como los transformadores, grandes superficies, etc.; con el fin de dinamizar el entorno comercial simulado y evaluar qué comportamientos emergentes persisten en los actores de abastecimiento simulados.

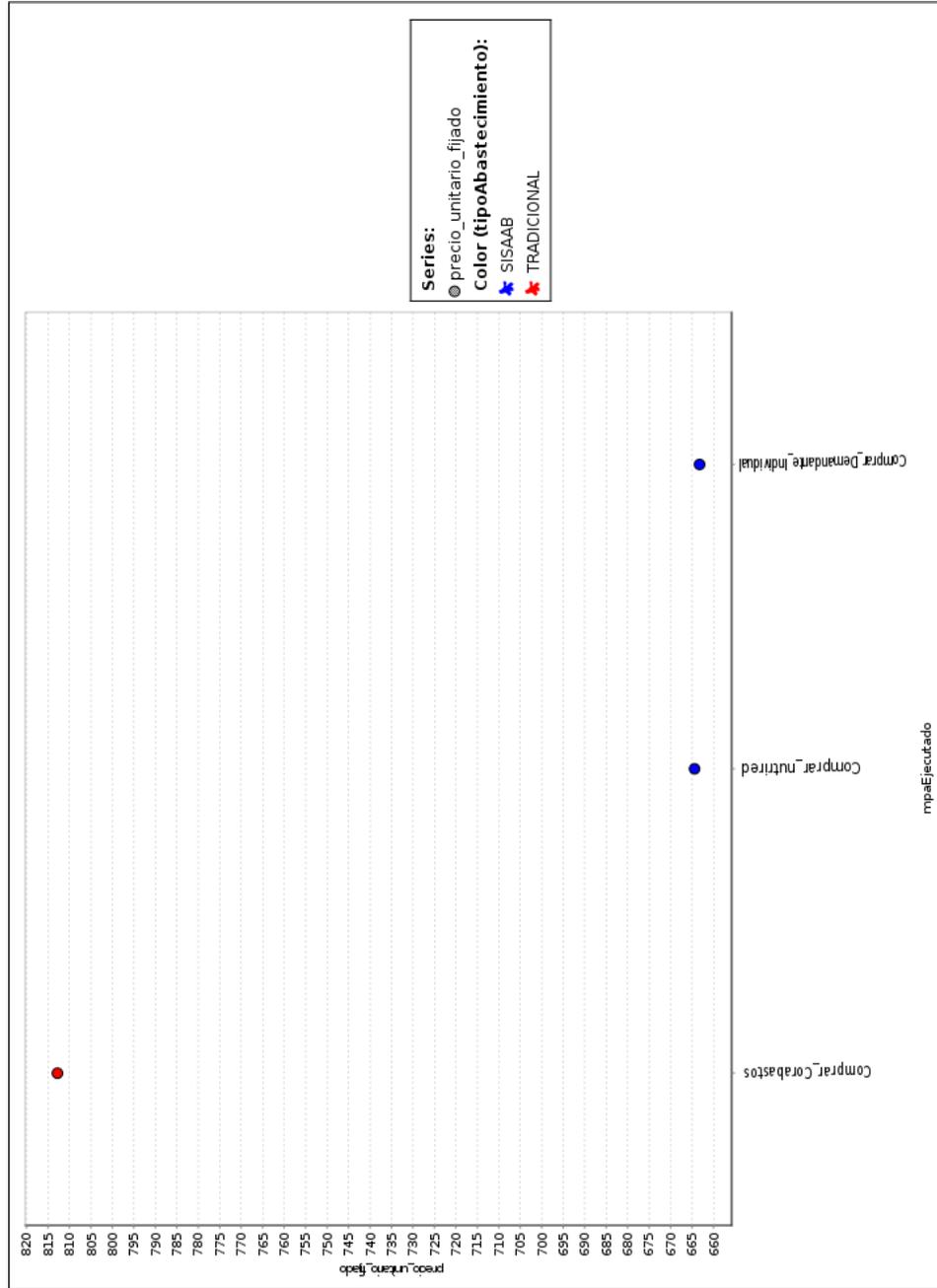


Figura 8.4: Precios finales por forma de abastecimiento

Incluir en el software interfaces de usuario para la visualización de datos y gráficas generados en tiempo de simulación.

Capítulo 9

CONCLUSIONES

Mediante el prototipo de software desarrollado (Capítulo 7) que implementa el modelo de simulación basado en agentes (Capítulo 2), fué posible identificar algunos de los efectos que implicaría la implementación del sistema de abastecimiento alimentario para Bogotá (SAAB) y su modelo de interacción de actores, tal como se plantea en el Decreto 315 de 2006. Se encontró que el uso de un esquema organizado y asistido en el abastecimiento alimentario hacia la ciudad de Bogotá, reduciría los costos logísticos asociados, posibilitando la reducción en el precio final de los productos involucrados en el SAAB (ver Sección 8.4), tomando como producto tipo la cebolla de bulbo, producida en 10 municipios aledaños, cumpliendo así el objetivo general del proyecto.

Respecto a los objetivos específicos:

Se identificó que la propuesta analítica de Katz, D. and Kahn, R. [27] puede ser usada como complemento y/o sustituto en el flujo de indagación cultural de la SSM. Al implementarla se encontró al abastecimiento alimentario en una etapa de crecimiento organizacional intermedia (organización informal). Como análisis de la intervención, la implementación del SAAB permitiría la consolidación de subsistemas gerenciales de apoyo y mantenimiento, llevando su estructura social a una etapa de crecimiento y consolidación organizacional más formal.

Se validó la viabilidad de la metodología propuesta por [2], la cual resultó no ser consistente con las reglas de especificación formal de sistemas de in-

geniería, por lo cual se adoptó un flujo de actividades diferente que separó la definición del modelo ABM de la especificación del prototipo de software, resultando cuatro fases de implementación, como se aprecia en la Figura 9.1.

Se encontraron concordancias entre los conceptos clave para la formulación de modelos basados en agentes y los fundamentos teóricos usados en la SSM. Tomando ideas plasmadas por Checkland, P. and Holwell, S. [5] a partir de su trabajo continuo con sistemas suaves en el estudio organizacional, se diseñó un algoritmo orientado a la simulación del comportamiento humano por un agente artificial, el cual facilita la transición (de forma consistente) entre la conceptualización de un entorno social (usando SSM) y un modelo basado en agentes

Se corroboró la potencialidad del *Framework Repast Symphony* (distribuido con el entorno de desarrollo Eclipse) en la implementación de modelos basados en agentes orientados a la simulación de entornos complejos, por contar con librerías útiles para facilitar distintos aspectos en el desarrollo del software requerido.

Los resultados de la simulación (a pesar de las limitaciones descritas en la sección 8.4.1) implicarían que la implementación del SAAB debería estar enfocada a la prestación de servicios al sector empresarial como medio de estabilización y esperar ser complementado gradualmente por la actividad comercial de tenderos y consumidores finales. También, se encontró que al intervenir los esquemas de intermediación “tradicional” del proceso de abastecimiento alimentario con la implementación del SAAB, es posible lograr aumentos cercanos al 9,5% en el precio del producto para el consumidor final en relación con precio de venta fijado por el productor, mientras que el abastecimiento sin intervención genera aumentos del 34,18% en este mismo sentido. Ver Tabla 8.1.

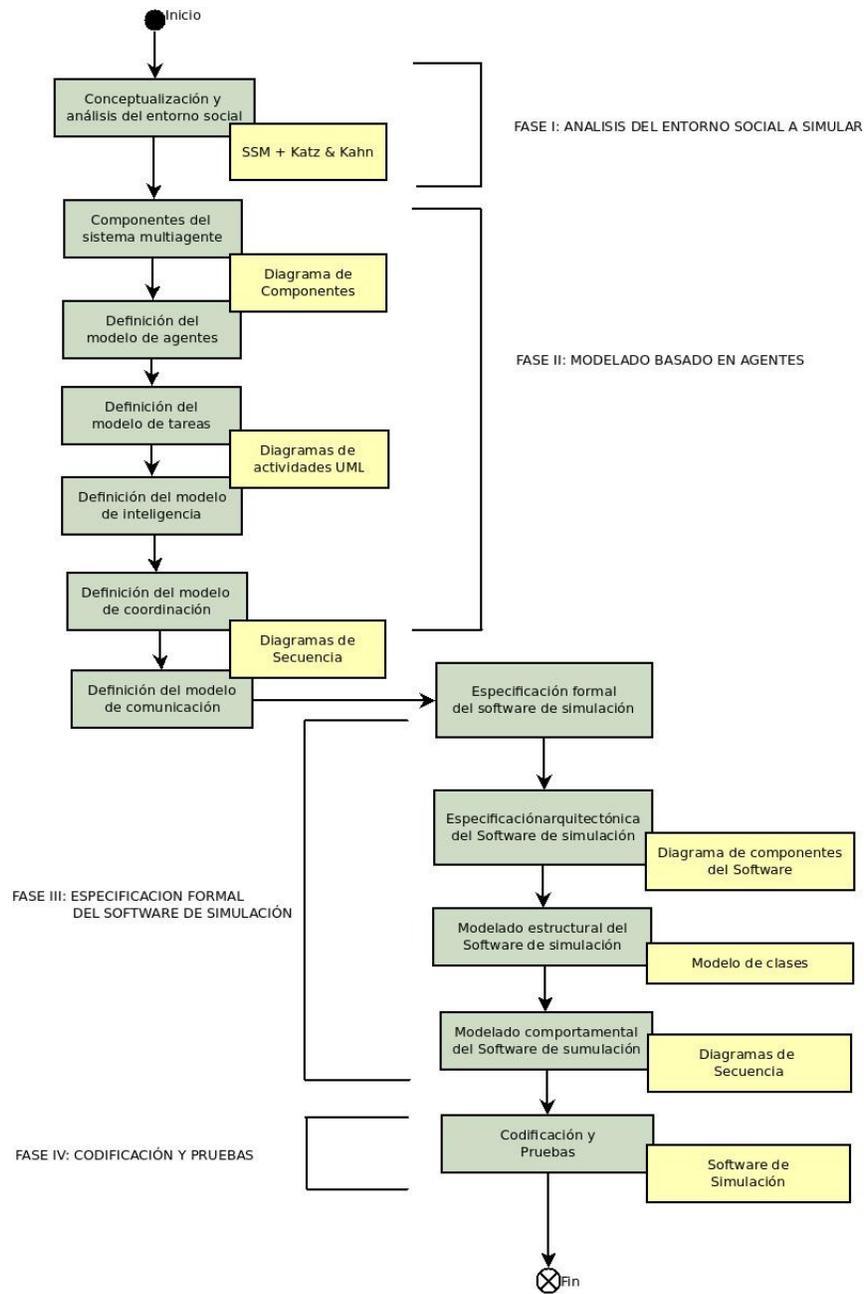


Figura 9.1: Flujo de actividades resultante en la ejecución del proyecto (Fuente: este proyecto)

Bibliografía

- [1] Aguilar J., Bessemel I., Cerrada M., Hidrobo F., and Narciso F. (2008a). Una metodología para el modelado de sistemas de ingeniería orientado a agentes. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 12(38):39–60.
- [2] Aguilar J., Chacal J., Cerrada M., Hidrobo F., and Bravo C. (2008b). Specification of a multiagent system for planning and management of the production factors for automation based on the scdia framework and ma-sina methodology. *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS AND CONTROL*, 3(2):79–88.
- [3] Arauzo, José Alberto, de Benito, Juan José, and del Olmo, Ricardo (2010). Propuesta de una ontología para la especificación de procesos. In *4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management/XIV Congreso Ingeniería de Organización*, pages 35–45.
- [4] Austin, J. L. (1962). *How to do things with words*. Oxford University press, 2 edition.
- [5] Bergua, J. A. (2011). *Estilos de investigación social*. Prensas Universitarias de Zaragoza.
- [6] Bertalanffy, L. (1976). *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica, 2 edition.
- [7] Boehm, B. W. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *Computer*, 21(5):61–72.
- [8] Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(suppl 3):7280–7287.

- [9] C, H. G. (1999). Conducta social como intercambio. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 85(85).
- [10] Cardoso, Carolina, Bert, Federico, and Podestá, Guillermo (2011). Modelos basados en agentes (mba): definición, alcances y limitaciones. *Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global*.
- [11] Checkland, P. (1993). *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. Limusa, 3 edition.
- [12] Checkland, P. and Scholes, J. (1994). *La metodología de sistemas suaves en acción*. Limusa.
- [13] Checkland, P. and Holwell, S. (1998). *Information, systems and information systems: Making sense of the field*. Wiley, 1 edition.
- [14] Cohen, P. and Perrault, C. (2003). Elements of a plan-based theory of speech acts. In Huget, M.-P., editor, *Communication in Multiagent Systems*, volume 2650 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1–36. Springer Berlin Heidelberg.
- [15] Española, R. A. (2014). Diccionario de la lengua española, vigésima segunda edición. web.
- [16] FIPA (2002). Fipa communicative act library specification. [On-Line].
- [17] Fumarola, M., Seck, M., and Verbraeck, A. (2011). Simulation-based systems design in multi-actor environments. In Tolk, A. and Jain, L., editors, *Intelligence-Based Systems Engineering*, volume 10 of *Intelligent Systems Reference Library*, pages 107–127. Springer Berlin Heidelberg.
- [18] Garzón, Javier and Fuertes, Paola (2008). Diseño e implementación de la gestión de lote para el subsistema de trazabilidad y rastreo de productos frescos en el sisaab aplicado a un caso de estudio (cebolla de bulbo). Proyecto de Grado.
- [19] Gilbert, N. (1993). Computer simulation of social processes. *Social Research Update*, 6.
- [20] Goldberg, D. (1988). Genetic algorithms and machine learning. *Computer*, (3):95–99.

- [21] Group, O. M. (2011). Business process model and notation. PDF.
- [22] Guerrero Garzón, P., Hernández Losada, D., and Díz Monroy, L. (2012). Metodología para la fijación de precios mediante la utilización de la elasticidad precio-demanda. *Apuntes del Cenes, Portal de Revistas UPTC*, 31(54).
- [23] Heckbert, S., Baynes, T., and Reeson, A. (2010). Agent-based modeling in ecological economics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185(1):39–53.
- [24] Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI. second edition, 1992.
- [25] Institute, P. M. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. PMI Publications, 5 edition.
- [26] Johansen, Oscar (2004). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Limusa, 2 edition.
- [27] Katz, D. and Kahn, R. (1989). *Psicología Social de las Organizaciones*. Willey, 2 edition.
- [28] Laboratory, A. N. (2005). Repast simphony 2.2 api. [On-Line].
- [Lahoz-Beltrá] Lahoz-Beltrá, R. *BIOINFORMÁTICA simulación, vida artificial e inteligencia artificial*. Ediciones Díaz de Santos S.A., 2 edition.
- [30] Linares, Raúl., COLCIENCIAS, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, and GRUPO DE INVESTIGACIÓN ARQUI-SOFT (2011). Modelos funcionales, estructurales y dinámicos del sistema de información para la cadena de abastecimiento de alimentos bogotá-cundinamarca (sisabc). [EAP].
- [31] Luhmann, N. (1995). *Introducción a la Teoría de Sistemas*. Universidad Iberoamericana.
- [32] Mejía, C. (2005). Métodos para la determinación de precios. PDF.
- [33] Mestras, J. P. (2006). Agentes inteligentes: Comunicación entre agentes. PDF.

- [34] Navarro J. (2001). *Las organizaciones como sistemas abiertos alejados del equilibrio*. PhD thesis, Universidad de Barcelona.
- [35] Nordström, M. (2002). Notes on simulation. <http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/oopjava/st08/assign/simulering-eng.html>. Accessed: 2013-11-30.
- [36] North, M. and Collier, N. (2010). Repast reference. PDF.
- [37] North, M., Collier, N., Ozik, J., Tatara, E., Macal, C., Bragen, M., and Sydelko, P. (2013). Complex adaptive systems modeling with repast symphony. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 1(1):3.
- [38] Noy, N. F. and McGuinness, D. L. (2001). Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Technical report, Stanford University.
- [39] Orjuela, Luz Marina, COLCIENCIAS, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, and GRUPO DE INVESTIGACIÓN ARQUISOFIT (2008a). Modelo de negocio asociado al sistema de información para la cadena de abastecimiento de alimentos de bogotá, cundinamarca. PDF.
- [40] Orjuela, Luz Marina, COLCIENCIAS, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, GRUPO DE INVESTIGACIÓN ARQUISOFIT, and GRUPO GICIC (2008b). Prototipo software del sistema de información para la cadena de abastecimiento de alimentos de bogotá-cundinamarca. PDF.
- [41] Patil, R., Knight, K., and Russ, T. (1997). Towards distributed use of large-scale ontologies. In *In AAAI Spring Symposium on Ontological Engineering*.
- [42] UESP (2006a). Soporte técnico del plan maestro de abastecimiento y seguridad alimentaria de bogotá. [CD-ROM].
- [43] UESP (2006b). *Soporte técnico del Plan Maestro de Abastecimiento y Seguridad Alimentaria de Bogotá. Documento MSWord*, chapter Anexo Técnico 2- Caracterización de factores humanos: Fasículo - Estándares Nutricionales. UESP.

- [44] UESP (2006c). *Soporte técnico del Plan Maestro de Abastecimiento y Seguridad Alimentaria de Bogotá. Documento MSWord*, chapter Anexo Técnico 4- Resumen del sistema: - Resumen integral del sistema de abastecimiento. UESP.
- [45] Wooldridge, M. (2002). *An introduction to multiagent systems*. Wiley, 2 edition.

Apéndices

Apéndice A

Anexos en formato digital

Adjunto a este documento se presenta en formato digital (*CD-ROM*) una serie de archivos complementarios, producto de la ejecución y desarrollo de el proyecto aquí descrito. A continuación se especifica la ubicación y descripción de cada uno de los archivos anexos.

- **Diccionario de Clases: (Anexos/diccionario de clases/index.html)**
Descripción formal de clases, atributos y métodos que componen el prototipo de simulación.
- **Prototipo de Simulación (Anexos/prototipo de software/prototipo_simulaSAAB.jar)** Instalador del prototipo de software de simulación (las instrucciones de instalación y manual de usuario se pueden encontrar en el Apéndice K).
- **Modelos del Proyecto: (Anexos/modelos del proyecto/Modelos del Proyecto.eap)** Archivo *.eap* (Enterprise Architech) con los modelos UML incluidos en el proyecto. Contiene:
 - **Modelo de Simulación ABM:** Corresponde a los paquetes de diagramas que representan las diferentes perspectivas del modelo basado en agentes: Tareas, inteligencia, agentes y comunicación, en conformidad con lo estipulado en la sección 2.
 - **Especificación del Prototipo de Software:** Contiene los diagramas UML que describen los modelos del prototipo de software:

- **Modelo de casos de uso:** Diagrama de casos de uso, actores y diagramas de actividad para la especificación de cada uno de los casos, correspondiente a la sección 3.3 del documento.
 - **Modelo de Requerimientos:** Diagrama de requerimientos del prototipo segmentados en:
 - ◇ **Requerimientos funcionales:** Corresponde a la sección 3.2. Los diagramas se encuentran repartidos en paquetes en conformidad con su objetivo: gestión de la simulación, gestión de los agentes y representación del SAAB.
 - ◇ **Requerimientos no funcionales**
 - **Especificación arquitectónica del prototipo:** Contiene el diagrama de componentes mediante el cual se representan los módulos que integran el prototipo de simulación.
 - **Modelo Estructural:** Enmarca los diagramas de clases correspondientes a lo descrito en la sección 5.
 - **Modelo Comportamental:** Contiene los diagramas de secuencia para cada uno de los casos de uso.
- **Proceso ETL: (Anexos/proceso ETL/talend-jobs/)** Proyecto (importable) para el software "Talend Open Studio for Data Integration" versión 6.0 (Open Source; descargable desde el sitio Web: www.talend.com), con los procesos de extracción y transformación de datos creados para el análisis y consolidación de información generada por el prototipo de simulación.

Apéndice B

Especificación del comportamiento de los agentes

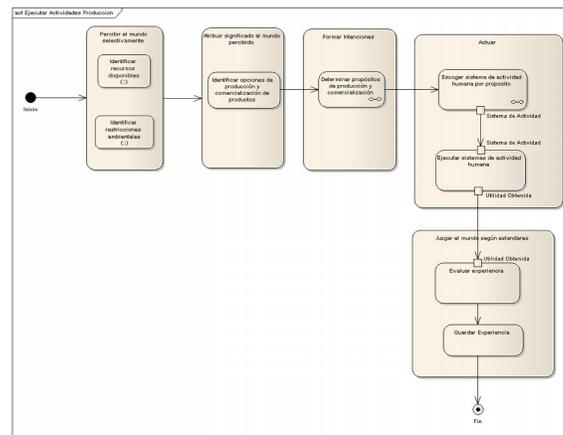


Figura B.1: Comportamiento del agente Productor (Fuente: Este proyecto)

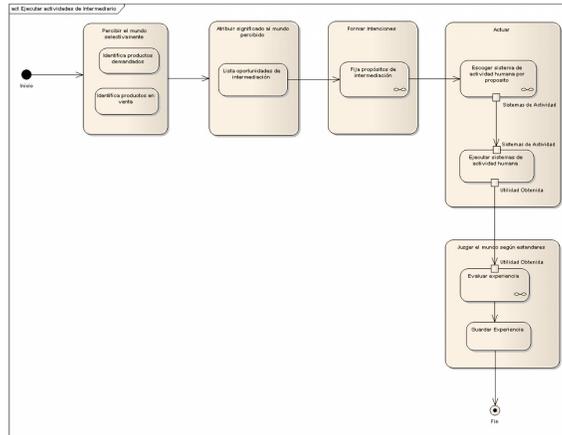


Figura B.2: Comportamiento del agente Intermediario (Fuente: Este proyecto)

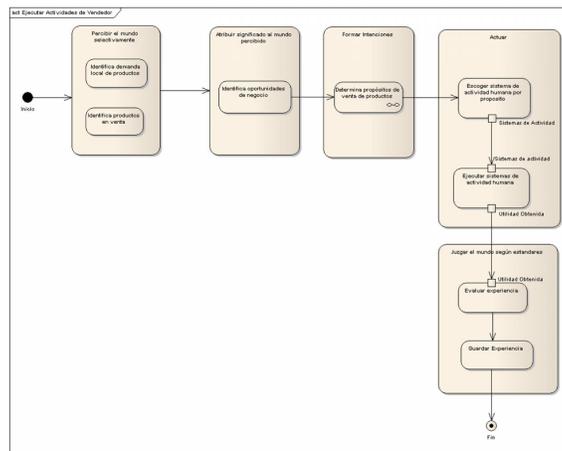


Figura B.3: Comportamiento del agente Vendedor Final, Demandante y Operador de red de demanda (Fuente: Este proyecto)

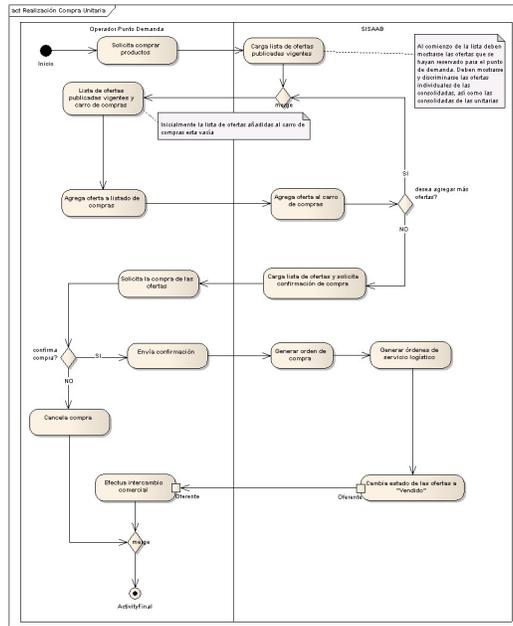


Figura B.4: Comportamiento agente SISAAB: Realización de compra (Basado en [30])

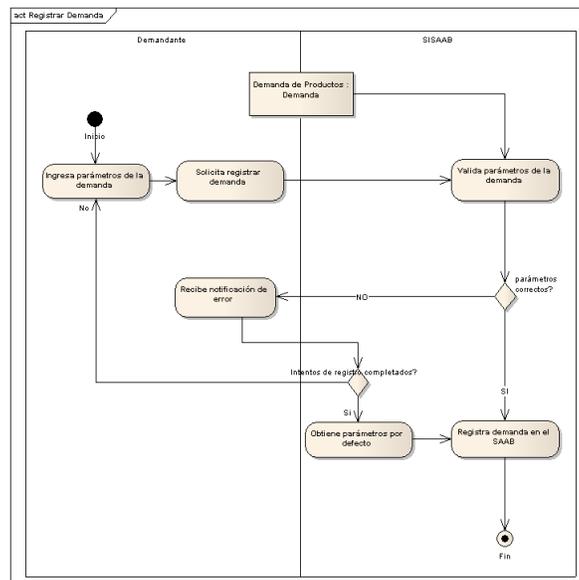


Figura B.5: Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de demanda (Basado en [30])

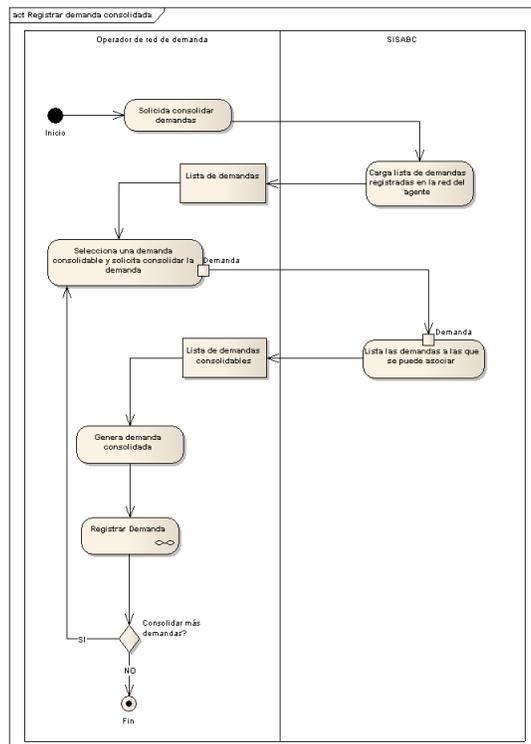


Figura B.6: Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de demanda consolidada (Basado en [30])

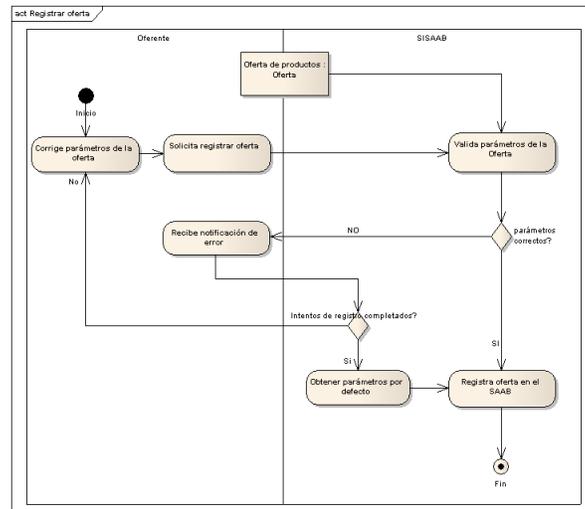


Figura B.7: Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de oferta (Basado en [30])

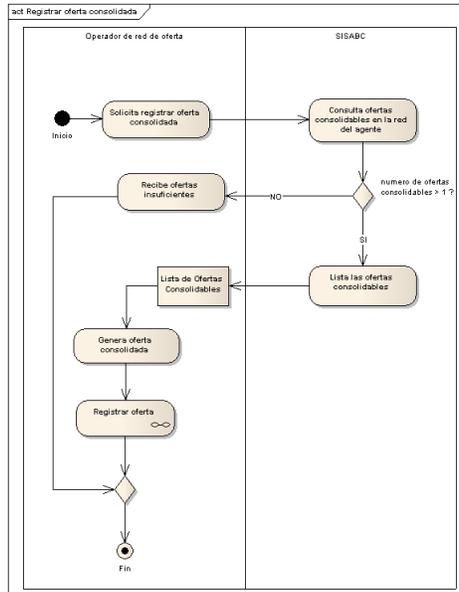


Figura B.8: Comportamiento agente SISAAB: Creación-registro de oferta consolidada (Basado en [30])

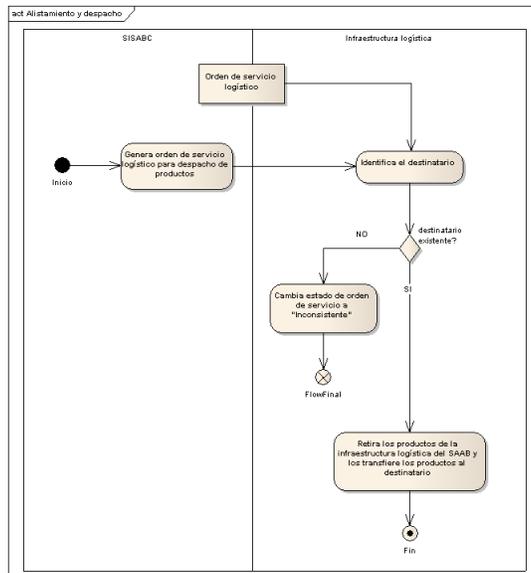


Figura B.9: Comportamiento agente SISAAB: Alistamiento y despacho de pedidos desde plataforma logística (Basado en [30])

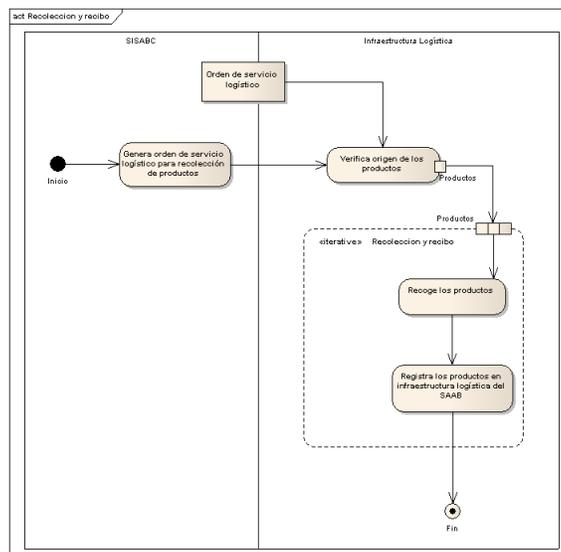


Figura B.10: Comportamiento agente SISAAB: Recolección de productos y recibo en plataforma logística (Basado en [30])

Apéndice C

Especificación de modelos de agentes

C.0.4. Agente Productor

Tabla C.1: Modelo de Agente: Productor.

Agente Productor	
Nombre	Productor
Posición	Contextos rurales.
Agentes Componentes	No aplica.
Descripción del agente	Agente “ <i>movil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que encapsula el concepto de productor agrícola caracterizado en [43]. Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], toma decisiones y ejecuta tareas orientadas a la producción agrícola con fines comerciales.
Objetivo del Agente	
Enunciado	Garantizar su supervivencia obteniendo recursos para suplir sus necesidades de vida mediante la producción y comercialización de productos agrícolas.
Descripción	Haciendo uso de los recursos a su disposición el agente produce y comercializa productos agrícolas, con el fin de obtener recursos suficientes para suplir sus necesidades de vida.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.1: Modelo de Agente: Productor.

Parámetro de entrada	Restricciones ambientales, recursos propios y disponibles en el ambiente.
Parámetro de salida	Productos agrícolas comercializados.
Condición de activación	El agente permanece activo durante la ejecución de la simulación, iterando el proceso personal descrito en [13, pág. 100].
Condición de finalización	El agente finaliza una vez es detenida la simulación.
Condición de éxito de su objetivo	Venta de los productos generados.
Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	El agente no logra la comercialización y/o producción de productos agrícolas.
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Nombre	Ejecutar Actividades de Producción.
Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas a la producción agrícola interactuando con su entorno y otros agentes con el fin de alcanzar sus objetivos.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Objetivo del agente, información de recursos disponibles, sistemas de actividad humana ejecutables en el entorno.
Parámetros de salida	Valoración de la experiencia generada al ejecutar los sistemas de actividad humana y los recursos (dinero y/o productos) obtenidos como resultado de realizar tales acciones.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	<p>Redefinición de su propósito según las condiciones del medio y su objetivo.</p> <p>Ejecución de sistemas de actividad humana según los propósitos definidos por él mismo.</p> <p>Continúa en la siguiente página</p>

Tabla C.1: Modelo de Agente: Productor.

	Actualizar sus conceptos de bueno/malo.
Restricción del Agente	
Normas	Solo se le permite ejecutar aquellos sistemas de actividad humana registrados como disponibles en el ambiente que se encuentra, los cuales encapsulan restricciones ambientales y sus condiciones.
Preferencias	Define propósitos de producción viables cuya expectativa de utilidad sea mayor.
Permisos	Moverse a través de diferentes contextos, para cumplir su objetivo. Interactuar activamente con otros agentes.

C.0.5. Agente Intermediario

Tabla C.2: Modelo de Agente Intermediario.

Agente Intermediario	
Nombre	Intermediario
Posición	Cabeceras Municipales
Agentes Componentes	No aplica.
Descripción del agente	Agente “ <i>movil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa los actores de intermediación presentes en las cadenas de abastecimiento alimentario de Bogotá. Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], toma decisiones y ejecuta tareas orientadas a la intermediación mediante la compra y venta de productos con fines lucrativos.
Objetivos del Agente	
Objetivo 1	
Enunciado	Garantizar su supervivencia obteniendo recursos para suplir sus necesidades de vida mediante la compra y venta de productos agrícolas.
Descripción	Mediante la compra y venta de productos agrícolas el agente busca oportunidades de intermediación en las cuales pueda obtener ganancias económicas.
Parámetro de entrada	Restricciones del ambiente, productos en venta, precios de productos, costos logísticos.
Parámetro de salida	Utilidad obtenida
Condición de activación	El agente permanece activo durante la ejecución de la simulación, iterando el proceso personal descrito en [13, pág. 100].
Condición de finalización	El agente finaliza al detener la simulación.
Condición de éxito	Obtención de un margen de utilidad al vender productos agrícolas comprados a otros agentes.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.2: Modelo de Agente Intermediario.

Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	El margen de ganancia del agente es menor o igual a cero.
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Nombre	Ejecutar Actividades de Intermediación.
Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas a la intermediación en el abastecimiento de productos a la ciudad de Bogotá, interactuando con su entorno y otros agentes procurando la obtención de su objetivo.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Objetivos; Objetivo del agente, sistemas de actividad humana ejecutables que encapsulan las restricciones del ambiente y su condiciones de uso.
Parámetros de salida	Experiencia obtenida al ejecutar los sistemas de actividad humana y los recursos y/o utilidades producto de ejecutar tal acción.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Redefinición de sus propósitos según las condiciones del medio. Ejecución de sistemas de actividad humana definidos en el contexto que se encuentra. Modificar sus conceptos de bueno/malo.
Restricción del Agente	
Normas	Solo se le permite ejecutar aquellos sistemas de actividad humana registrados como disponibles en el ambiente que se encuentra, los cuales encapsulan restricciones ambientales y sus condiciones.
Preferencias	Define propósitos de intermediación viables cuya expectativa de utilidad sea mayor.
Permisos	Moverse a través de diferentes contextos, para cumplir su objetivo. Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: Modelo de Agente Intermediario.

	Interactuar activamente con otros agentes.
--	--

C.0.6. Agente Vendedor Final

Tabla C.3: Modelo de Agente Vendedor Final.

Agente Vendedor Final	
Nombre	Vendedor Final
Posición	Cabeceras Municipales.
Agentes Componentes	No aplica.
Descripción del agente	Agente “ <i>movil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa un actor de oferta para el consumidor final y de demanda para los intermediarios y productores. Procura la venta de productos agrícolas al consumidor ciudadano. Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], toma decisiones y ejecuta tareas orientadas a la compra al por mayor de productos agrícolas con el fin de ofertarlos al detal.
Objetivos del Agente	
Objetivo 1	
Enunciado	Garantizar su supervivencia obteniendo recursos para suplir sus necesidades de vida mediante la venta de productos agrícolas en la ciudad de Bogotá.
Descripción	Procurando obtener un margen de utilidad, el agente compra productos agrícolas disponibles al por mayor con el fin de venderlos al consumidor final a un precio que cubra los costos logísticos, de almacenamiento y tratamiento de los productos.
Parámetro de entrada	Productos disponibles y ubicación de los puntos de venta. Precios de compra, costos logísticos.
Parámetro de salida	Utilidad esperada, precio unitario de los productos.
Condición de activación	El agente permanece activo durante la ejecución de la simulación, iterando el proceso personal descrito en [13, pág. 100].
Condición de finalización	El agente finaliza al detener la simulación.
Condición de éxito	El agente oferta productos al detal con un precio específico.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.3: Modelo de Agente Vendedor Final.

Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	No tener productos para la venta.
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Nombre	Ejecutar Actividades de Vendedor.
Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas a la venta de productos agrícolas interactuando con su entorno y otros actores de oferta y demanda en pro de cumplir sus objetivos.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Objetivo del agente y sistemas de actividad humana ejecutables en el contexto en que se encuentra.
Parámetros de salida	Experiencia obtenida al ejecutar los sistemas de actividad humana y los recursos y/o utilidades producto de ejecutar tal acción.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Redefinición de sus propósitos según las condiciones del medio. Ejecución de sistemas de actividad humana definidos en el contexto que se encuentra. Modificar sus conceptos de bueno/malo.
Restricción del Agente	
Normas	Solo se le permite ejecutar aquellos sistemas de actividad humana registrados como disponibles en el ambiente que se encuentra, los cuales encapsulan restricciones ambientales y sus condiciones.
Preferencias	Define propósitos de compra-venta viables cuya expectativa de utilidad sea mayor.
Permisos	Moverse a través de diferentes contextos, para cumplir su objetivo. Interactuar activamente con otros agentes.

C.0.7. Agente Oferente

Tabla C.4: Modelo de Agente Oferente.

Agente Oferente	
Nombre	Oferente
Posición	Contextos rurales.
Agentes Componentes	No aplica.
Descripción del agente	Agente “ <i>movil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa el actor de oferta en el contexto del SAAB [43]. Actúa de forma similar al agente productor, pero sus acciones están dirigidas a la venta de productos en el sistema de abastecimiento del PMASAB.
Objetivo del Agente	
Enunciado	Obtener ganancias económicas mediante la producción de productos agrícolas y su comercialización en el SAAB.
Descripción	Haciendo uso de los recursos a su disposición el agente produce productos agrícolas, con el fin de obtener utilidades suficientes comercializándolos en el SAAB para suplir sus necesidades de vida.
Parámetro de entrada	Restricciones ambientales, recursos propios y disponibles en el ambiente.
Parámetro de salida	Productos agrícolas comercializados en el SAAB y la utilidad obtenida producto de tal acción.
Condición de activación	El agente finaliza al detener la simulación.
Condición de finalización	El agente finaliza al detener de la simulación.
Condición de éxito de su objetivo	Venta de los productos generados mediante el SAAB.
Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	El agente no logra la comercialización y/o producción de productos agrícolas.
Servicios del Agente	
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.4: Modelo de Agente Oferente.

Servicio 1	
Nombre	Registrar Oferta en el SAAB.
Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas a la producción agrícola interactuando con su entorno y otros agentes para formar ofertas para la comercialización de productos en el SAAB.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Objetivo del agente, información de recursos disponibles, sistemas de actividad humana ejecutables en el entorno.
Parámetros de salida	Valoración de la experiencia generada al ejecutar los sistemas de actividad humana y los recursos (dinero y/o productos) obtenidos como resultado de realizar tales acciones.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Redefinición de su propósito según las condiciones del medio y su objetivo. Ejecución de sistemas de actividad humana definidos para la oferta de productos en el SAAB. Actualizar sus conceptos de bueno/malo.
Restricción del Agente	
Normas	Solo se le permite ejecutar aquellos sistemas de actividad humana registrados como disponibles en el ambiente, que se encuentran dirigidos a la oferta de productos en el SAAB; los cuales encapsulan las restricciones ambientales y sus condiciones.
Preferencias	Ejecución de sistemas de actividad humana definidos para el SAAB.
Permisos	Moverse a través de diferentes contextos, para cumplir su objetivo. Interactuar activamente con otros agentes.

C.0.8. Agente Operador de red de oferta

Tabla C.5: Modelo de Agente Operador de red de oferta.

Agente Operador de red de oferta	
Nombre	Operador de red de Oferta
Posición	Contexto rural.
Agentes Componentes	Agentes oferentes.
Descripción del agente	Agente “ <i>Reactivo</i> ” que representa una asociación de agentes oferentes (Agrored). Comparte las características del “agente Oferente” con la capacidad de consolidar diferentes ofertas para ser registradas en el SAAB.
Objetivo del Agente	
Enunciado	Obtener ganancias económicas mediante la comercialización de ofertas consolidadas en el SAAB.
Descripción	Haciendo uso de las ofertas de los agentes oferentes que representa el agente las consolida y comercializa en el SAAB, con el fin de obtener utilidades suficientes para generar ganancias comunes.
Parámetro de entrada	Ofertas consolidables.
Parámetro de salida	Oferta consolidada comercializada.
Condición de activación	Oferta consolidable.
Condición de finalización	Comercialización de una oferta consolidada en el SAAB.
Condición de éxito de su objetivo	Venta de los productos en el SAAB, ligados a la oferta consolidada.
Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	El agente no logra la comercialización de los productos agrícolas.
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Nombre	Registrar Oferta consolidada en el SAAB.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.5: Modelo de Agente Operador de red de oferta.

Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas a la consolidación de ofertas y su registro en el SAAB.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Ofertas consolidables.
Parámetros de salida	Ofertas unitarias asociadas a una oferta consolidada.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Ejecución de sistemas de actividad humana definidos para la consolidación de ofertas y su comercialización en el SAAB. Actualizar sus conceptos de bueno/malo.
Restricción del Agente	
Normas	Solo se le permite ejecutar aquellos sistemas de actividad humana registrados como disponibles en el ambiente que se encuentra, dirigidos a la comercialización de ofertas consolidadas en el SAAB.
Preferencias	Ejecución de sistemas de actividad humana definidos para el SAAB.
Permisos	Moverse a través de diferentes contextos, para cumplir su objetivo. Interactuar con otros agentes.

C.0.9. Agente Demandante

Tabla C.6: Modelo de Agente Demandante.

Agente Demandante	
Nombre	Demandante
Posición	Cabeceras Municipales.
Agentes Componentes	No aplica.
Descripción del agente	Agente “ <i>movil, deliberativo con razonamiento práctico</i> ” que representa el actor de demanda en el contexto del SAAB [43]. Actúa de forma similar al agente “Vendedor Final”, pero sus acciones están dirigidas a la compra de productos mediante el sistema de abastecimiento del PMASAB.
Objetivo del Agente	
Enunciado	Obtener productos agrícolas al por mayor, para ofertarlos al detal en Bogotá a un precio que involucre un margen de ganancia.
Descripción	Procurando obtener un margen de utilidad, el agente compra productos agrícolas en el SAAB al por mayor con el fin de venderlos al consumidor final a un precio que cubra los costos logísticos, de almacenamiento y tratamiento de los productos.
Parámetro de entrada	Productos disponibles y ubicación de los puntos de venta. Precios de compra, costos logísticos.
Parámetro de salida	Utilidad esperada, precio unitario de los productos.
Condición de activación	El agente permanece activo durante la ejecución de la simulación, iterando el proceso personal descrito en [13, pág. 100].
Condición de finalización	El agente finaliza al detener la simulación.
Condición de éxito	El agente oferta productos al detal con un precio específico.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.6: Modelo de Agente Demandante.

Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	No tener productos para la venta.
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Nombre	Ejecutar Actividades de Vendedor.
Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas al registro de necesidades de productos en la locación definida para el agente.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Escalas de vigencia configuradas, unidades mínimas de despacho, productos ofertados.
Parámetros de salida	Items de producto asociados a la demanda.
Servicio 2	
Nombre	Realizar Compra.
Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas a la compra de productos a un oferente individual o red de oferta.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Ofertas unitarias, ofertas consolidadas.
Parámetros de salida	Pedido de productos, orden de servicio logístico asociada al pedido.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Redefinición de sus propósitos según las condiciones del medio. Ejecución de sistemas de actividad humana orientados al uso del SAAB, definidos en el contexto que se encuentra. Modificar sus conceptos de bueno/malo.
Restricción del Agente	
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.6: Modelo de Agente Demandante.

Normas	Solo se le permite ejecutar aquellos sistemas de actividad humana registrados como disponibles en el ambiente que se encuentra, orientados al uso del SAAB.
Preferencias	Ejecución de sistemas de actividad humana definidos para el SAAB.
Permisos	Moverse a través de diferentes contextos, para cumplir su objetivo. Interactuar activamente con otros agentes.

C.0.10. Agente Operador de red de demanda

Tabla C.7: Modelo de Agente: Operador de red de demanda.

Agente Operador de red de demanda	
Nombre	Operador de red de demanda
Posición	Centros de gestión por vecindad urbana.
Agentes componentes	Demandantes
Descripción del agente	Agente “ <i>Reactivo</i> ” que representa una asociación de agentes demandantes (Nutrired). Comparte las características del “agente Demandante” con la capacidad de consolidar diferentes demandas para ser usadas en la compra de productos en el SAAB.
Objetivo del Agente	
Enunciado	Suplir las demandas de los “agentes demandantes” que representa.
Descripción	Haciendo uso de las demandas de los agentes que representa, las consolida y registra en el SAAB, con el fin usarlas para la compra de productos agrícolas procurando obtener beneficios comunes.
Parámetro de entrada	Demandas consolidables.
Parámetro de salida	Demanda consolidada usada en la compra de productos agrícolas.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.7: Modelo de Agente: Operador de red de demanda.

Condición de activación	Demanda consolidable.
Condición de finalización	Uso de una demanda consolidada en la compra de productos mediante el SAAB.
Condición de éxito de su objetivo	Compra de productos en el SAAB, ligados a la demanda consolidada.
Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	El agente no logra la compra de productos agrícolas.
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Nombre	Registrar Demanda consolidada en el SAAB.
Descripción del Servicio	Siguiendo el proceso personal descrito en [13, pág. 100], el agente ejecuta tareas orientadas a la consolidación de demandas y su registro en el SAAB.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Demandas consolidables.
Parámetros de salida	Demandas unitarias asociadas a una demanda consolidada.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Ejecución de sistemas de actividad humana definidos para la consolidación de demandas en el SAAB. Actualizar sus conceptos de bueno/malo.
Restricción del Agente	
Normas	Solo se le permite ejecutar aquellos sistemas de actividad humana registrados como disponibles en el ambiente que se encuentra, dirigidos a la consolidación de demandas en el SAAB.
Preferencias	Ejecución de sistemas de actividad humana definidos para el SAAB.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.7: Modelo de Agente: Operador de red de demanda.

Permisos	Moverse a través de diferentes contextos, para cumplir su objetivo. Interactuar con otros agentes.
----------	---

C.0.11. Agente Operador Logístico

Tabla C.8: Modelo de Agente Infraestructura Logística.

Agente Infraestructura Logística	
Nombre	Infraestructura Logística
Posición	Contexto SAAB.
Agentes componentes	No aplica
Descripción del agente	Agente <i>reactivo</i> que presta los servicios de recepción y despacho de productos en el marco de ejecución del SAAB. Opera como puente de conexión en las cadenas de abastecimiento alimentario entre los ambientes rurales y la ciudad de Bogotá.
Objetivos del Agente	
Objetivo 1	
Nombre	Facilitar la gestión, almacenamiento, tratamiento y movilización de productos comercializados a través del SAAB, bajo pedido.
Descripción	En el marco de acción del SAAB, los nodos logísticos tienen la función de interconectar y facilitar el manejo inocuo de productos en las diferentes cadenas de abastecimiento, procurando reducir costos de movilización y despacho en zonas tanto urbanas como rurales.
Parámetro de entrada	Orden de servicio logístico.
Parámetro de salida	Solicitudes atendidas.
Condición de activación	Generación de una solicitud de servicio logístico.
Condición de finalización	Atención de una solicitud de servicio logístico.
Condición de éxito	Atención de una o más solicitudes de servicio logístico.
Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	Solicitud en estado "Inconsistente".
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.8: Modelo de Agente Infraestructura Logística.

Nombre	Recolección de productos y recibo en plataforma logística.
Descripción del Servicio	Al momento en que se genera una orden de servicio para recolección y almacenamiento, el agente transfiere los productos de su origen a la plataforma logística del SAAB. Los servicios y actividades inherentes a la prestación de este servicio, no se consideran en el modelo actual; están considerados como trabajo futuro.
Tipo de Servicio	Externo
Parámetros de entrada	Orden de servicio logístico.
Parámetros de salida	Productos asociados a la orden de servicio transferidos a la plataforma logística del SAAB.
Servicio 2	
Nombre	Alistamiento y despacho de pedidos desde plataforma logística.
Descripción del Servicio	Al momento en que se genera una orden de servicio logístico para el alistamiento y despacho de productos, el agente verifica el destinatario de los productos y se los transfiere. Los servicios y actividades inherentes a la prestación de este servicio, no se consideran en el modelo actual; están considerados como trabajo futuro.
Tipo de Servicio	Externo
Parámetros de entrada	Orden de servicio logístico.
Parámetros de salida	Productos asociados a la orden de servicio transferidos al destinatario.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Atención de órdenes de servicio logístico generados en el SAAB.
Restricción del Agente	
Normas	Si el agente no logra encontrar el destinatario o el origen de los productos asociados a una orden de servicio logístico, cambia su estado a "Inconsistente". Continúa en la siguiente página

Tabla C.8: Modelo de Agente Infraestructura Logística.

	Sólo procesa órdenes de servicio registradas en el contexto del SAAB.
Preferencias	No aplica.
Permisos	Consultar las órdenes de servicio logístico generadas en el SAAB.

C.0.12. Agente SISAAB

Tabla C.9: Modelo de Agente SISAAB.

Agente SISAAB	
Nombre	SISAAB
Posición	Contexto SAAB.
Agentes componentes	No aplica.
Descripción del agente	Agente <i>reactivo</i> que representa la infraestructura tecnológica que soporta el funcionamiento del SAAB y está involucrado en todos sus procesos de negocio.
Objetivo del Agente	
Enunciado	Intermediar las operaciones realizadas sobre el SAAB como sistema de información y plataforma tecnológica de gestión.
Descripción	Como sistema de información, busca la automatización y control de los procesos de negocio asociados al SAAB asistiendo el proceso de negociación entre oferentes y demandantes, el registro de ofertas y demandas.
Parámetro de entrada	Nombre del servicio solicitado.
Parámetro de salida	Servicio solicitado ejecutado.
Condición de activación	El agente finaliza al detener la simulación.
Condición de finalización	El agente finaliza al detener la simulación.
Condición de éxito	Ejecución de uno o más servicios solicitados por algún agente.
Condición que determina el fracaso en la consecución del objetivo	Fallo en la ejecución de algún servicio.
Servicios del Agente	
Servicio 1	
Nombre	Creación/Registro de Oferta Unitaria.
Descripción del Servicio	Este servicio tiene como objetivo permitir el registro de las ofertas de productos disponibles en el SAAB.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.9: Modelo de Agente SISAAB.

Tipo de Servicio	Externo
Parámetros de entrada	Oferta, ofertante, productos ofertados.
Parámetros de salida	Registro de la oferta.
Servicio 2	
Nombre	Creación/Registro de oferta consolidada.
Descripción del Servicio	Este servicio tiene como objetivo permitir agrupar ofertas unitarias dando lugar a un registro de oferta consolidada.
Tipo de Servicio	Externo
Parámetros de entrada	Oferta, ofertante, productos ofertados.
Parámetros de salida	Registro de la oferta.
Servicio 3	
Nombre	Creación/Registro de demanda Unitaria.
Descripción del Servicio	Este servicio tiene como objetivo permitir el registro de necesidades de productos en el SAAB.
Tipo de Servicio	Externo
Parámetros de entrada	Demanda, demandante, productos demandados.
Parámetros de salida	Registro de la demanda.
Servicio 4	
Nombre	Creación/Registro de demanda consolidada.
Descripción del Servicio	Este servicio tiene como objetivo permitir la agrupación de demandas unitarias en un registro de demanda consolidada.
Tipo de Servicio	Externo
Parámetros de entrada	Demanda, demandante, productos demandados.
Parámetros de salida	Registro de la oferta.
Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Registro de entidades en el contexto del SAAB.
Restricción del Agente	
Normas	Las definidas en los procesos de negocio del SAAB.
Continúa en la siguiente página	

Tabla C.9: Modelo de Agente SISAAB.

Preferencias	No aplica.
Permisos	Registrar y eliminar entidades del contexto SAAB.

Apéndice D

Especificación de Tareas

D.0.13. Especificación de MPA: Producción agrícola

Tabla D.1: Especificación de MPA: Producción agrícola

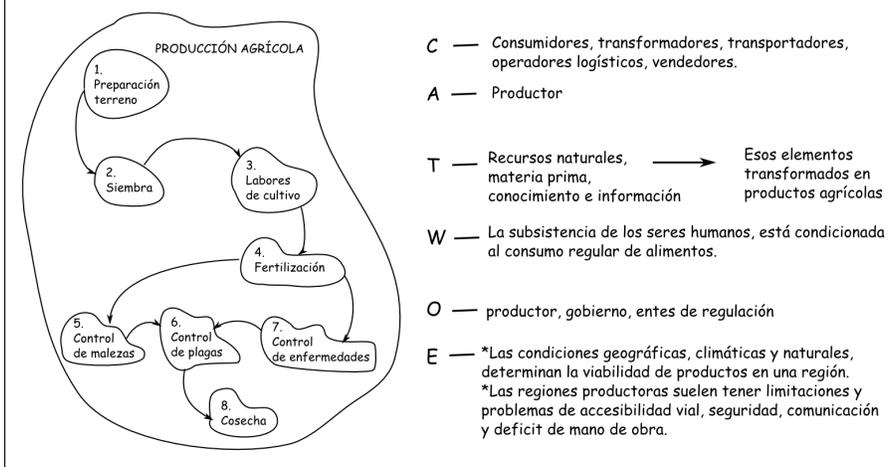
Producción agrícola	
Descripción	Sistema de gestión de finca operado por un productor que mediante la transformación de recursos naturales, materia prima, conocimiento e información en productos alimenticios comercializables busca suplir sus necesidades de subsistencia.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none">- Suplir necesidades de subsistencia y alimentación produciendo alimentos mediante la agricultura.- Producir alimentos agropecuarios para la venta.- Sacar provecho económico de terrenos propios mediante la agricultura.
Propósitos	<ul style="list-style-type: none">- Producir producto agrícola (P) en (H) número de hectáreas, en el terreno (T) ubicado en el ambiente (A).
Servicios Asociados	<ul style="list-style-type: none">- Ejecutar actividades de producción.
Precondición	<ul style="list-style-type: none">- Poseer un terreno rural con capacidad para producir un producto.

-Continúa en la siguiente página-

- Tener acceso a insumos agrícolas.

MPA-Producción Agrícola

Un sistema de gestión de finca operado por un productor que mediante la transformación de recursos naturales, materia prima, conocimiento e información en productos alimenticios comercializables busca suplir sus necesidades de subsistencia.



Postcondición	Propósito de venta/comercialización de productos agrícolas.
---------------	---

Parámetros de entrada	
Condiciones Ambientales (A)	Características del lugar donde se pretende ejecutar la actividad con propósito definido (Clima, piso térmico, productos viables, etc).
Terreno (T)	Características del terreno donde se ejecutará la actividad de producción.
Hectáreas (H)	Número de hectáreas a usar del terreno.
Producto (P)	Datos del producto a cultivar (Costo de producción por hectárea, unidad de medida, rendimiento por hectárea).

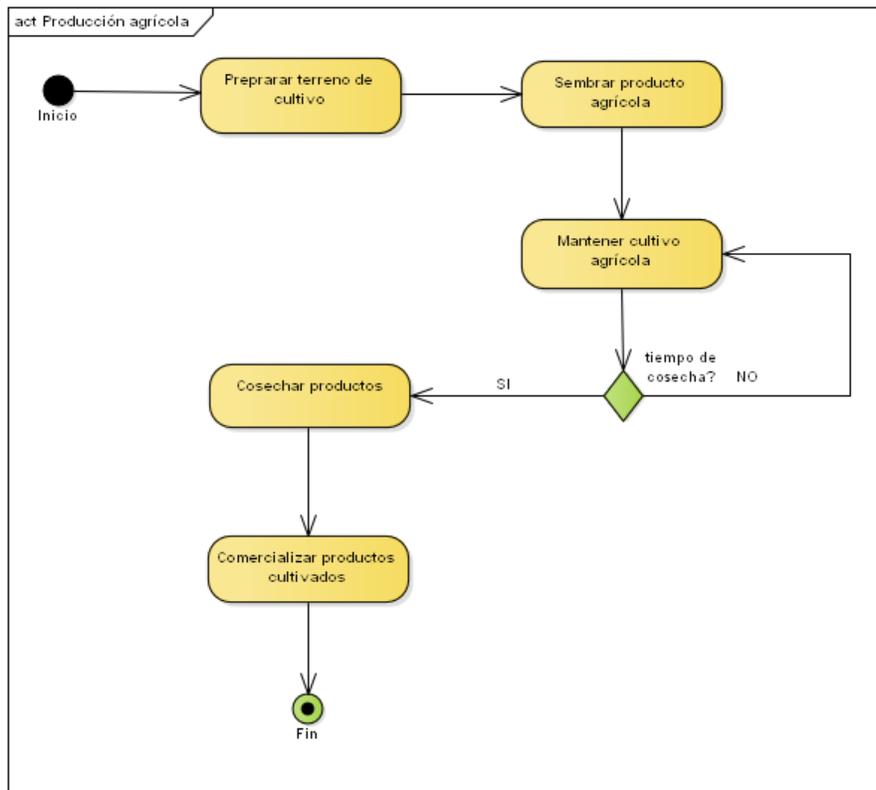


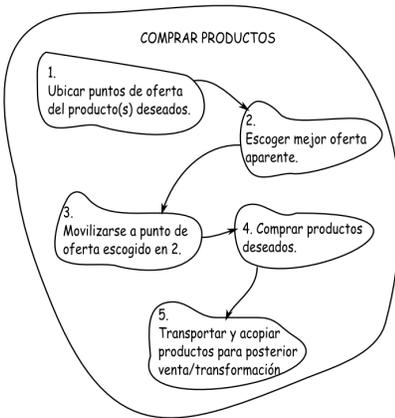
Figura D.1: Producción agrícola (Fuente: Este proyecto)

D.0.14. Especificación de MPA: Comprar Productos

Tabla D.2: Especificación de MPA: Comprar Productos

Comprar Productos	
Descripción	Sistema operado por transformadores, vendedores e intermediarios para la transformación y/o venta de productos, mediante la compra de productos no transformados con ofertas acordes a intereses económicos que procuran la obtención de ganancias.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none">- Suplir necesidades de subsistencia comercializando productos alimenticios.- Comprar alimentos para comercializarlos en mercados específicos.
Propósitos	<ul style="list-style-type: none">- Comprar (X) unidades del producto (P) y acopiarlo en (U).
Servicios Asociados	<ul style="list-style-type: none">- Ejecutar actividades de intermediario.- Ejecutar actividades de vendedor.- Almacenamiento de productos.
Precondición	<ul style="list-style-type: none">- Acceso a puntos de oferta del producto.
MPA-Comprar Productos	
Continúa en la siguiente página	

Un sistema operado por transformadores, vendedores e intermediarios para la transformación y/o venta de productos, mediante la compra de productos no transformados con ofertas acordes a intereses económicos que procuran la obtención de ganancias.



- C — Consumidores, productores, transformadores, demandantes, operadores logísticos, camioneros.
- A — Demandantes, intermediarios.
- T — Necesidad de productos alimenticios no transformados para transformación y/o venta → Necesidad de productos satisfecha
- W — El capitalismo está basado en un esquema de satisfacción de necesidades a través de mecanismos que involucran la compra y venta de productos y el uso de la moneda.
- O — Demandantes, entidades de regulación y vigilancia.
- E — *Existen políticas que regulan los precios y costos de ciertos productos y servicios.
*Un demandante debe comprar cantidades acordes a su capacidad de almacenamiento para garantizar la inocuidad de los productos y alimentos.
*La operación logística está inmersa en la compra y venta de productos.

Postcondición	Propósito de venta o transformación de productos.
Parámetros de entrada	
Producto (P)	Datos del producto a comprar.
Lugar de acopio (U)	Ubicación del lugar donde se guardarán el producto una vez comprado.
Cantidad (X)	Cantidad del producto a comprar (En unidades de medida del producto).

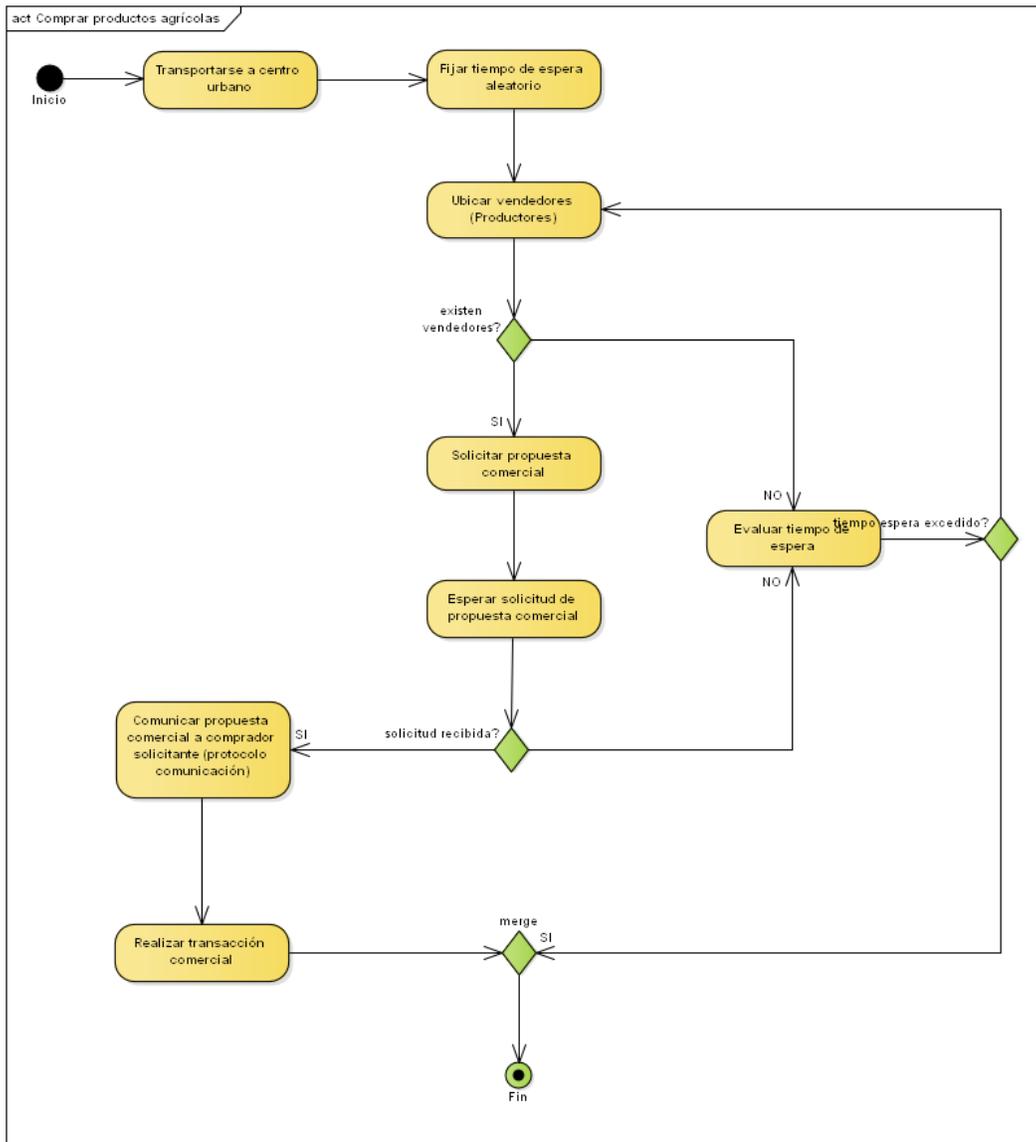


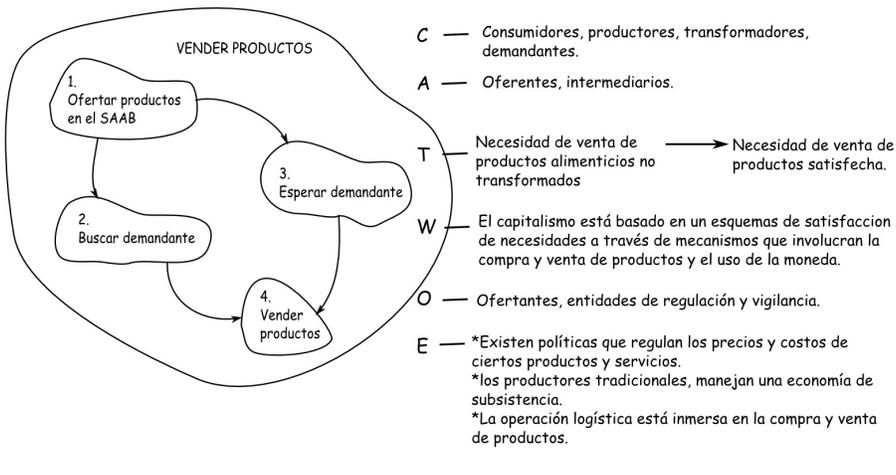
Figura D.2: Comprar Productos (Fuente: Este proyecto)

D.0.15. Especificación de MPA: Vender Productos

Tabla D.3: Especificación de MPA: Vender Productos

Vender Productos	
Descripción	Sistema operado por productores, intermediarios, para la venta de productos agropecuarios no transformados, mediante la oferta y negociación de productos para obtener ganancias económicas suficientes para suplir su subsistencia como ser humano y operación como productor agropecuario.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Suplir necesidades de subsistencia comercializando productos alimenticios. - Vender alimentos en mercados específicos.
Propósitos	- Vender el (X) unidades del producto (P) ofertándolo en (U) a (S) precio por unidad de medida.
Servicios Asociados	<ul style="list-style-type: none"> - Ejecutar actividades de producción. - Ejecutar actividades de intermediario. - Ejecutar actividades de vendedor. - Registrar oferta. - Registrar demanda. - Negociación y compra.
Precondición	- Poseer el producto a vender.
MPA-Vender Productos	
-Continúa en la siguiente página-	

Un sistema operado por productores, intermediarios, para la venta de productos agropecuarios no transformados, mediante la oferta y negociación de productos para obtener ganancias económicas suficientes para suplir su subsistencia como ser humano y operación como productor agropecuario.



Postcondición	- Almacenar experiencia y obtener una utilidad igual o mayor a la actual en futuras transacciones.
Parámetros de entrada	
Producto (P)	Datos del producto a vender.
Lugar o medio de oferta (U)	Medio por el que se hace pública la oferta del producto (SAAB, punto de oferta).
Cantidad (X)	Cantidad del producto a vender (En unidades de medida del producto).
Precio (S)	Precio base del producto a vender (por unidad de medida).

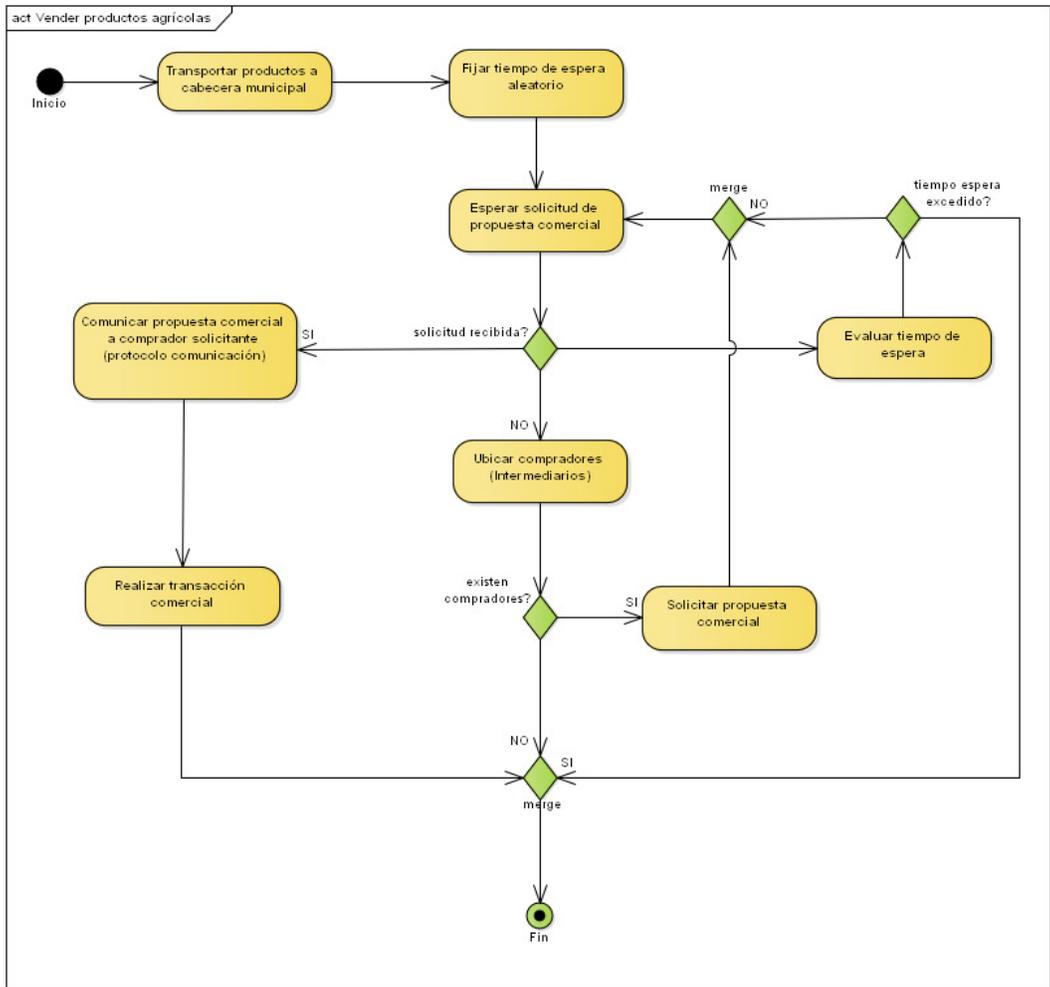


Figura D.3: Vender Productos (Fuente: Este proyecto)

Apéndice E

Especificación de actos comunicativos FIPA

E.0.16. Modelo de comunicación: accept-proposal

Tabla E.1: Modelo de comunicación: accept-proposal [16, pág. 3]

accept-proposal.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Aceptar una proposición enviada previamente (generalmente a través del acto <i>proposal</i>).
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	Propuesta que se acepta y una proposición que describe las características de la propuesta.
Precondición	Recepción de una propuesta a ser aceptada.
Condición de terminación	Envío del mensaje.
Conversaciones	Ofertar producto, Demandar producto, Negociar producto, Solicitar información.
Descripción	El agente que envía la aceptación, informa al receptor que realizará la acción solicitada una vez se den las condiciones necesarias.

E.0.17. Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp

Tabla E.2: Modelo de comunicación: Call for Proposal - cfp [16, pág. 6]

Call for Proposal - cfp.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Comunicar el inicio de un proceso de negociación e inducir el envío de propuestas para llevarla a cabo.
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	La acción propuesta y una proposición que describe las condiciones necesarias para llevar a cabo dicha acción.
Precondición	Comunicación entre los agentes participantes.
Condición de terminación	Recepción de un propuesta o sobrepaso del tiempo límite de espera.
Conversaciones	Demandar producto, ofertar producto.
Descripción	Normalmente el agente que responde a un ' <i>cfp</i> ' debe contestar con una proposición que indica el valor del parámetro solicitado como precondición a fin de acordar una negociación.

E.0.18. Modelo de comunicación: inform

Tabla E.3: Modelo de comunicación: inform [16, pág. 10]

inform.	
Tipo	Declarativo.
Objetivo	Informar sobre una proposición que se asegura es verdadera (puede darse como respuesta a una pregunta anterior).
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	Una proposición.
Precondición	Comunicación entre los agentes.
Condición de terminación	Envío del mensaje.
Conversaciones	Ofertar producto, Demandar producto, Negociar producto, Solicitar información.
Descripción	<p>Indica que el agente que envía:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supone la proposición enviada como cierta, • Cree que el agente receptor también supone la proposición como cierta y, • No cree que el agente receptor conoce la veracidad de la proposición. • Las dos propiedades anteriores implican que: El agente que envía es sincero; y tiene la intención de que el receptor conozca la proposición (posiblemente en respuesta a una pregunta anterior). <p>Desde el punto de vista del receptor implica que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El agente que envía cree en la veracidad de la proposición y, • Quiere que el receptor también esté al tanto de dicha veracidad. <p>Que el receptor reconozca la veracidad de la proposición, estará en función de la confianza que tenga en el emisor.</p>

E.0.19. Modelo de comunicación: not-understood

Tabla E.4: Modelo de comunicación: not-understood [16, pág. 14]

not-understood.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Informar que un acto de habla recibido con anterioridad, no lo pudo entender.
Agentes participantes	Cualquier agente.
Iniciador	Cualquier agente.
Datos intercambiados	La acción o evento recibido (por ejemplo un acto comunicativo) y una explicación.
Precondición	Envío de un acto de habla.
Condición de terminación	Envío del mensaje.
Conversaciones	Ofertar producto, Demandar producto, Negociar producto, Solicitar información.
Descripción	El emisor del acto comunicativo ' <i>not-understood</i> ', es un agente que recibió previamente un acto comunicativo que no logró entender. Puede ocurrir porque estaba esperando un mensaje diferente o porque no fue diseñado para entender cierto tipo de actos comunicativos [16].

E.0.20. Modelo de comunicación: propose

Tabla E.5: Modelo de comunicación: propose [16, pág. 18]

propose.	
Tipo	Declarativo.
Objetivo	Declarar una propuesta o responder una anterior en un proceso de negociación.
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	La acción que se propone y una proposición que describe las precondiciones necesarias para ejecutarla satisfactoriamente.
Precondición	Comunicación ente los agentes.
Condición de terminación	Recepción de una respuesta frente a la propuesta o sobrepaso del tiempo límite de espera.
Conversaciones	Ofertar producto, Demandar producto, Negociar producto, Solicitar información.
Descripción	Se usa para proponer la ejecución de una acción bajo ciertas condiciones o responder una propuesta existente durante un proceso de negociación. El emisor le informa al receptor que el proponente tiene la intención de ejecutar una acción cuando las precondiciones se cumplan y el receptor le notifica al proponente de su intención de ejecutar la acción.

E.0.21. Modelo de comunicación: query-if

Tabla E.6: Modelo de comunicación: query-if [16, pág. 21]

query-IF.	
Tipo	Directivo.
Objetivo	Preguntar a otro agente si la proposición dada es verdadera.
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	Una proposición.
Precondición	Comunicación entre los agentes.
Condición de terminación	Recepción de la respuesta o sobrepaso del tiempo de espera.
Conversaciones	Ofertar producto, Demandar producto, Negociar producto, Solicitar información.
Descripción	El agente emisor le solicita al receptor informar sobre la veracidad de la proposición. El agente que envía el acto <i>query-if</i> : <ul style="list-style-type: none">• No tiene conocimiento sobre la veracidad de la proposición y,• Supone que el otro agente puede informar acerca de su veracidad.

E.0.22. Modelo de comunicación: refuse

Tabla E.7: Modelo de comunicación: refuse [16, pág. 23]

refuse.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Informar sobre la imposibilidad de ejecutar cierta acción solicitada.
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	La acción y una proposición que describe la razón por la cual se rechaza.
Precondición	Envío de un requerimiento.
Condición de terminación	Envío del mensaje.
Conversaciones	Negociar producto, Solicitar información.
Descripción	El acto ' <i>refuse</i> ' es enviado cuando un agente no consigue las precondiciones tanto implícitas como explícitas necesarias para ejecutar una acción. Por ejemplo el agente podría no saber algo sobre lo que se le solicitó información o no tener permisos suficientes para ejecutar una acción solicitada.

E.0.23. Modelo de comunicación: reject-proposal

Tabla E.8: Modelo de comunicación: reject-proposal [16, pág. 24]

reject-proposal.	
Tipo	Asertivo.
Objetivo	Rechazar una propuesta hecha por el agente destinatario.
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	La acción, una proposición que describe la proposición original que se rechaza y la razón del rechazo.
Precondición	Envío de una propuesta.
Condición de terminación	Envío del mensaje.
Conversaciones	Ofertar producto, Demandar producto, Negociar producto.
Descripción	El agente emisor le informa al receptor que no tiene la intención de ejecutar la acción propuesta bajo las condiciones dadas.

E.0.24. Modelo de comunicación: Request

Tabla E.9: Modelo de comunicación: Request [16, pág. 25]

request	
Tipo	Declarativo.
Objetivo	Solicitar al destinatario la ejecución de una acción.
Agentes participantes	Definido en el <i>MPA</i> .
Iniciador	Definido en el <i>MPA</i> .
Datos intercambiados	Una expresión de acción requerida.
Precondición	Comunicación entre los agentes.
Condición de terminación	Recepción de una respuesta respecto a la solicitud o sobrepaso del tiempo límite para recepción.
Conversaciones	Ofertar producto, Demandar producto, Negociar producto, Solicitar información.
Descripción	El emisor le solicita al receptor la ejecución de cierta acción. En el contenido del mensaje se describe la acción, en un lenguaje que el receptor entienda.

Apéndice F

Protocolos de conversación

F.0.25. Especificación de Conversaciones

Tabla F.1: Modelo de conversación: Solicitar información

Solicitar información.	
Objetivo	Solicitar a otro agente su concepto de veracidad sobre una preposición.
Agentes participantes	Agentes inteligentes
Iniciador	Operador de oferta, operador de demanda, operador de red de oferta, operador de red de demanda.
Actos de habla	FIPA query (Figura F.1).
Precondición	Fijadas por el MPA.
Condición de terminación	Fijadas por el MPA.
Descripción	El SAAB supone el registro y creación de los actores involucrados como usuarios activos del sistema, para lo cual es necesario solicitar información a los agentes que participan como oferentes o demandantes.

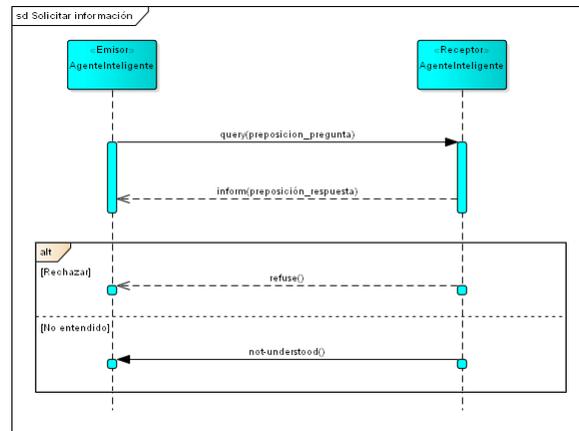


Figura F.1: Modelo de conversación: Solicitar información (Fuente: Este proyecto)

Tabla F.2: Modelo de conversación: Proponer acción (Fuente: Este proyecto)

Proponer acción	
Objetivo	Proponer a otro agente la ejecución de un MPA.
Agentes participantes	Agentes inteligentes.
Iniciador	Productor, Intermediario, Vendedor Final.
Actos de habla	FIPA Propose (Figura F.2).
Precondición	Fijadas por el MPA.
Condición de terminación	Fijado por el MPA.
Continúa en la siguiente página	

Tabla F.2: Modelo de conversación: Proponer acción
(Fuente: Este proyecto)

<p>Descripción</p>	<p>Interacción en la cual un agente solicita a otro ejecutar una actividad con propósito definido. Su finalidad es la ejecución de actividades de asociación entre productores y oferentes. Cuando un agente desea ejecutar una actividad que implica la participación de otro(s) agente(s), debe verificar su intención de participación. Mediante esta conversación es posible solicitar la colaboración de otros agentes en la ejecución de una actividad como por ejemplo conformar una nutried o comprar un producto.</p>
--------------------	--

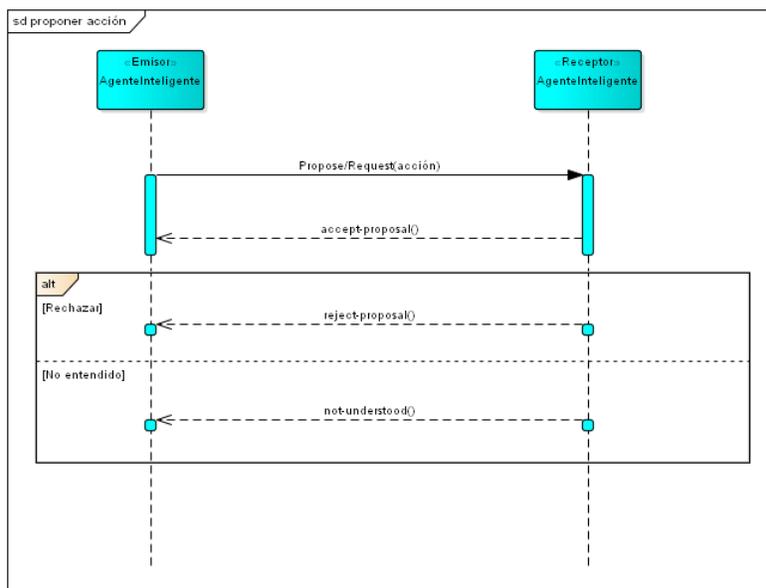


Figura F.2: Modelo de conversación: Proponer Acción (Fuente: Este documento)

Tabla F.3: Modelo de conversación: Solicitar propuesta comercial

Solicitar propuesta comercial	
Objetivo	Informar sobre la intención de compra o venta de un producto e intercambio comercial entre dos agentes.
Agentes participantes	Agentes Inteligentes.
Iniciador	Oferente, demandante.
Actos de habla	FIPA cfp (<i>call for proposals</i>) (Figura F.3)
Precondición	Fijadas por el MPA.
Condición de terminación	Fijado por el MPA.
Descripción	Los sistemas de actividad con propósito definido que involucran la comercialización de un producto, implican la transmisión de información sobre los productos ofrecidos y necesarios en un mercado específico. La transmisión de información puede ser atendida o no por los agentes que la reciben. En caso de ser atendida se inicia una negociación.

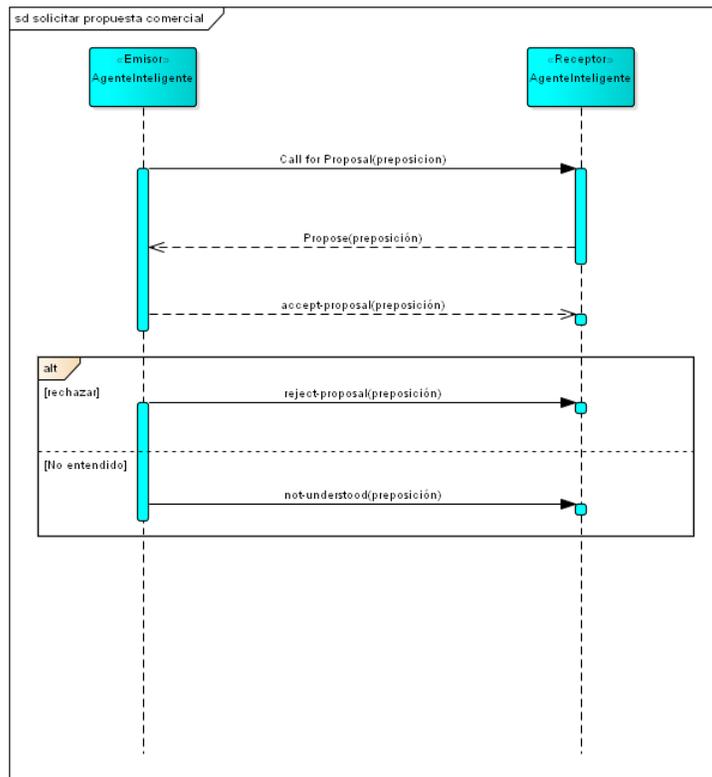


Figura F.3: Modelo de conversación: Solicitar propuesta comercial (Fuente: Este documento)

Apéndice G

Especificación de requerimientos del prototipo de simulación

ID	RF2
Nombre	Representar los actores involucrados en el abastecimiento alimentario de la ciudad de Bogotá incluidos en el modelo de simulación, como <i>agentes</i> de software.
Descripción	Los actores involucrados en el abastecimiento alimentario (identificados en la conceptualización y planteados como parte del modelo de simulación), deben ser representados en el sistema como una entidad autónoma (agente) para los propósitos de la simulación.
Prioridad	Alta.

ID	RF3
Nombre	Representar como agentes inteligentes los actores del sistema de abastecimiento en el alcance del prototipo.
Descripción	Los actores: demandante, oferente, operador de red de demanda y operador de red de oferta, así como los roles productor, intermediario y vendedor deben ser representados como agentes inteligentes en el sistema, capaces de ejecutar actividades con propósito definido para tomar decisiones y evaluar la experiencia adquirida en futuras oportunidades.
Prioridad	Alta.
ID	RF4
Nombre	Representar como agentes reactivos los actores del sistema de abastecimiento no incluidos en el alcance del prototipo.
Descripción	Los actores: operador logístico, S.I.-SAAB y consumidor deben ser representados como agentes reactivos en el sistema, capaces de generar una salida predefinida ante una entrada ca.
Prioridad	Media.
ID	RF5
Nombre	Representar el ambiente geográfico de regiones del primer anillo, dónde se ubica la producción y abastecimiento de 'Cebolla de Bulbo' hacia la ciudad de Bogotá.
Descripción	La mayor parte del abastecimiento de Cebolla de Bulbo a la ciudad de Bogotá proviene de los municipios que integran el primer anillo de abastecimiento. Se requiere que el software muestre una representación gráfica de tales locaciones respecto a la ciudad de Bogotá que permita visualizar los flujos de abastecimiento del producto.
Prioridad	Alta.

ID	RF6
Nombre	Registrar las ofertas y demandas unitarias y/o consolidadas a través de órdenes de compra, pedido y/o servicio logístico, según sea el caso.
Descripción	El sistema debe permitir registrar ordenes de compra mediante las que se formalizan pedidos unitarios o consolidados del producto "cebolla de bulbo"... Origen del producto: Ubicación geográfica de producción del producto vendido Destino del producto: Valor Cantidad Precio unitario.
Prioridad	Alta.

ID	RF7
Nombre	Representar el comportamiento de los agentes inteligentes en conformidad con la especificación del modelo de simulación basado en agentes.
Descripción	El sistema debe incluir las cinco perspectivas definidas en el modelo: Agentes, tareas,inteligencia, coordinación y comunicación.
Prioridad	Alta.

ID	RF8
Nombre	Representar sistemas de actividad humana con propósito definido.
Descripción	El sistema debe representar los sistemas de actividad humana de forma tal que los agentes puedan ejecutarlos como planes de acción, garantizando la escalabilidad del modelo para adicionar nuevos MPA's (<i>Model of Purposeful activities</i>) en el futuro.
Prioridad	Alta.

ID	RF9
Nombre	Guardar información sobre la trazabilidad de los productos involucrados en la simulación.
Descripción	Con el fin de llevar a cabo comparaciones entre los diferentes flujos de abastecimiento del producto, es necesario registrar su trazabilidad desde el momento en que sale al mercado (por parte del agente productor) hasta su llegada al lugar de venta final.
Prioridad	Alta.
ID	RF10
Nombre	Implementar y adaptar los procedimientos de “razonamiento” de los agentes.
Descripción	El sistema debe incluir los procedimientos de razonamiento definidos para cada agente en el modelo de simulación.
Prioridad	Alta.
ID	RF11
Nombre	Implementar el aprendizaje por experiencia de los agentes.
Descripción	El modelo de simulación requiere la persistencia de ciertos datos recolectados por los agentes en tiempo de ejecución que posteriormente son usados en la toma de decisiones. Se requiere una estrategia de persistencia que permita a los agentes consultar información histórica relevante para sus acciones.
Prioridad	Media.
ID	RF12
Nombre	Configurar parámetros de simulación
Descripción	La simulación debe recibir como parámetros: El número de vendedores finales por plaza, número de productores por centro urbano (pueblo) y número de intermediarios por municipio. Estos valores podrán ser definidos por el usuario.
Prioridad	Media.

ID	RF13
Nombre	Proveer controles de ejecución de la simulación.
Descripción	El prototipo debe proveer al usuario controles que le permitan iniciar, pausar y detener la ejecución de la simulación durante los ciclos de ejecución.
Prioridad	Alta.

ID	RF14
Nombre	Implementar un mecanismo de ciclos de tiempo discreto como método de coordinación.
Descripción	El sistema debe contar con un mecanismo que maneje ciclos de tiempo de ejecución discretos, en concordancia con la estrategia de coordinación definida para el modelo de simulación.
Prioridad	Alta.

G.0.26. Requerimientos no funcionales

ID	RNF1
Nombre	Portabilidad
Descripción	Con el fin de permitir la ejecución de la simulación a cualquier usuario interesado, es necesario que el sistema sea ejecutable sobre sistemas operativos Unix, Linux y Windows.
Prioridad	Media.

ID	RNF2
Nombre	Escalabilidad
Descripción	La versión inicial del modelo de simulación que implementa el sistema es escalable, lo cual implica la necesidad de poder incluir futuras modificaciones de forma incremental.
Prioridad	Alta.

Apéndice H

Especificación de casos de uso

H.1. Inicializar el entorno de simulación

Caso de Uso	CU2: Inicializar el entorno de simulación.
Descripción	Permite al usuario especificar el momento en que desea cargar el estado inicial del entorno de simulación.
Pre-condición	Ejecutar ("abrir") el programa de simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Error al inicializar el entorno de simulación.
Condición de éxito	inicialización exitosa del entorno de simulación.

Tabla H.1: Caso de uso: Inicializar el entorno de simulación

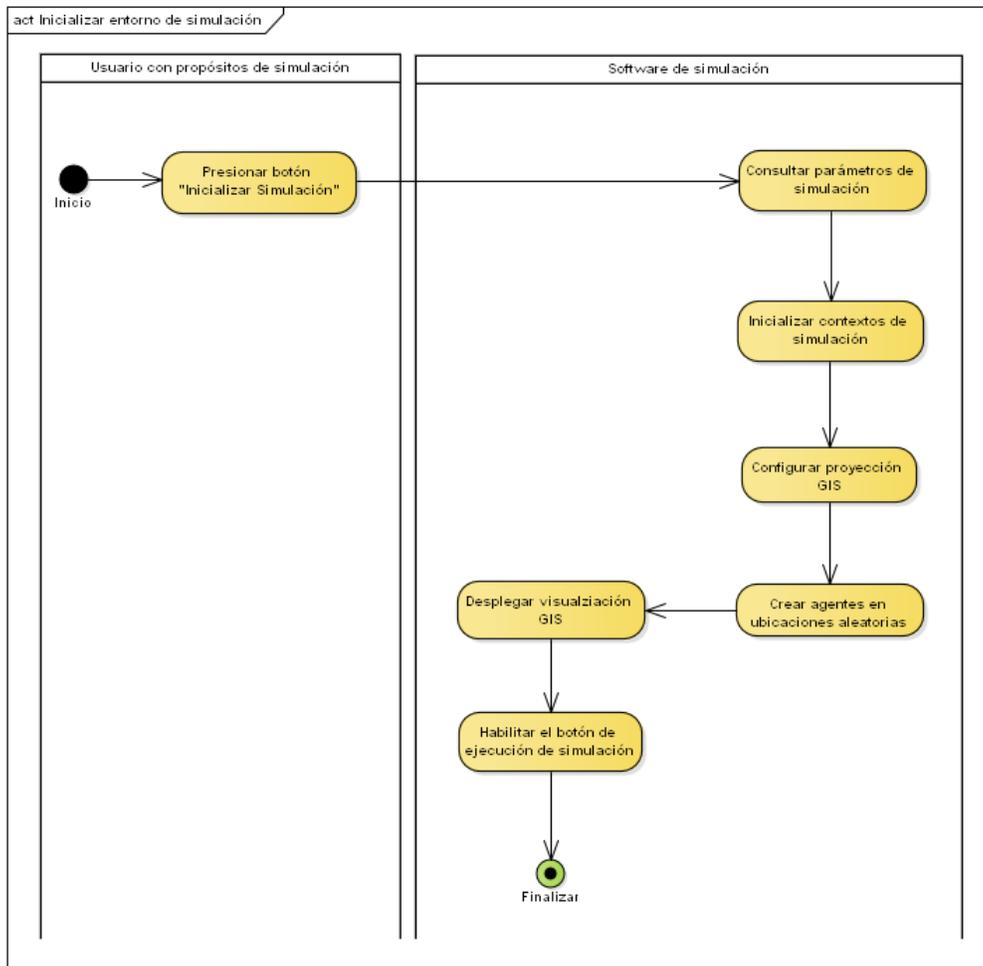


Figura H.1: Especificación del caso de uso: Inicializar el entorno de simulación (Fuente: Este proyecto)

H.2. Ejecutar simulación

Caso de Uso	CU3: Ejecutar simulación.
Descripción	Permite al usuario iniciar la simulación de interacción de actores del SAAB. Cuando la simulación no es inicializada antes de ser ejecutada, el sistema primero la inicializa (CU2) automáticamente.
Pre-condición	Ejecutar ("abrir") el programa de simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Error al ejecutar la simulación.
Condición de éxito	Ejecución exitosa del modelo de simulación.

Tabla H.2: Caso de uso: Ejecutar simulación

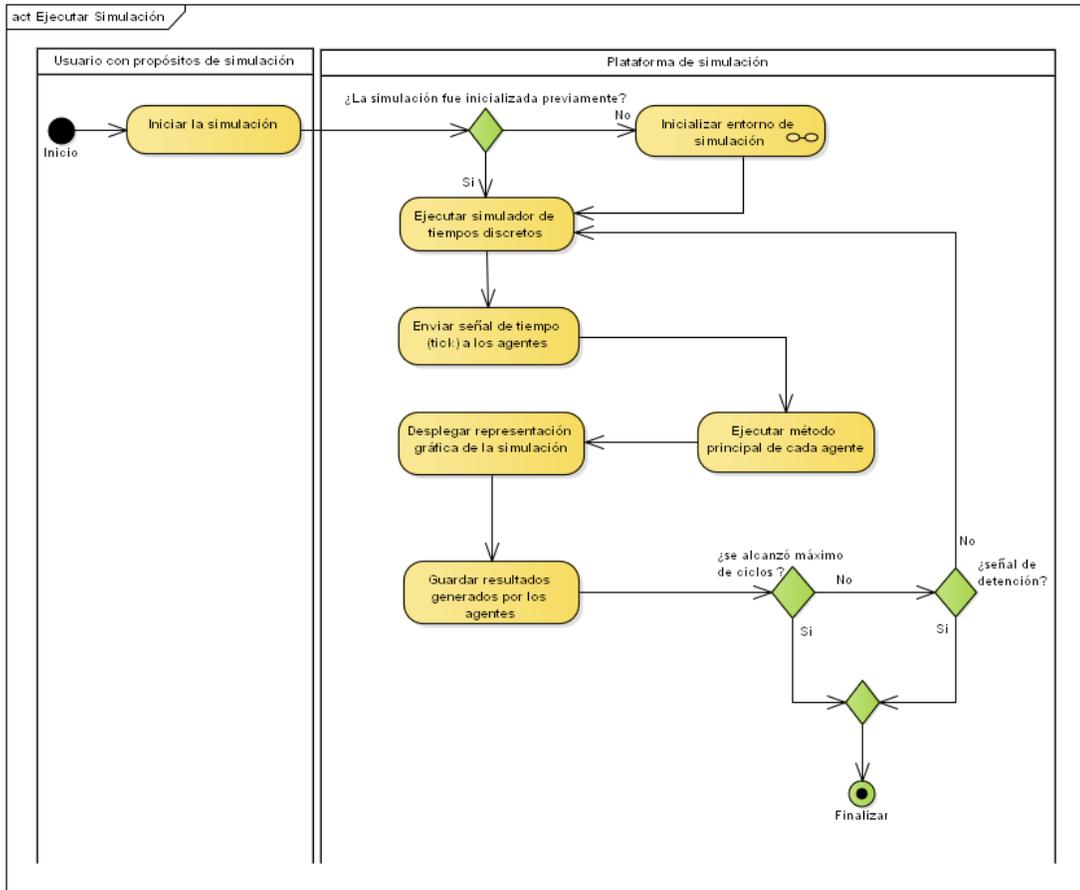


Figura H.2: Especificación del caso de uso: Ejecutar simulación (Fuente: Este proyecto)

H.3. Detener simulación

Caso de Uso	CU4: Detener simulación.
Descripción	Permite al usuario detener la simulación de interacción de actores del SAAB, una vez se completa el ciclo de ejecución en curso. Para volver a ejecutar la simulación, el modelo debe ser inicializado nuevamente.
Pre-condición	Ejecución del modelo de simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Error al detener la simulación.
Condición de éxito	Detención de la simulación.

Tabla H.3: Caso de uso: Detener simulación

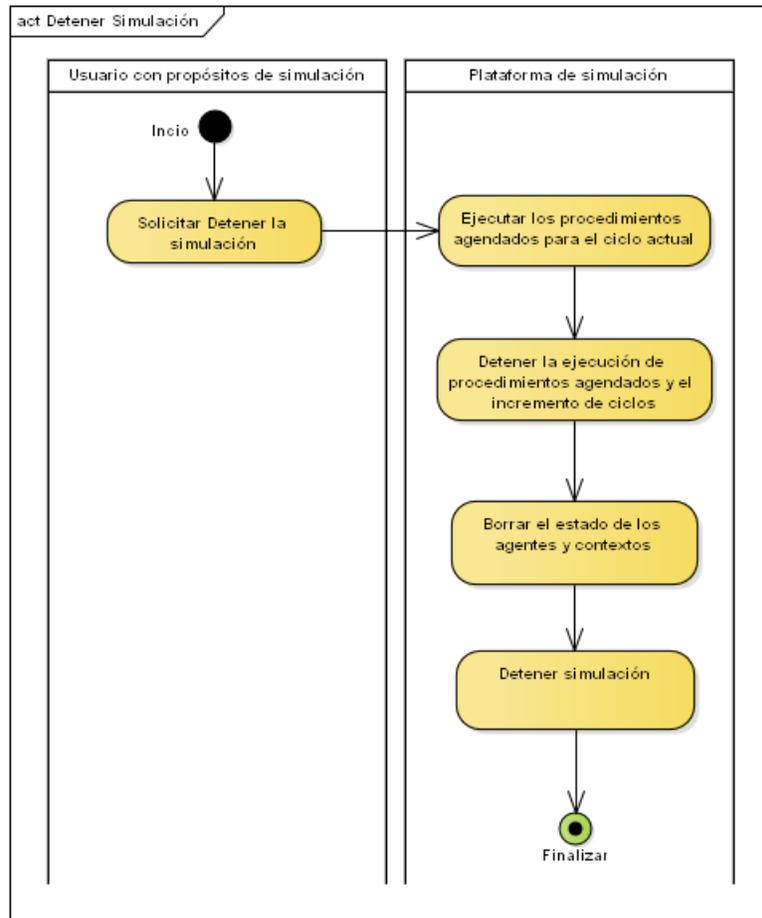


Figura H.3: Especificación del caso de uso: Detener simulación (Fuente: Este proyecto)

H.4. Pausar simulación

Caso de Uso	CU5: Pausar simulación.
Descripción	Permite al usuario pausar la simulación de interacción de actores del SAAB, una vez se completa el ciclo de ejecución en curso. Debe permitir iniciar nuevamente la ejecución de la simulación desde el estado en que se encontraba al momento de la interrupción.
Pre-condición	Ejecución del modelo de simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Error al pausar la simulación.
Condición de éxito	Pausa de la simulación.

Tabla H.4: Caso de uso: Pausar simulación

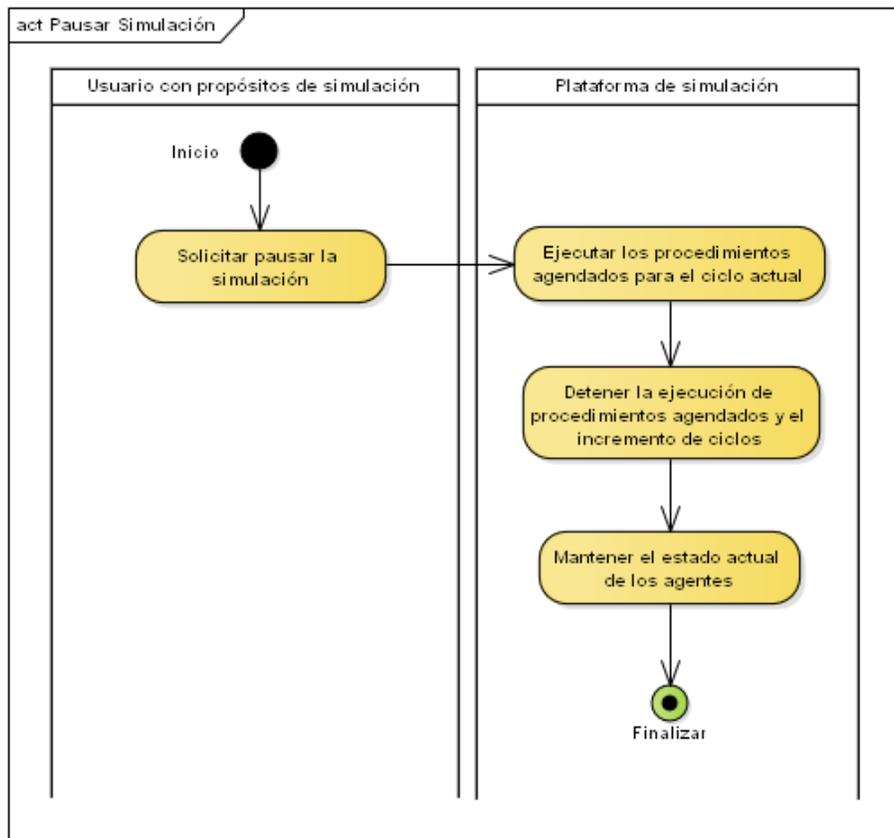


Figura H.4: Especificación del caso de uso: Pausar simulación (Fuente: Este proyecto)

H.5. Ejecutar el modelo de simulación

Caso de Uso	CU6: Ejecutar el modelo de simulación.
Descripción	Cuando el usuario inicia la simulación se ejecuta el modelo basado en agentes que emula la interacción de los actores en el sistema de abastecimiento planteado en el SAAB.
Pre-condición	Inicio de la simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Ausencia de datos sobre abastecimiento alimentario y comportamiento de los agentes.
Condición de éxito	Registro de datos sobre abastecimiento alimentario y comportamiento de los agentes.

Tabla H.5: Caso de uso: Ejecutar el modelo de simulación

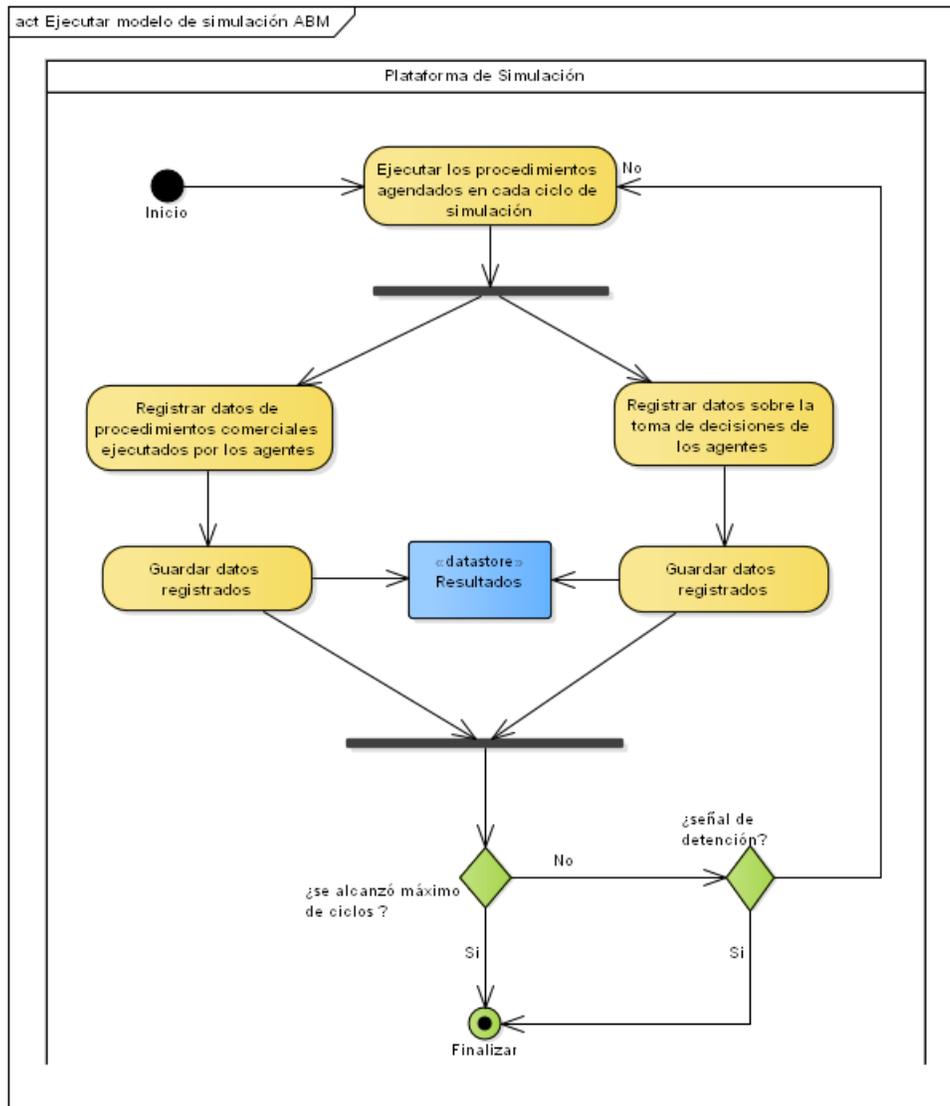


Figura H.5: Especificación del caso de uso: Ejecutar el modelo de simulación (Fuente: Este proyecto)

H.6. Visualizar representación gráfica de la simulación

Caso de Uso	CU7: Visualizar representación gráfica de la simulación.
Descripción	El comportamiento de los agentes del modelo de simulación y su interacción con su entorno debe ser desplegado gráficamente de forma que sea posible identificar patrones y otras características emergentes en tiempo de ejecución.
Pre-condición	Inicio de la simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Ausencia de representación gráfica clara del comportamiento simulado en tiempo de ejecución.
Condición de éxito	Despliegue exitoso de la representación gráfica del comportamiento simulado de los agentes.

Tabla H.6: Caso de uso: Visualizar representación gráfica de la simulación

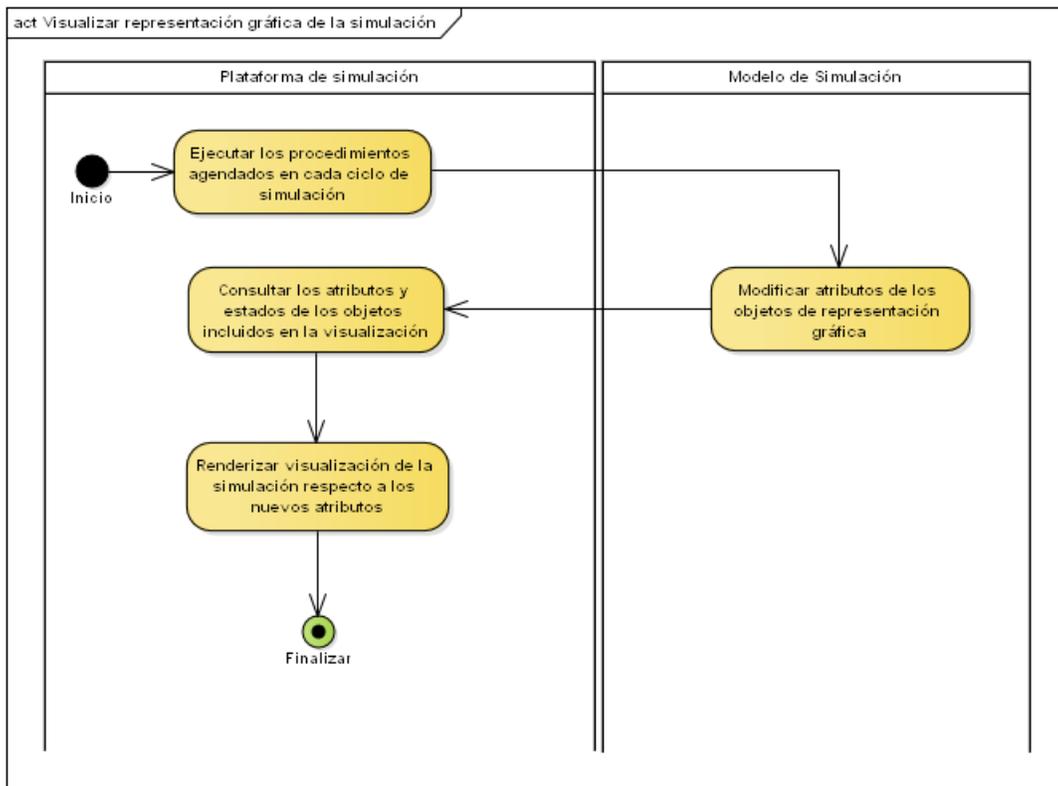


Figura H.6: Especificación del caso de uso: Visualizar representación gráfica de la simulación (Fuente: Este proyecto)

H.7. Guardar resultados

Caso de Uso	CU8: Guardar resultados.
Descripción	La información generada por la simulación de los procesos de abastecimiento alimentario a Bogotá, debe ser registrada en algún medio persistente (Base de datos o archivos planos) para ser visualizados por los usuarios de la herramienta.
Pre-condición	Inicio de la simulación.
Actores	Usuario con propósitos de simulación.
Condición de fracaso	Ausencia de datos de simulación persistentes.
Condición de éxito	Guardado exitoso de datos de simulación.

Tabla H.7: Caso de uso: Guardar resultados

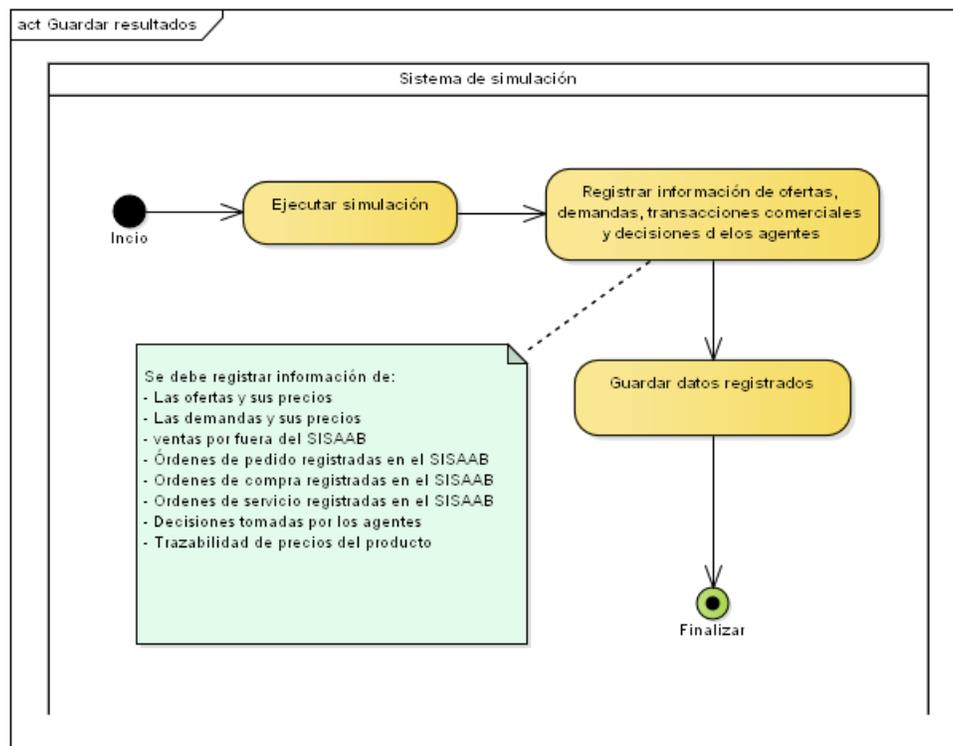


Figura H.7: Especificación del caso de uso: Guardar resultados (Fuente: Este proyecto)

Apéndice I

Especificación comportamental mediante diagramas de secuencia

I.1. Modificar parámetros de simulación

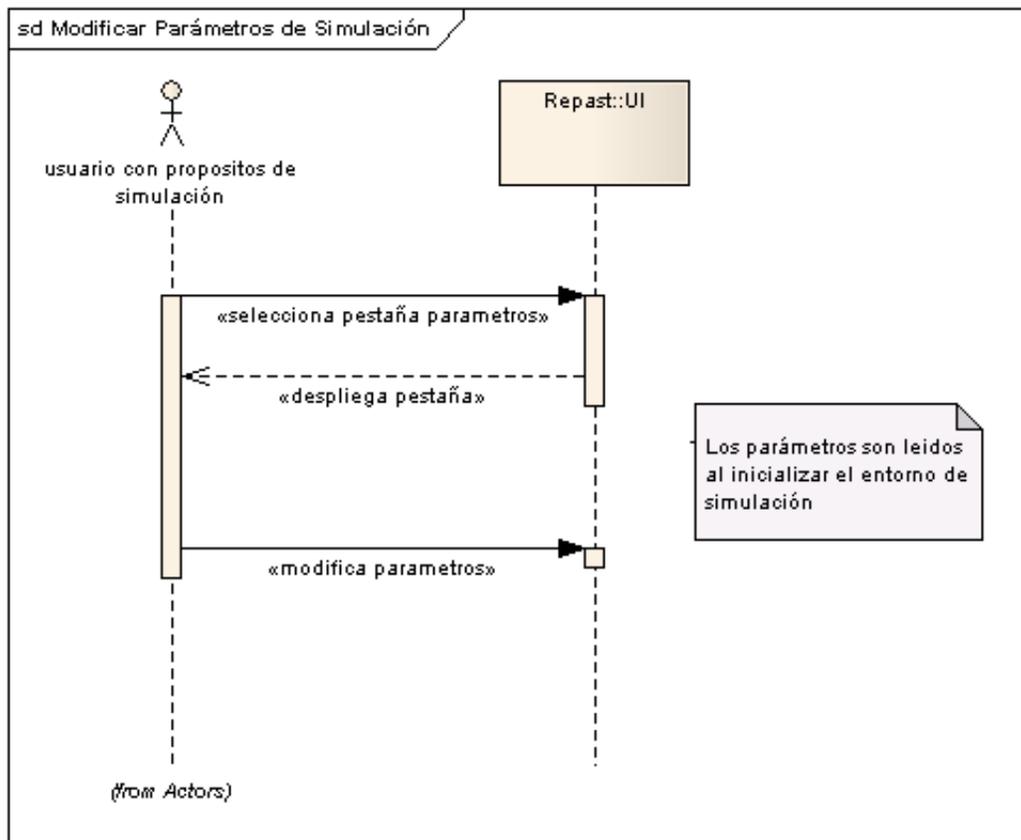


Figura I.1: Diagrama de secuencia: Modificar parámetros de simulación (Fuente: Este proyecto)

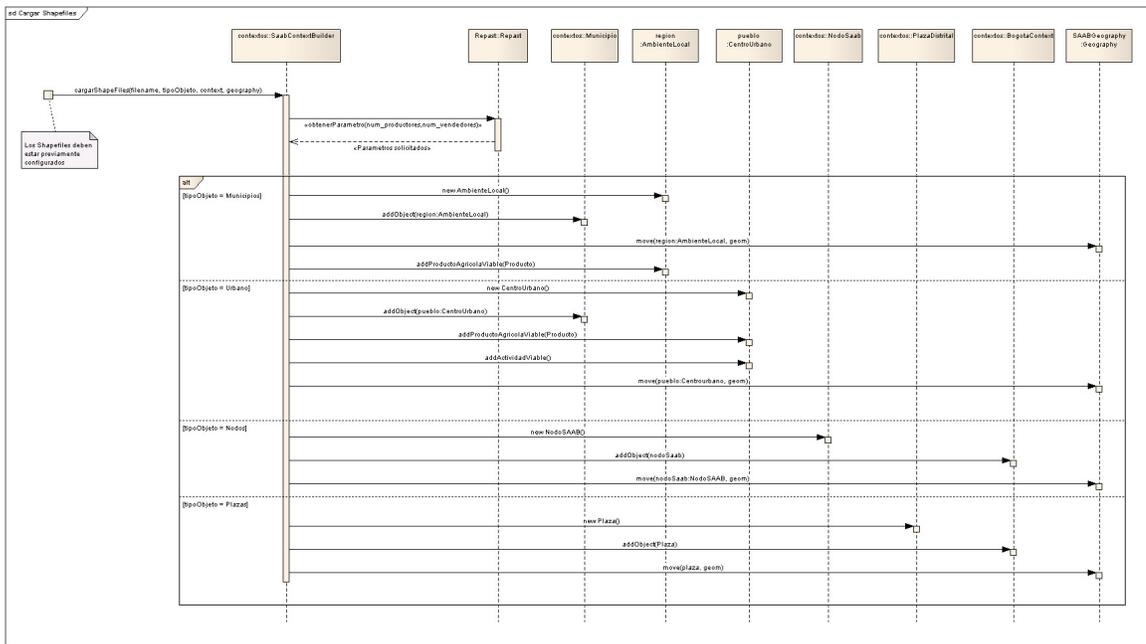


Figura I.2: Diagrama de secuencia: Cargar shapefiles (Fuente: Este proyecto)

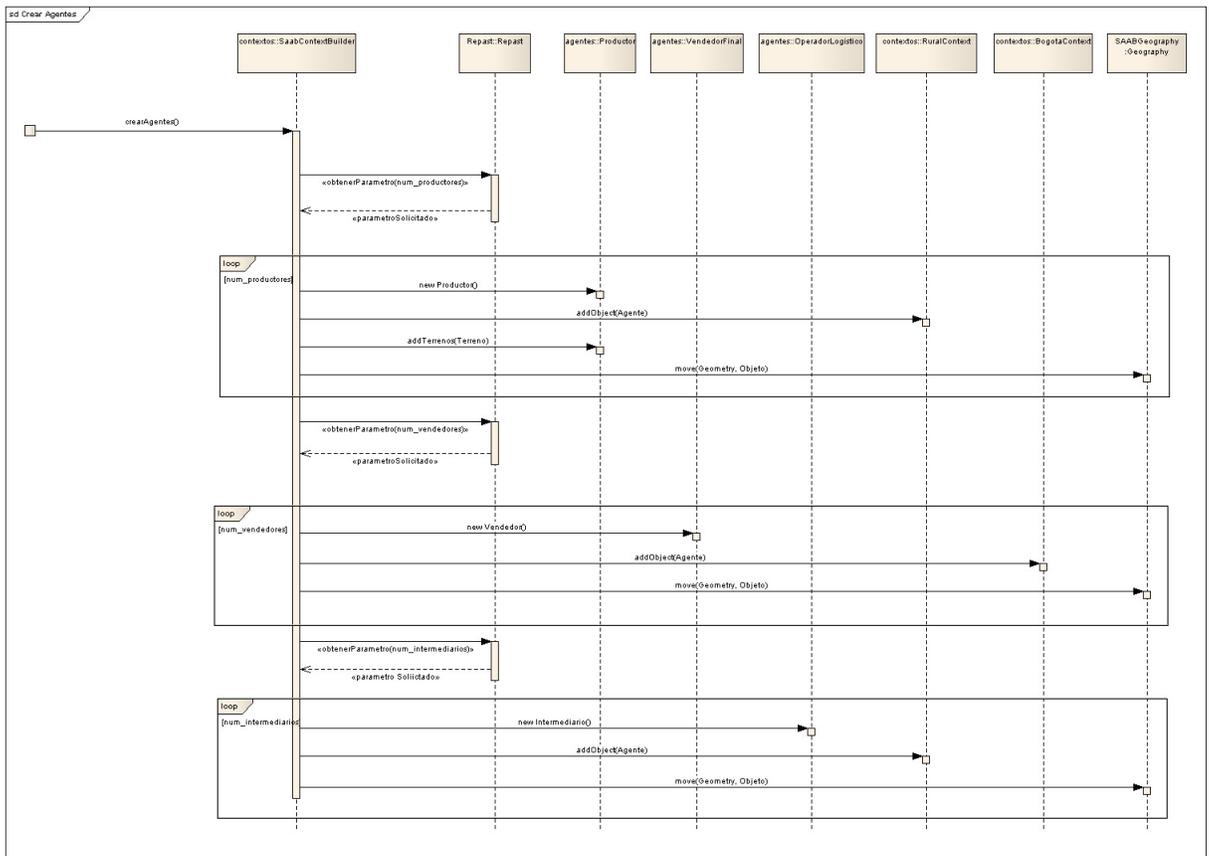


Figura I.3: Diagrama de secuencia: Crear agentes (Fuente: Este proyecto)

I.2. Ejecutar simulación

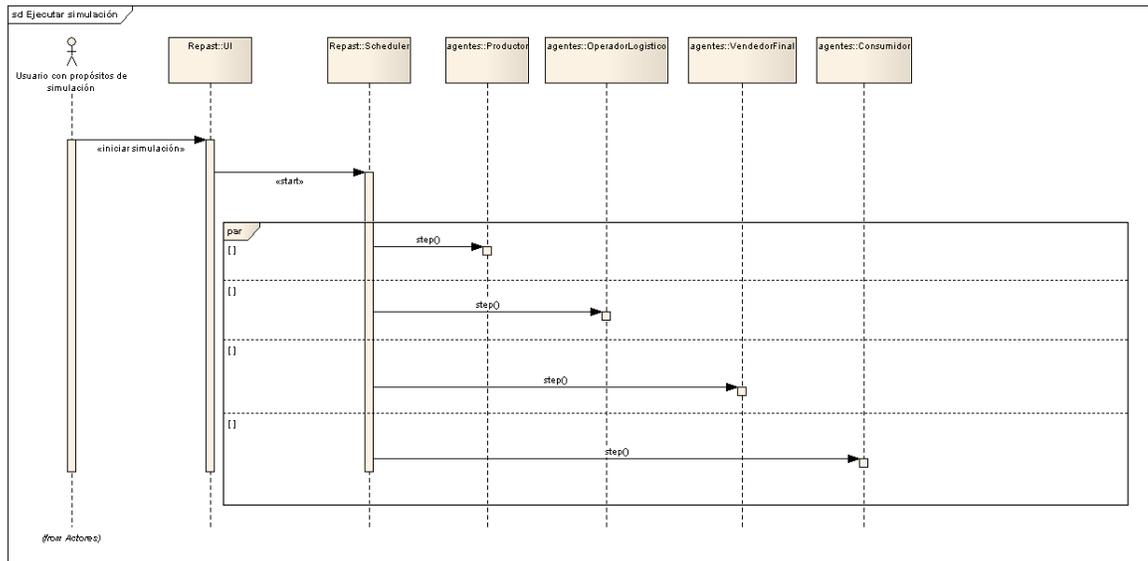


Figura I.4: Diagrama de secuencia: Ejecutar simulación (Fuente: Este proyecto)

I.3. Ejecutar modelo de simulación

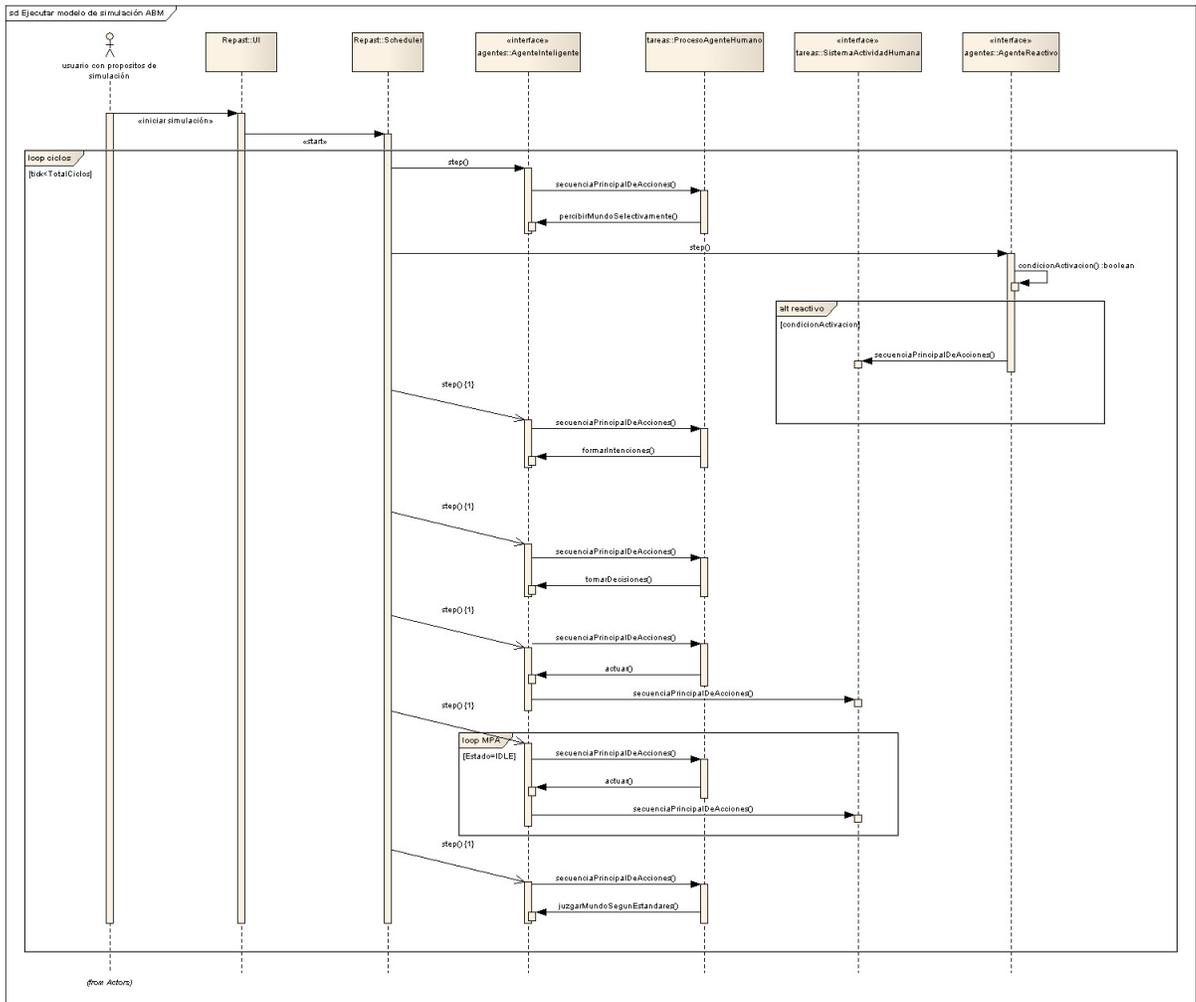


Figura I.5: Diagrama de secuencia: Ejecutar modelo de simulación (Fuente: Este proyecto)

I.4. Visualizar representación gráfica de la simulación

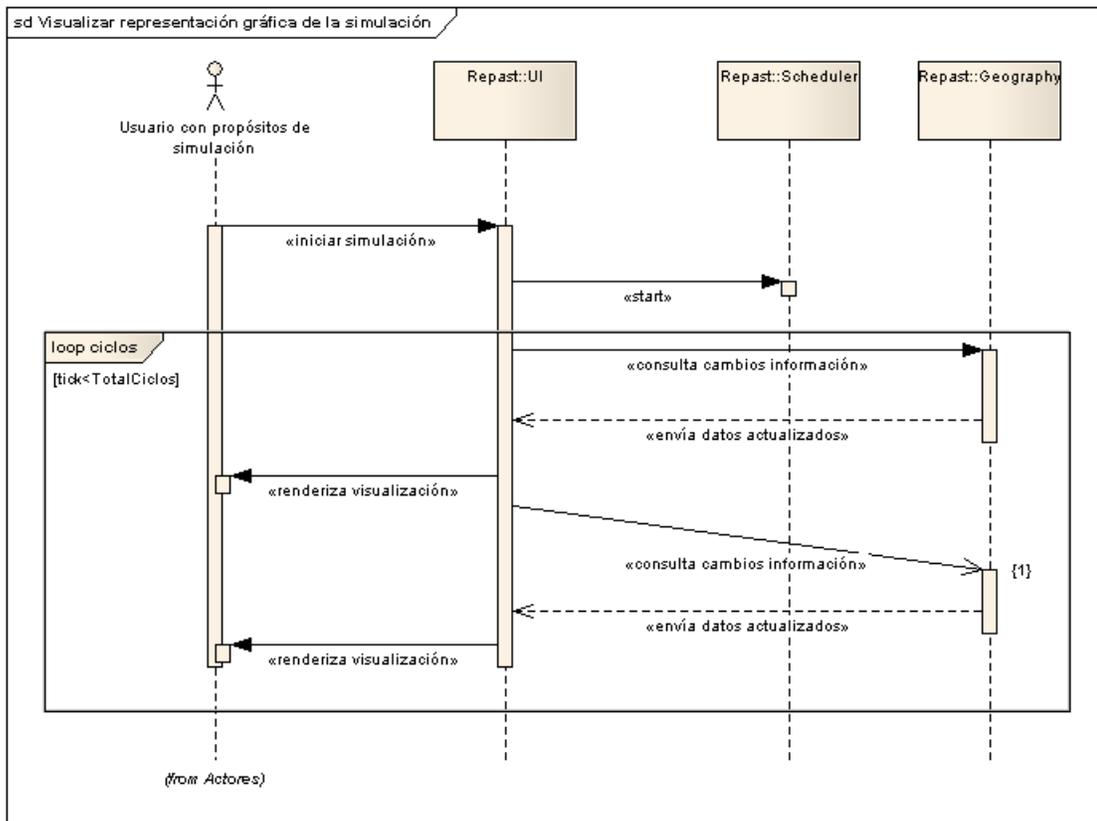


Figura I.6: Diagrama de secuencia: Visualizar representación gráfica de la simulación (Fuente: Este proyecto)

I.5. Pausar simulación

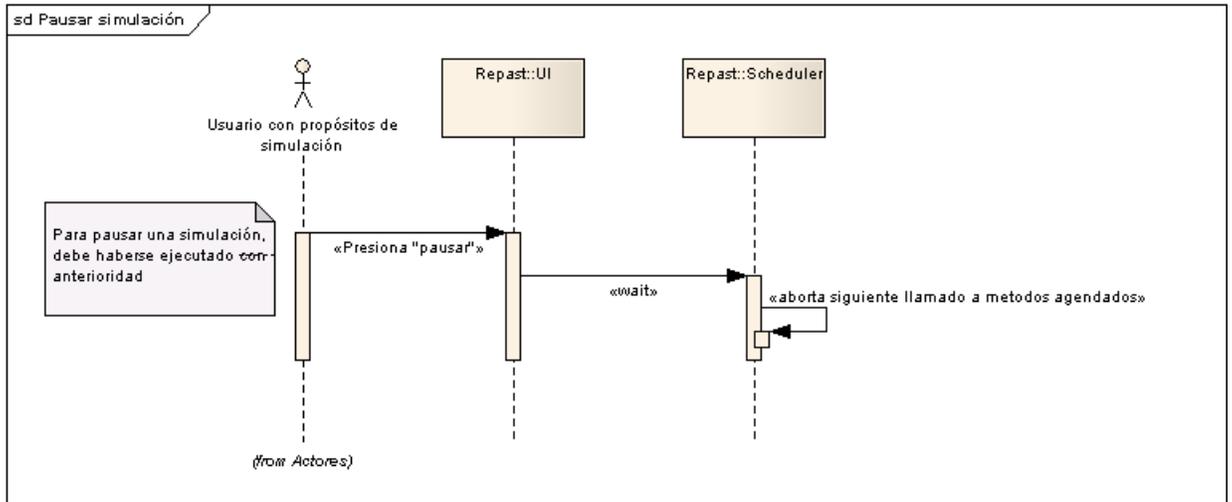


Figura I.7: Diagrama de secuencia: Pausar simulación (Fuente: Este proyecto)

I.6. Detener simulación

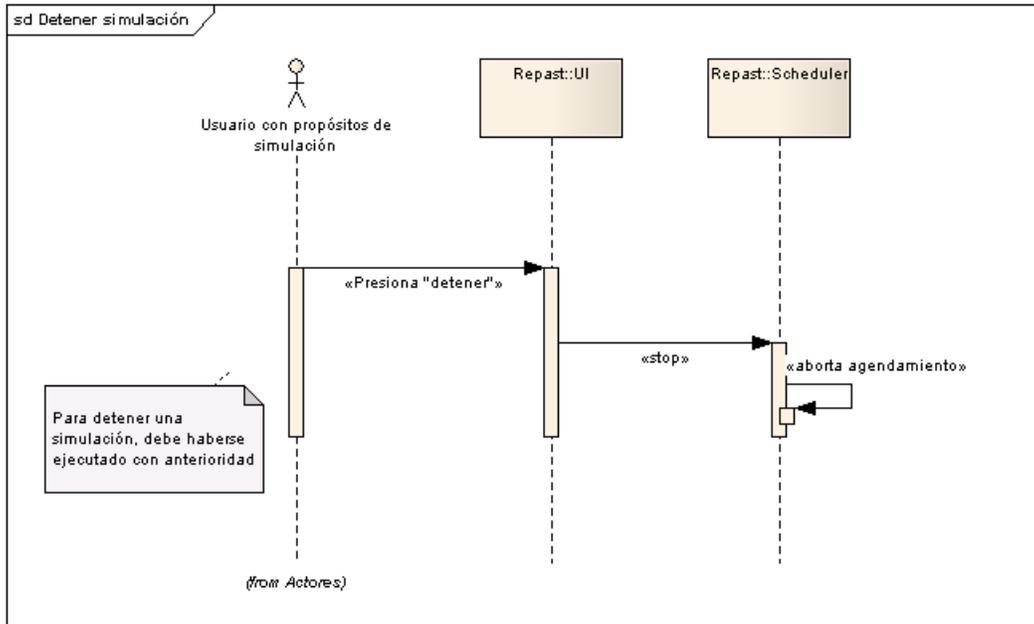


Figura I.8: Diagrama de secuencia: Detener simulación (Fuente: Este proyecto)

Apéndice J

Plan de pruebas del prototipo de simulación

A continuación se presentan los casos de prueba ejecutados para corroborar la correcta ejecución de las funcionalidades expuestas en los casos de uso y requerimientos funcionales

J.1. Catálogo de pruebas

Tabla J.1: Caso de prueba P01

No.	P01
Nombre	Comprobar la ejecución de cambios en los parámetros de la simulación
Requerimientos Asociados	RF12 Configurar parámetros de simulación
Casos de Uso Asociados	CU1 Modificar parámetros de simulación
Objetivo	Cambiar los parámetros configurados por defecto que se usan al iniciar la simulación. Incluye la cantidad de ciclos de tiempo a ejecutar, la semilla para números aleatorios y el número de agentes a incluir en la simulación.

Continúa en la siguiente página

Tabla J.1: Caso de prueba P01

Precondición	Programa de simulación abierto
Procedimiento	T1: Verificar que los parámetros ciclos de tiempo a ejecutar, semilla para números aleatorios y número de agentes a incluir en la simulación, se muestren para ser diligenciados. T2: Diligenciar campos
Resultado Esperado	1. La aplicación permita ingresar los datos para cada uno de los parámetros. 2. Los campos sean de tipo numérico
Resultado Obtenido	Se verifica la posibilidad de cambiar los parámetros de simulación: ciclos de tiempo a ejecutar, semilla para números aleatorios y número de agentes a incluir en la simulación.

Tabla J.2: Caso de prueba P02

No.	P02
Nombre	Comprobar inicialización de la simulación
Requerimientos Asociados	RF1: Emular ambiente de simulación RF5: Emular ambiente geográfico
Casos de Uso Asociados	CU2: Inicializar el entorno de simulación.
Objetivo	Comprobar la inicialización del entorno de simulación y la validación de los parámetros de la misma.
Precondición	Programa de simulación abierto y parámetros de simulación modificados
Procedimiento	T1: Inicializar simulación sin cambiar los parámetros de simulación. T2: Inicializar simulación tras cambiar los parámetros de simulación con valores incorrectos. T3: Inicializar simulación tras cambiar los parámetros de simulación con valores correctos.
	1. Inicialización de los contextos de simulación

Continúa en la siguiente página

Resultado Esperado

Tabla J.2: Caso de prueba P02

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Configuración de la proyección GIS 3. Creación de agentes en ubicaciones aleatorias 4. Despliegue de la visualización del GIS 5. Botón de ejecución de la simulación habilitado 6. Despliegue de mensaje de error de los parámetros e inicialización de la simulación con valores por defecto, en el caso de la T2
Resultado Obtenido	Para el caso de T1 y T3 la simulación inicializa conforme a lo esperado. Para el caso T2, la herramienta despliega la excepción de configuración inválida e impide la inicialización de la simulación.

Tabla J.3: Caso de prueba P03

No.	P03
Nombre	Comprobar ejecución de la simulación y el modelo.
Requerimientos Asociados	RF1: Emulación del ambiente transaccional para el producto "cebolla de bulbo" RF9: Guardar información sobre la trazabilidad de los productos involucrados en la simulación
Casos de Uso Asociados	CU3: Ejecutar simulación CU6: Ejecutar el modelo de simulación CU7: Visualizar representación gráfica de la simulación
Objetivo	Comprobar la funcionalidad que permite al usuario ejecutar la simulación y la ejecución automática del modelo de simulación
Precondición	Programa de simulación abierto
Procedimiento	T1: Iniciar la simulación, tras haber inicializado la simulación previamente T2: Iniciar la simulación, sin haber inicializado la simulación previamente
	1. Ejecución de simulación en tiempos discretos
Continúa en la siguiente página	

Resultado Esperado

Tabla J.3: Caso de prueba P03

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Despliegue gráfico de la simulación 3. Resultados de la simulación almacenados 4. Ejecución del modelo de simulación (procedimientos definidos para cada uno de los agentes) 5. Visualización del comportamiento e interacción de los agentes en ambiente gráfico 6. En el caso de T2, inicialización de la simulación
Resultado Obtenido	Se comprueba la funcionalidad para los dos casos planteados: habiendo inicializado la simulación previamente y sin haber sido inicializada.

Tabla J.4: Caso de prueba P04

No.	P04
Nombre	Comprobar detención de la simulación
Requerimientos Asociados	RF13: Proveer controles de ejecución
Casos de Uso Asociados	CU4: Detener simulación
Objetivo	Comprobar la detención de la simulación a través de una instrucción del usuario, una vez se completa el ciclo de ejecución en curso
Precondición	Modelo de simulación en ejecución
Procedimiento	T1: Detener una simulación en curso
Resultado Esperado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Finalización del ciclo actual 2. Detención de la simulación 3. Borrado del estado de los agentes y contextos
Resultado Obtenido	Se solicita la detención la simulación en los ciclos 600 y 1000, haciendo uso del botón destinado para tal fin. Como resultado la simulación es detenida, los datos son almacenados para consulta y es posible iniciar nuevamente la simulación desde el ciclo 0.

Tabla J.5: Caso de prueba P05

No.	P05
Nombre	Comprobar pausa de la simulación
Requerimientos Asociados	RF13: Proveer controles de ejecución
Casos de Uso Asociados	CU5: Pausar simulación
Objetivo	Comprobar que una simulación en curso pueda ser pausada
Precondición	Modelo de simulación en ejecución
Procedimiento	T1:Pausar la simulación en curso
Resultado Esperado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Finalización del ciclo actual 2. Detención de la simulación 3. Mantener el estado de los agentes y contextos
Resultado Obtenido	Se solicita pausar la simulación en los ciclos 100, 500 y 1000, haciendo uso del botón destinado para tal fin. Como resultado, la simulación es detenida, los datos son almacenados para consulta y es posible reanudarla simulación desde el ciclo actual.

Tabla J.6: Caso de prueba P06

No.	P06
Nombre	Comprobar la representación de los actores del SAAB
Requerimientos Asociados	<p>RF2: Representar los actores involucrados en el abastecimiento alimentario de la ciudad de Bogotá incluidos en el modelo de simulación, como agentes de software</p> <p>RF3: Representar como agentes inteligentes los actores del sistema de abastecimiento en el alcance del prototipo</p> <p>RF4: Representar como agentes reactivos los actores del sistema de abastecimiento no incluidos en el alcance del prototipo</p>

Continúa en la siguiente página

Tabla J.6: Caso de prueba P06

Casos de Uso Asociados	CU6: Ejecutar el modelo de simulación ABM CU3: Ejecutar simulación
Objetivo	Comprobar la representación de los actores del sistema de abastecimiento alimentario mediante agentes de software
Precondición	Modelo de simulación en ejecución
Procedimiento	T1: Identificar cada uno de los actores como agente dentro de la simulación T2: Verificar la interacción entre los agentes
Resultado Esperado	1. Todos los actores del SAAB representados por al menos un agente 2. Los actores en el alcance representados como agentes inteligentes 3. Los actores que no se encuentran en el alcance representados como agentes reactivos
Resultado Obtenido	Se evidencia en el entorno gráfico de la simulación la representación de los agentes productor, intermediario, vendedor final/demandante y consumidor por medio de íconos, así como la interacción entre los mismos más los agentes reactivos operador logístico y SISAAB en los resultados finales.

Tabla J.7: Caso de prueba P07

No.	P07
Nombre	Comprobar la representación gráfica del ambiente geográfico en el que se ejecuta el modelo.
Requerimientos Asociados	RF5: Representar el ambiente geográfico de regiones del primer anillo, dónde se ubica la producción y abastecimiento de 'Cebolla de Bulbo' hacia la ciudad de Bogotá.
Casos de Uso Asociados	CU6: Ejecutar el modelo de simulación CU3: Ejecutar simulación

Continúa en la siguiente página

Tabla J.7: Caso de prueba P07

	CU7: Visualizar representación gráfica de la simulación
Objetivo	Comprobar la representación geográfica de los municipios que componen el primer anillo de de producción, la ciudad de Bogotá y los puntos de oferta y demanda del producto.
Precondición	Modelo de simulación en ejecución
Procedimiento	T1: Identificar en la simulación los municipios que hacen parte del primer anillo, en los cuales se produce cebolla de bulbo. T2: Identificar en la simulación la ciudad de Bogotá. T3: Identificar en la simulación las plazas distritales. T4: Identificar visualmente el flujo de abastecimiento del producto a la ciudad de Bogotá.
Resultado Esperado	1. Todos los municipios visibles graficamente durante la ejecución de la simulación 2. La ciudad de Bogotá visible graficamente durante la ejecución de la simulación 3. Las plazas distritales visibles graficamente durante la ejecución de la simulación 4. Visualizar el flujo de abastecimiento graficamente durante la ejecución de la simulación
Resultado Obtenido	Se evidencia la representación de la ciudad de Bogotá, los municipios en el primer anillo que producen cebolla de bulbo y las plazas distritales en el entorno gráfico de simulación. Mediante el archivo <code>coorMap.txt</code> se evidencia que fue creada una representación de la red vial para el transporte de productos.

Tabla J.8: Caso de prueba P08

No.	P08
Nombre	Comprobar el registro de ofertas y demandas en órdenes de compra, órdenes de pedido y órdenes de servicio logístico durante la ejecución de la simulación.
Requerimientos Asociados	RF6: Registrar las ofertas y demandas unitarias y/o consolidadas a través de órdenes de compra, pedido y/o servicio logístico, según sea el caso RF9: Guardar información sobre la trazabilidad de los productos involucrados en la simulación
Casos de Uso Asociados	CU6: Ejecutar el modelo de simulación
Objetivo	Verificar que se realice la creación de órdenes de compra, pedido y servicio logístico, sus características (tipo, valor, etc.) y estado cuando así se requiera.
Precondición	Modelo de simulación en ejecución
Procedimiento	T1: Verificar que todos los agentes que tengan como propósito vender sus productos a través del SISAAB registren sus ofertas T2: Verificar que todos los agentes que tengan como propósito comprar productos a través del SISAAB registren sus demandas T3: Verificar que se consoliden las demandas en conformidad con los criterios establecidos T4: Verificar que se creen órdenes de compra cada vez se consolide una transacción de compra de una única oferta, unitaria o consolidada a través del SISAAB T5: Verificar que se cree una orden de pedido cuando se consolide una transacción de compra de varias ofertas y/o servicios lógicos por parte de un demandante a través del SISAAB

Continúa en la siguiente página

Tabla J.8: Caso de prueba P08

	T6: Verificar que se cree en el sistema una orden de servicio logístico cuando se solicite a un operador logístico transportar el producto adquirido.
Resultado Esperado	1. Creación oportuna y coherente de ofertas, demandas, órdenes de compra, pedido y servicio logístico
Resultado Obtenido	A través de los archivos en los que son almacenados los resultados de la simulación se evidencia: <i>ofertas-track.csv</i> , en el tick 12 se generaron 40 ofertas unitarias y en el tick 323 se generaron 11 ofertas unitarias. <i>Demandas-track.csv</i> , en el tick 503 se generaron 782 demandas individuales, en el tick 1563, 80 demandas consolidadas. <i>Orden-compra.csv</i> , en el tick 504 se generaron 128 ordenes de compra, 51 ordenes de pedido y en el tick 1000, 115 ordenes de servicio logístico. Lo anterior en conformidad con lo establecido en los procedimientos definidos para los agentes.

Tabla J.9: Caso de prueba P09

No.	P09
Nombre	Comprobar la ejecución de las MPA.
Requerimientos Asociados	RF8: Representar sistemas de actividad humana con propósito definido. RF9: Guardar información sobre la trazabilidad de los productos involucrados en la simulación
Casos de Uso Asociados	CU6: Ejecutar el modelo de simulación ABM
Objetivo	Comprobar que los agentes tengan la capacidad de elegir y ejecutar las tareas propuestas para el modelo de simulación.
Precondición	Modelo de simulación en ejecución

Continúa en la siguiente página

Tabla J.9: Caso de prueba P09

Procedimiento	T1: Comprobar que todas las tareas tengan un propósito establecido T2: Verificar la ejecución de las tareas por parte de los agentes en conformidad con su propósito
Resultado Esperado	1. Las actividades ejecutadas por los actores del SAAB representadas como MPAs 2. Las tareas deben ser seleccionadas y ejecutadas por los actores representados como agentes
Resultado Obtenido	Resultado de la ejecución de la simulación, en el archivo decisiones-trac, se detalla el sistema de actividad humana seleccionado por los agentes en cada uno de los ticks. Se evidencia allí que las actividades son seleccionadas en conformidad con el propósito del agente: El agente productor seleccionó la actividad producir cebolla de bulbo, el vendedor final eligió comprar en corabastos, registrar demanda unitaria y consolidar demanda.

Tabla J.10: Caso de prueba P10

No.	P10
Nombre	Comprobar razonamiento de los agentes.
Requerimientos Asociados	RF10: Implementar y adaptar los procedimientos de "razonamiento" de los agentes RF11: Implementar el aprendizaje por experiencia de los agentes
Casos de Uso Asociados	CU6: Ejecutar el modelo de simulación ABM
Objetivo	Comprobar que los agentes tengan la capacidad de elegir y ejecutar, haciendo uso de un método de razonamiento, las tareas propuestas para el modelo de simulación
Precondición	Modelo de simulación en ejecución

Continúa en la siguiente página

Tabla J.10: Caso de prueba P10

Procedimiento	T1: Comprobar que el agente seleccione una actividad en conformidad con su experiencia anterior. T2: Verificar la ejecución de las tareas por parte de los agentes en conformidad con su propósito
Resultado Esperado	1. Selección de una actividad con propósito definido con base en la experiencia previa relacionada 2. Las tareas deben ser seleccionadas y ejecutadas por los actores representados como agentes inteligentes
Resultado Obtenido	En el archivo experiencias-track se consolidan los datos usados por el agente para implementar su función de adaptabilidad, la cual le permite tomar decisiones mediante la implementación de un algoritmo genético.

Apéndice K

Manual de usuario del prototipo

K.1. Instalación del prototipo de Simulación

K.1.1. Requerimientos del sistema

El prototipo funciona sobre sistemas operativos Unix, Linux y Windows con soporte para maquina virtual Java version 7 o posterior; mínimo 8 Gb de RAM, procesador multinúcleo de al menos 2 Ghz.

K.1.2. Procedimiento de instalación

Para la instalación del prototipo de software de simulación siga los siguientes pasos:

1. Ejecutar el archivo *prototipo_simulaSAAB.jar*
2. Seleccionar el idioma de instalación y dar clic en *OK*
3. Seguir las instrucciones de instalación (debe aceptar los términos de acuerdo de licencia para que el producto sea instalado satisfactoriamente en su equipo)

K.2. Ejecución del prototipo de Simulación

Una vez el software se encuentra instalado en su equipo, el programa *simulaSAAB* debe existir en el acceso regular a programas del sistema operativo.

Una vez iniciado el programa *simulaSAAB*, la ejecución del simulador consta de tres pasos: (1) ajuste de parámetros, (2) inicialización del entorno y (3) ejecución de la simulación. Por defecto, el software está configurado para ejecutar ciclos infinitos de simulación. Puede ser pausado o abortado a voluntad del usuario mediante los controles de la interfaz gráfica (Figura K.3).

K.2.1. Ajuste de parámetros de ejecución y simulación

Al costado inferior izquierdo de la vista inicial se encuentran cuatro pestañas (*Run Options*, *Parameters*, *Scenario Tree*, *User Panel*); en la primera (*Run Options*) se especifican los parámetros de control de la ejecución; en la segunda (*Parameters*) se especifican los parámetros de la simulación; la pestaña *Scenario Tree* despliega la configuración y organización de los contextos de simulación; la última pestaña (*User Panel*) se muestra vacía.

Para configurar los parámetros de ejecución, seleccionar la pestaña *Run Options* (Figura K.1):

- En el campo *Pause at*, especificar el ciclo en el cual se desea que la simulación sea pausada automáticamente. Si se deja vacío, la simulación no se pausará automáticamente en ningún ciclo de ejecución.
- En el campo *Stop at*, especificar el ciclo en el cual se desea que la simulación se detenga automáticamente. Si se deja vacío, la simulación se ejecutará indefinidamente.
- En la barra numérica *Schedule Tick Delay*, indicar si se desea una espera entre la ejecución de un ciclo de simulación a otro (en mili-segundos).

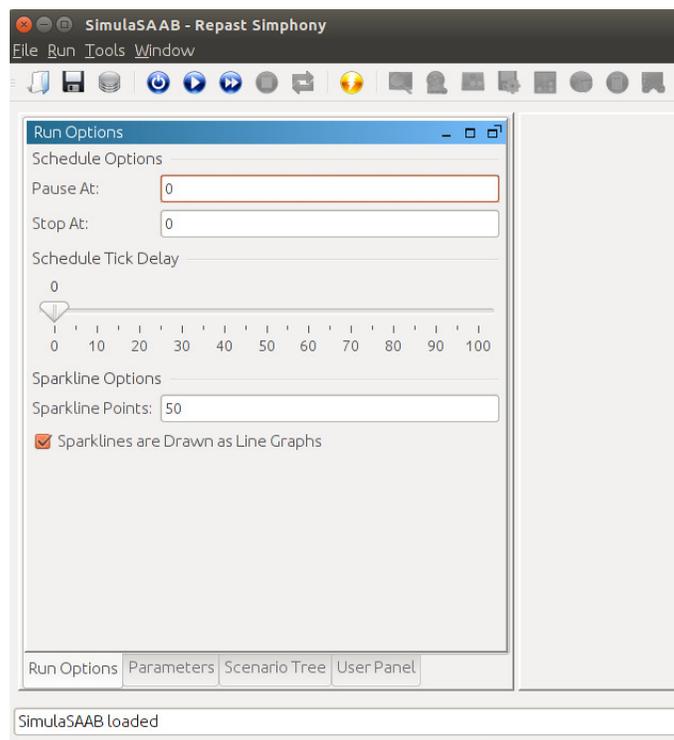


Figura K.1: Parámetros de Ejecución

Para configurar los parámetros de simulación, seleccionar la pestaña *Parameters* (Figura K.2):

- *Default Random Seed*: Especificar el valor “semilla” de los números aleatorios generados en la simulación.
- *Productores por centroUrbano*: Indicar la cantidad de productores que se incluirán en la simulación por cada centro urbano presente.
- *Vendedores finales por Plaza*: Indicar la cantidad de vendedores finales que se incluirán en la simulación por cada plaza presente.
- *Intermediarios por CentroUrbano*: Indicar la cantidad de Intermediarios que se incluirán en la simulación por cada centro urbano presente.
- *Consumidores en Bogotá*: Indicar el número de consumidores que se incluirán en la simulación.
- *Incluir MPA Producción + SISAAB*: Chequear si se desea incluir el MPA de producción y registro de oferta en el SISAAB, en la simulación, para los agentes “Productor”.
- *Incluir MPA Producción + venta local*: Chequear si se desea incluir el MPA producción y venta local en la simulación, para los agentes “Productor”.
- *Incluir MPA Registrar Oferta*: Chequear si se desea incluir el MPA de registro de oferta en SISAAB, independiente del MPA de producción, para los agentes “Productor”.
- *Incluir MPA Registrar Demanda*: Chequear si se desea incluir el MPA de registro de demanda en SISAAB, para los agentes “Vendedor Final”.
- *Incluir MPA Consolidar Demanda*: Chequear si se desea incluir el MPA de consolidación de demandas, para los agentes “Vendedor Final”.
- *Incluir MPA Comprar en Corabastos*: Chequear si se desea incluir el MPA de compra en corabastos, para los agentes “Vendedor Final”.
- *Incluir MPA Comprar Localmente*: Chequear si se desea incluir el MPA de compra local, para los agentes “Intermediario”.

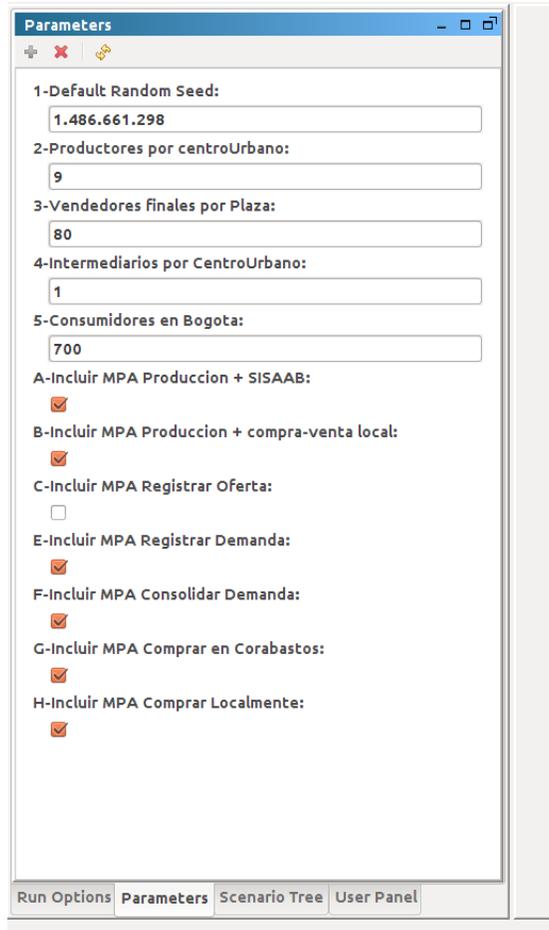


Figura K.2: Parámetros de Ejecución

K.2.2. Controles de ejecución

La interfaz gráfica despliega cuatro botones de control (ver figura K.3):

- Initialize Run Inicializa el entorno de simulación del sistema multiagente (objetos, agentes y contextos) según los parámetros definidos.
- Start Run Inicia la simulación.
- Pause Interrumpe la ejecución de la simulación en el *tick* en que se solicita la pausa. Los atributos y estados de los agentes y objetos son mantenidos, permitiendo continuar la simulación al volver a presionar el mismo botón.
- Stop Run Detiene la ejecución de la simulación en el *tick* en que se solicita la interrupción. A diferencia de la “pausa” no es posible continuar con la simulación. Para iniciar una nueva simulación se debe seleccionar la opción *reset* y luego presionar el botón *start*.

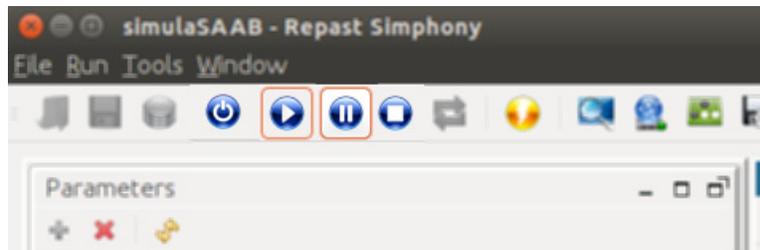


Figura K.3: Controles de Ejecución

K.2.3. Uso del prototipo de simulación

Una vez especificados los parámetros de ejecución y simulación:

- Inicializar el entorno de Simulación: Haciendo clic sobre el botón *Initialize Run*.
- Ejecutar la simulación: Haciendo clic sobre el botón *Start Run*.
- Detener la simulación: Al presionar el botón *Stop Run*.

K.2.4. Visualización

Al inicializar el entorno, se despliega una representación GIS de los municipios de Cundinamarca donde se produce cebolla de bulbo y la ubicación inicial aleatoria de los agentes en capas que pueden ser ocultadas (seleccionando las capas listadas al costado izquierdo del panel de visualización), de manera que sea visible solo aquello que sea requerido observar por el usuario.

- Se muestran dos tipos de capas:
 - *Layers* propios de la herramienta: Son comunes a los proyectos Repast Symphony y muestran diferentes funcionalidades para sistemas de georeferenciación, incluye Atmosphere, Stars, NASA Blu Marble Image, Open Street map, entre otras.
 - *Layers* del modelo: Representan los agentes del modelo de simulación, su ubicación y comportamiento expresado en movimiento. Los nombres corresponden a los tipos de agentes.

K.2.5. Nomenclatura

Algunos agentes del modelo se representa con un ícono, de manera que pueden ser diferenciados y ubicados a lo largo de la simulación. La Figura K.4 muestra los íconos y el agente que representa.



Figura K.4: Representación de Agentes

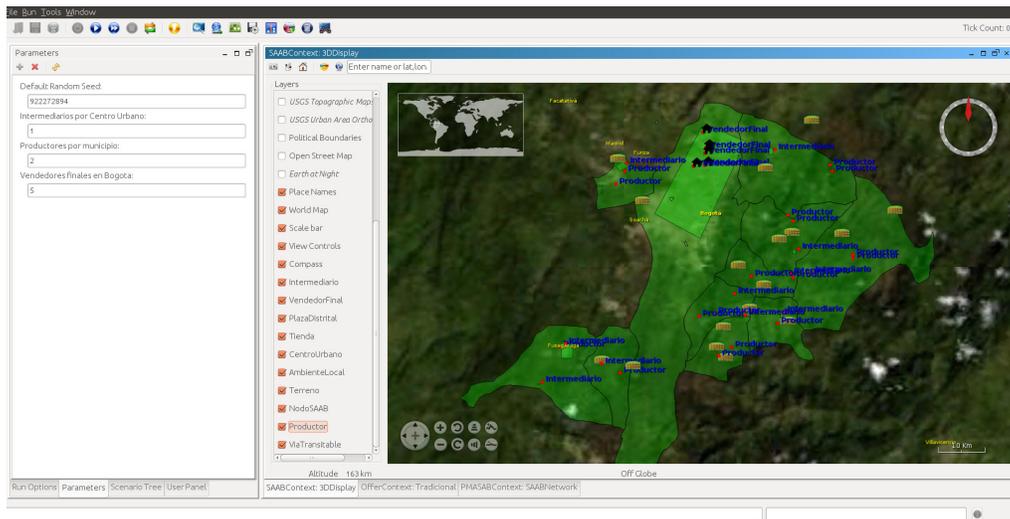


Figura K.5: Interfaz grafica del software de simulación

K.2.6. Datos de simulación

Los datos de simulación son guardados en archivos planos separados por comas, en la carpeta “[*PATH-DE-INSTALACIÓN*]/*simulaSAAB/freedried-data*”. Cada ejecución genera (o añade datos en) los siguientes archivos:

- *compras track.csv*: Registra los datos de todas las compras realizadas por un consumidor final.
- *decisiones track.csv*: Registra la toma de decisiones de los agentes.
- *demandas track.csv*: Registra la creación y modificación de demandas a través de la simulación.
- *experiencias track.csv*: Registra la creación y modificación de las experiencias generadas por los agentes.
- *intermediaciones track.csv*: Registra la venta de productos por fuera del SAAB.
- *ofertas track.csv*: Registra la creación y modificación de ofertas a través de la simulación.
- *ordencompra track.csv*: Registra la creación y modificación de las órdenes de compra generadas en el SISAAB.
- *ordenpedido track.csv*: Registra la creación y modificación de las órdenes de pedido generadas en el SISAAB.
- *ordenservicio track.csv*: Registra la creación y modificación de las órdenes de servicio generadas en el SISAAB.

- preciosfinales track.csv: Registra los precios fijados por los agentes *VendedorFinal*.
- productor track.csv: Registra datos sobre la producción agrícola por parte de los agentes *Productor*.