

**“MODELO MULTIAGENTE DEL PROCESO DE OCUPACIÓN
DE LA RESERVA FORESTAL DE CAPARO”**

JOHANNA DEL V. ALVAREZ. C.

TUTOR: OSWALDO R. TERAN. V

www.bdigital.ula.ve

Proyecto de Grado Presentado Ante la Ilustre Universidad de los Andes como
Requisito Final para Optar al Titulo de Ingeniero de Sistemas

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
MERIDA, ABRIL 2005

A mis padres: Nery y Ramón,
y a mis hermanos: Angel, Ramón y Angelo.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer principalmente a Dios nuestro Señor por darme la paciencia necesaria para culminar este proyecto.

Agradezco también a todas aquellas personas que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo, en especial a mis padres y hermanos por brindarme su apoyo incondicional.

Al profesor Oswaldo Terán, por el apoyo sincero, por la orientación y el interés en ayudar en la realización de este trabajo. Gracias Profesor.

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) por el aporte brindado e insumos necesarios para la realización del trabajo escrito.

A los organizadores del “CABM-HEMA-SMAGET Joint International Conference on Multi-Agent Modelling for Environment Management” celebrado en Saint Maurice - Les Arcs, Francia, desde el 21 hasta el 25 de marzo de 2005, y al CDCHT, por su apoyo para presentar el artículo elaborado en base a este trabajo de grado en dicha conferencia. El artículo en cuestión se presenta como anexo a este trabajo.

A la profesora Magdiel Ablan por el apoyo brindado a través del proyecto Biocomplexity: Integrating Models of Natura & Human Dynamics in Forest Landscapes Across Scales & Cultures.

RESUMEN

En este proyecto se presenta un modelo inspirado en, a fin de entender mejor, aspectos de la problemática suscitada en la Reserva Forestal de Caparo, en cuanto al proceso de ocupación de la tierra. En este sentido se plantea la continuación del modelo de simulación desarrollado por Jaimes Manuel (2004), basado en simulación *social* multiagentes. Jaimes estudia el comportamiento y el proceso cognitivo de los colonos basándose en el factor imitación. La interacción tiene lugar en un espacio celular.

En el presente trabajo se incluyen nuevos aspectos del comportamiento. Entre estos tenemos: (a) la negociación de la tierra, dada la escasez de espacio; (b) la llegada, desalojo y salida voluntaria de colonos de la reserva; y, (c) la inclusión del agente promotor de invasiones, representando organizaciones político-sindicales (*Motivador*).

La interacción y aprendizaje social son representados por la imitación y la negociación, utilizando reglas de producción, espacio de problemas y endosos.

Así, además de los colonos, se representan los agentes: *Controlador* (el cual sugiere no invadir), y *Motivador* (cuya recomendación es invadir). Al tomar decisiones, los colonos pueden seguir su propio razonamiento, imitar a un vecino, seguir la sugerencia del *Motivador* o tomar en cuenta la recomendación del *Controlador*.

El modelo permite observar propiedades emergentes útiles para entender el proceso real en la reserva. En particular, resulta muy significativa la emergencia de terratenientes caracterizada por propiedades de Criticidad Auto-Organizada.

Palabras claves: Simulación, Sistemas Multi-agentes, Modelado Social, Modelado Ambiental, Criticidad Auto-Organizada.

TABLA DE CONTENIDO

Portada, i

Dedicatoria, ii

Agradecimientos, iii

Resumen, iv

Tabla de Contenido, v

Lista de Figuras, ix

Lista de Tablas, x

1. Capítulo I. Introducción

1.1 Introducción, 1

1.2 Antecedentes, 3

1.3 Planteamiento del problema, 5

1.4 Objetivos, 6

1.4.1 Objetivo General, 6

1.4.2 Objetivos Específicos, 6

1.5 Organización de la tesis, 7

2. Capítulo II. Modelado y Simulación de Sistemas Sociales

2.1 Introducción, 9

2.2 Definiciones, 10

2.2.1 Objeto, 10

2.2.2 Sistema, 10

2.2.2.1 Características de un sistema, 11

2.2.3 Sistema real, 11

2.2.4 Modelo, 12

2.2.4.1 Tipos de modelos, 12

2.2.5 Simulación, 14

2.2.6 Verificación del modelo, 14

2.2.7 Validación del modelo, 14

- 2.2.8 Los cinco elementos básicos en el proceso de modelado y simulación, 15
- 2.3 Herramientas computacionales en la simulación social: microsimulación, autómatas celulares y sistemas multiagente, 16
- 2.4 Las sociedades humanas como sistemas complejos, 19
- 2.5 La criticidad autoorganizada en los sistemas sociales, 24
- 2.5 Las Ideas de Bak y la Simulación de Sistemas Sociales, 27

3. Capítulo III. Simulación Social Basada en Sistemas Multiagentes (MABS: Multi-Agent Based Social Simulation)

- 3.1 Introducción, 28
- 3.2 Definiciones, 29
 - 3.2.1 Agente, 29
 - 3.2.1.1 Clasificación de los agentes, 29
- 3.3 Sistemas multiagentes, 30
 - 3.3.1 Características de los sistemas basados en agentes, 31
 - 3.4 Modelado del proceso cognitivo en sistemas multiagentes, 34
 - 3.5 Ventajas que ofrecen los sistemas multiagentes, 38
- 3.6 Herramientas utilizadas en la construcción de un sistema multiagente, 39
 - 3.6.1 SDML (Strictly Declarative Modelling Language), 39
 - 3.6.1.1 Características del lenguaje SDML, 39
 - 3.6.1.2 Reglas, 40
 - 3.6.1.3 Características orientadas a objetos, 41
 - 3.6.1.4 Comunicación entre agentes, 44
 - 3.6.1.5 Niveles de tiempo, 45
 - 3.6.1.6 Representación de la cognición, 45

4. Capítulo IV. Reserva Forestal de Caparo

- 4.1 Introducción, 47
- 4.2 Características, 47
 - 4.2.1 Ubicación, 47
 - 4.2.2 Clima, 48

| |
|---|
| 4.2.3 Geomorfología, 49 |
| 4.2.4 Topografía, 49 |
| 4.2.5 Vegetación, 49 |
| 4.3 Problema de la deforestación, 50 |
| 4.4 Proceso de colonización agraria, 51 |
| 4.4.1 Antecedentes de la Deforestación en Caparo (Causas), 51 |
| 4.4.1.1 Colonizaciones, 52 |
| 4.4.1.2 Concentración de Tierras, 53 |
| 4.4.1.3 Explotación Ilegal de Madera, 53 |
| 4.4.1.4 Intereses a favor de las invasiones, 54 |
| 4.4.1.5 Escasa Vigilancia y Control de la Zona, 55 |
| 4.4.1.6 El fenómeno inaccesibilidad, 56 |
| 4.4.1.7 Explotación selectiva, 57 |

5. Capítulo V. Modelo Descriptivo o Informal del Sistema

| |
|---|
| 5.1 Introducción, 58 |
| 5.2 Modelo descriptivo del sistema, 58 |
| 5.2.1 Modelo descriptivo del sistema basado en ideas de simulación social, 59 |
| 5.3 Estructura general del modelo basado en agentes, 62 |
| 5.3.1 Modelado de agentes, 63 |
| 5.3.1.1 Identificación de los actores, 63 |
| 5.3.1.2 Definición de los agentes, 63 |
| 5.3.1.2.1 Agente Campesino, 63 |
| 5.3.1.2.2 Agente Controlador, 65 |
| 5.3.1.2.3 Agente Motivador (u organizaciones político-sindicales), 66 |
| 5.3.1.3 Modelado de conocimiento del agente, 67 |
| 5.3.1.3.1 Modelado del proceso de invasión, 67 |
| 5.3.1.3.2 Modelado del proceso de negociación compra-venta de tierras, 79 |

6.1 Capítulo VI. Implementación del Modelo en SDML

- 6.1 Introducción, 88
- 6.2 Especificaciones del modelo de simulación “Prototipo”, 88
 - 6.2.1 Suposiciones y/o limitaciones, 88
 - 6.2.2 Diseño del modelo computacional, 90
 - 6.2.2.1 Módulos, 90
 - 6.2.2.2 Estructura general, 91
 - 6.2.2.3 Definición de los niveles de tiempo, 95
 - 6.2.2.4 Definición de herencia y atributos de los objetos, 97
 - 6.2.2.5 Algunos predicados y reglas relevantes usadas en el modelo, 100
 - 6.2.2.5.1 Predicados y cláusulas, 100
 - 6.2.2.5.2 Reglas, 102
 - 6.2.2.6 Parámetros claves en la simulación, 116

7. Capítulo VII. Análisis y Resultados

- 7.1 Introducción, 117
- 7.2 Experimentación, 119
 - 7.2.1 Primer escenario, 120
 - 7.2.2 Segundo escenario, 127
 - 7.2.3 Tercer escenario, 133
- 7.3 Análisis del comportamiento del agente campesino, 140

8. Capítulo VIII. Conclusiones y Recomendaciones

- 8.1 Conclusión, 143
- 8.2 Recomendaciones, 148

Referencias Bibliográficas, 150

Apéndice

- Apéndice: “Land Occupation and Land Use Change in a Forest Reserve: a MABS Approach”, 154

LISTA DE FIGURAS

- Figura N° 3.1 Jerarquía de módulos, 42
- Figura N° 3.2 Jerarquía de tipos, 42
- Figura N° 4.1 Localización de la Reserva Forestal de Caparo en el estado, 48
- Figura N° 6.1 Jerarquía de módulos del modelo, 91
- Figura N° 6.2 Jerarquía de contenedores del modelo, 94
- Figura N° 6.3 Base de reglas (*Rulebases*) para el agente *Campesino*, 95
- Figura N° 6.4 Base de reglas (*Rulebases*) para el agente *Campesino*. Niveles de tiempo, 96
- Figura N° 6.5 Jerarquía de tipo (*type hierarchy*), 98
- Figura N° 6.6 Jerarquía *Container* del agente *Campesino*, 99
- Figura N° 7.1 Gráficas del porcentajes de campesinos desalojados: 0,01 para los años 15, 30 y 50, 122
- Figura N° 7.2 Gráficas de las rectas observadas al ajustar los datos según mínimos cuadrados, correspondientes a los años 15, 30 y 50, 124
- Figura N° 7.3 , Gráficas para los porcentajes de campesinos desalojados: 0,01; 0,02 y 0,03, 128
- Figura N° 7.4 Gráficas de las rectas observadas al ajustar los datos según mínimos cuadrados, correspondientes a los a los porcentajes de campesinos desalojados: 0,01; 0,02 y 0,03, 130
- Figura N° 7.5 Gráficas para los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, sesgados a escuchar al *Controlador* segados a escuchar al *Motivador*, 136
- Figura N° 7.6 Gráficas de las rectas observadas al ajustar los datos según mínimos cuadrados, correspondientes a los a los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, a escuchar al *Controlador* y a escuchar al *Motivador*, 137

LISTA DE TABLAS

- Tabla N° 5.1 Esquema de endosos, 69
- Tabla N° 5.2 Valores para las etiquetas endosadas, 73
- Tabla N° 5.3 Valor de los endosos para los vendedores 1,2 y 3, 74
- Tabla N° 6.1 Tipos de agentes e instancias, 92
- Tabla N° 7.1 Acumulado de tierra versus número de campesinos para el año 15, 121
- Tabla N° 7.2 Acumulado de tierra versus número de campesinos para el año 30, 121
- Tabla N° 7.3 Acumulado de tierra versus número de campesinos para el año 50, 121
- Tabla N° 7.4 Acumulado de tierra versus número de campesinos par un 0,01% de campesinos desalojados cada año, 127
- Tabla N° 7.5 Acumulado de tierra versus número de campesinos par un 0,02% de campesinos desalojados cada año, 127
- Tabla N° 7.6 Acumulado de tierra versus número de campesinos par un 0,03% de campesinos desalojados cada año, 128
- Tabla N° 7.7 Factores de la dinámica del proceso de ocupación, al variar el porcentaje de campesinos desalojados, 131
- Tabla N° 7.8 Acumulado de tierra versus número de campesinos para un 0,8% de campesinos sesgados a imitar y el 0,02% de campesinos desalojados, 134
- Tabla N° 7.9 Acumulado de tierra versus número de campesinos para un 0,8% de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador* y el 0,02% de campesinos desalojados, 135
- Tabla N° 7.10 Acumulado de tierra versus número de campesinos para un 0,8% de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador* y el 0,02% de campesinos desalojados , 135
- Tabla N° 7.11 Factores de la dinámica del proceso de ocupación para los casos de campesinos sesgados a imitar y a escuchar al *Motivador*, 138

Tabla N° 7.12 Factores de la dinámica del proceso de ocupación para los casos de campesinos sesgados a imitar y a escuchar al *Controlador*, 139

Tabla N° 7.13 Toma de decisiones del “campesino-16” en el proceso de ocupación de la tierra., 141

Tabla N° 7.14 Toma de decisiones del “campesino-16” en el proceso de compra-venta de tierra., 141

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.

El problema de la deforestación en la Reserva Forestal de Caparo se ha ido incrementando con el tiempo. En la actualidad la reserva ha pasado de ser una zona prácticamente sin intervención humana a una deforestada y en manos de ocupantes ilegales.

Esta problemática ha originado que la organización responsable del proyecto GAIA Caso Venezuela (herramientas multimedia para la educación y la gerencia ambiental) desarrolle proyectos de investigación en la zona, con el fin de conocer como ocurre el proceso de ocupación de la tierra en la reserva, así como las causas que lo han originado. Estudios en el área de simulación, específicamente modelos en base a dinámica de sistemas, han sido desarrollados dentro del marco del proyecto GAIA Caso Venezuela. El modelo planteado para el caso no muestra en forma explícita el proceso de ocupación en la reserva. En este modelo se simplifican factores importantes, observados en el sistema real, que resultan fundamentales para conocer la forma en que se da el proceso de ocupación, así como las causas que lo originaron. Por ejemplo, no se incluyen aspectos a nivel del comportamiento social, como la toma de decisiones por parte de los agentes involucrados, que parecen influir de manera determinante en este proceso.

Dado que el proceso de deforestación en la reserva constituye un problema social, en el cual interviene una gran cantidad de agentes que interactúan entre si, resulta complicado representar este proceso utilizando simulación tradicional.

Por esta razón, la mayoría de los modelos de simulación que describen sistemas sociales utilizan simulación social, tal como se describirá en este proyecto de grado. Ésta

utiliza lenguajes de simulación que se consideran más apropiados que aquellos de la simulación tradicional, los cuales permiten representar de una manera más clara y menos simplificada el comportamiento del fenómeno real bajo estudio.

Es conveniente resaltar que el objetivo principal de la simulación social es el de observar y comprender (no el de predecir) el sistema real a través de un modelo de simulación.

En el área de la simulación social existen varias herramientas que permiten modelar, con ciertas restricciones, las acciones del individuo como parte de un sistema social. Una de las herramientas más utilizadas son los sistemas multiagentes, la cual una vez acompañada con metodologías adecuadas, resulta muy apropiada para mostrar y estudiar, a fin de comprender mejor ciertas propiedades emergentes que resultan de la interacción entre los individuos que forman el sistema.

Los sistemas multiagentes constituyen una herramienta derivada de la inteligencia artificial, que permite la representación de individuos a través de agentes. Estos agentes se caracterizan por ser entidades autónomas e inteligentes capaces de interactuar para lograr una tarea específica. Por esta razón, algunos de los investigadores de las ciencias sociales utilizan esta herramienta, en la representación del comportamiento y el proceso cognitivo de los individuos que forman parte de un sistema social, para facilitarse el estudio de ciertas propiedades emergentes en estos sistemas.

En vista de que la problemática de deforestación que se vive en la Reserva Forestal representa un sistema social, se ha planteado y desarrollado un modelo propuesto dentro del marco de la simulación social, basado en sistemas multiagentes (Jaimes, 2004). Este modelo permite observar y estudiar aspectos del comportamiento y el aprendizaje social, referidos específicamente al factor de *imitación* como parte determinante en la toma de decisiones del agente campesino que ocupa la reserva.

El modelo desarrollado por Jaimes muestra cómo un campesino puede o no tomar la decisión de invadir un espacio de terreno. Tal decisión dependerá de si el campesino decide imitar la decisión pasada de alguno de sus vecinos, referida a la invasión, o si por el contrario decide escucharse a sí mismo o al Estado (ente representado en el modelo por el agente *Controlador*). Este modelo permite como tal observar ciertas características del comportamiento del agente campesino, más sin embargo, no muestra algunos otros factores que influyen de manera igualmente importante en el comportamiento y el proceso de aprendizaje del campesino.

Por esta razón se plantea, para este proyecto de grado, reestructurar el modelo propuesto por Jaimes en su trabajo de tesis, con el fin de agregar otros aspectos referidos al comportamiento y al aprendizaje social como son la negociación de la tierra, la inclusión y/o eliminación de agentes (campesinos invasores) en el tiempo, y la inclusión del agente promotor de invasiones (*Motivador*). Se espera que al agregar todos estos aspectos al modelo se pueda observar alguna propiedad emergente similar a propiedades características de los sistemas críticamente autoorganizados. En años recientes se ha visto que muchos de los modelos simulados, correspondientes a sistemas sociales, presentan características de estos sistemas autoorganizados.

Todo esto permitirá observar el proceso de ocupación de la tierra en la reserva en una forma más explícita, lo cual facilitara estudiar y comprender el comportamiento de los agentes involucrados en este proceso, y tendencias emergentes de interés en este sistema social.

1.2 Antecedentes.

La Reserva Forestal de Caparo ubicada al suroeste del Estado Barinas, está destinada al mantenimiento de la industria maderera de la zona, así como a la conservación de los mejores bosques de Venezuela.

La sostenibilidad de esta reserva se ha visto afectada por diversos factores, que han originado una deforestación progresiva, motivada por procesos de colonización agraria, en los cuales se observan movimientos de población hacia tierras baldías, no explotadas o subutilizadas en esta zona.

Esta problemática ha motivado al desarrollo de diversos estudios, en los cuales se describe el proceso de ocupación y uso de las tierras de esta reserva. Un ejemplo de ello es el trabajo realizado por Sánchez (1994), en el cual se describe el proceso de ocupación llevado a cabo en la reserva. Posteriormente se realiza el proyecto GAIA: Caso Venezuela (GAIA, herramienta multimedia para la educación y la gerencia ambiental) tomados en cuenta en la descripción de Sánchez, donde se ha modelado y simulado, desde la perspectiva de Dinámica de Sistemas, desarrollándose así herramientas de análisis que permiten relacionar los aspectos fundamentales que describen esta problemática (Proyecto GAIA Caso Venezuela: Reserva Forestal de Caparo, 1998).

Sin embargo, en los modelos de simulación desarrollados dentro del marco del proyecto GAIA: Caso Venezuela, no se han tomado en cuenta algunos aspectos que describen el comportamiento social a nivel de la toma de decisiones, así como tampoco los criterios en los que se fundamentan estas decisiones.

Bajo esta inquietud surge un nuevo modelo realizado por Jaimes (2004), en el cual se representa el proceso de ocupación y uso de la tierra en la Reserva Forestal de Caparo. En este modelo se implementan ideas de simulación basadas en Sistemas Multiagentes, utilizando para ello lenguajes de simulación declarativos tales como SDML (*Strictly Declarative Modelling Language*), donde se representa el proceso de ocupación espontáneo por parte de los campesinos, a través de un modelo de conocimiento sencillo en el cual se considera la toma de decisiones por parte de los agentes involucrados, y los conflictos que pudieran surgir durante las interacciones entre estos agentes.

1.3 Planteamiento del problema.

Dada la situación de deforestación progresiva que vive la Reserva Forestal de Caparo y la ocupación de sus tierras, se han desarrollado estudios en el área de simulación, en los que se enfatizan aspectos fundamentales que describen esta problemática.

Uno de los estudios más recientes desarrollados en esta área es el de Jaimes (2004), basado en Simulación de Sistemas Multiagentes. Este tipo de simulación permite la representación de modelos complejos, en el cual los individuos son simulados usando agentes, basados en técnicas derivadas de la inteligencia artificial. A su vez, facilita la simulación del comportamiento grupal en situaciones dinámicas, permitiendo el estudio del “comportamiento emergente” (propiedades que surgen del sistema y que no son fácilmente observables).

Este modelo refleja aspectos a nivel del comportamiento social, que parecen determinar, de forma importante, la toma de decisión por parte de los agentes involucrados, explicando aspectos muy interesantes en relación a la ocupación, y en general al cambio de estado de las tierras de esta reserva. El estudio incluye la influencia de factores del comportamiento social al modelar sobre la toma de decisiones. En particular, refleja la imitación en los patrones del comportamiento de los agentes tipo campesino.

En dicho modelo se considera únicamente el aspecto del comportamiento social orientado hacia el factor imitación como parte de la toma de decisiones. Sin embargo, la toma de decisiones del “agente-invasor” puede verse influenciado por factores distintos al fenómeno de la imitación. Por esta razón, se presenta la tarea de ampliar el modelo en uno más completo, en el que se tomen en cuenta algunas de las recomendaciones propuestas en el trabajo de Jaimes, tales como mecanismos de negociación, en los que se consideren la escasez de espacio, como uno de los factores que toma importancia a partir de cierto momento dentro de la simulación. De igual manera se podrían considerar

aspectos del comportamiento social, además de la imitación, que tengan influencias sobre la toma de decisiones.

La ampliación de este modelo comprenderá la aplicación de una metodología para Modelado y Simulación de Sistemas Multiagentes, en la que se utilizara el software SDML (*Strictly Declarative Modelling Language*), para la implantación del modelo modificado, basándose en los aspectos relacionados con el comportamiento social según Sánchez y descritos en el Proyecto GAIA Caso Venezuela, datos que luego fueron expuesto en el trabajo de Jaimes.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Continuar el modelo de simulación propuesto por Jaimes, en su proyecto de grado, implementando nuevos criterios que puedan influir en la toma de decisiones por parte de los agentes involucrados. Con ello se busca elaborar un modelo inspirado u orientado por el proceso de ocupación y uso de la tierra en la Reserva Forestal de Caparo, logrando observar, comprender y estudiar este proceso, así como las causas que lo originaron. En la continuación del modelo se tomaran en cuenta elementos fundamentales a nivel de comportamiento social, así como también, mecanismos de negociación en los que se considere la escasez de espacio, además de otros aspectos del comportamiento social que puedan influir en las decisiones del “agente-invasor”.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Conocer el proceso de ocupación y uso de la Reserva Forestal de Caparo, según las descripciones hechas en el trabajo de Sánchez.
- Aprender el lenguaje de simulación SDML (*Strictly Declarative Modelling Language*).

- Realizar una revisión bibliográfica donde se especifiquen conceptos y aspectos básicos para el estudio, tales como modelado y simulación, simulación social, sistemas multi-agentes y comportamiento social entre otros.
- Describir los factores considerados en la ampliación del modelo de Jaimes a través de un modelo informal.
- Agregar al modelo propuesto por Jaimes, los aspectos considerados para este caso, implementándolos a través del lenguaje de simulación SDML (*Strictly Declarative Modelling Language*).
- Evaluar escenarios alternativos para el modelo desarrollado.

1.5 Organización de la tesis.

En el Capítulo II se describen algunos conceptos básicos en el área de modelado y simulación. Se resumen los aspectos más resaltantes de la simulación dentro de las ciencias sociales, se expone la noción de complejidad como parte importante para entender sistemas sociales, así como la idea de sistemas críticamente autoorganizados, una de las metáforas más exitosas en los últimos años al estudiar sistemas complejos (Bak, 1987; Terán, 2001).

El Capítulo III muestra un marco de referencia donde se describen los elementos más importantes del sistema multiagente.

En el Capítulo IV se presenta un breve resumen donde se describen las causas que han dado origen al proceso de colonización agraria que se vive en la reserva, así como también las principales consecuencia de este proceso.

El Capítulo V contiene un resumen de los aspectos más relevantes que definen el modelo descriptivo del proceso bajo estudio. El modelo descrito en ese capítulo toma en cuenta la estructura desarrollada en Jaimes (2004), y se complementa con la inclusión de nuevos actores y criterios, que permitan desarrollar un modelo mucho más elaborado y completo, en el cual se podrán observar algunos otros factores del comportamiento social que no fueron expuestos en la investigación anterior (Jaimes, 2004).

El Capítulo VI muestra las especificaciones del modelo implementado en el lenguaje de programación SDML, incluyendo también las limitaciones y suposiciones sobre las cuales se basa los aspectos considerados en la ampliación de este modelo.

En el Capítulo VII se presentan los diferentes escenarios propuestos para el análisis del modelo. En este análisis se estudia el comportamiento del agente campesino, específicamente el proceso de toma de decisiones, referido a la invasión y a la compra-venta de terreno.

En el Capítulo VIII se presentan las conclusiones de esta investigación, y se dan algunas recomendaciones que pudieran ser incluidas para estudios futuros a fin de complementar esta investigación.

Finalmente se incluye un apéndice en el cual se muestra el artículo elaborado en base a este trabajo de grado, el cual fue presentado en “*CABM-HEMA-SMAGET Joint international Conference on Multi-Agent Modelling for Environment Management*” celebrado en Saint Maurice, - Les Arcs, Francia, desde el 21 hasta el 25 de marzo de 2005.

CAPÍTULO II

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS SOCIALES

2.1 Introducción.

A través del Modelado y la Simulación de Sistemas se ha logrado representar diversos procesos reales, en los que intervienen elementos relacionados entre sí, que definen la estructura y el funcionamiento en tales procesos.

En las Ciencias Sociales al igual que en las demás ciencias, se busca representar fenómenos de estudio a través del modelado y la simulación de sistemas. Para la investigación social, el modelado y la simulación de sistemas se utiliza con el fin de estudiar, observar y comprender aspectos del comportamiento humano que se derivan de procesos sociales, por lo general en calidad de emergentes.

Con el desarrollo de este proyecto se busca construir un modelo de simulación social, donde se represente el proceso de ocupación y cambio de uso de las tierras en la Reserva Forestal de Caparo, que permitirá estudiar y comprender patrones de comportamiento, derivados de la dinámica social que surge entre los campesinos invasores que ocupan esta reserva. Este trabajo constituye un ejemplo más dentro de las investigaciones sociales, donde el modelado y la simulación de sistemas permite contribuir en la construcción, evaluación o mejora de posibles teorías sociales, que faciliten el estudio del comportamiento humano.

En este capítulo se describen algunos conceptos básicos en el área de modelado y simulación que nos permiten crear un marco de referencia orientado hacia los aspectos más resaltantes en el modelado y la simulación de sistemas. Luego se presenta un breve resumen donde se describen los aspectos más resaltantes de la simulación dentro de las ciencias sociales, mostrándose cómo ha contribuido en la investigación social el uso del

modelado y la simulación. Posteriormente se presenta un resumen donde se explica, primero la noción de complejidad, característica fundamental de un sistema social, de acuerdo al punto de vista de simulación social, y segundo la idea de sistemas críticamente autoorganizados, una de las metáforas más exitosas en los últimos años al estudiar sistemas complejos (Bak, 1996; Terán, 2001). La intención de incluir la idea de criticidad autoorganizada es intentar identificar propiedades de este tipo de sistemas en el sistema simulado, las cuales posteriormente podrían ser verificadas en el sistema objeto, aunque esto sería un trabajo que queda fuera del alcance de este proyecto de grado.

Antes de explicar estas nociones debemos tratar los conceptos básicos utilizados al modelar en ingeniería de sistemas y en computación, tales como las nociones de objeto, sistema, proceso, etc.

2.2 Definiciones.

2.2.1 Objeto.

“Entidad básica que puede ser identificada en la realidad” (Jaimes, 2004). Tal entidad posee características o propiedades en las cuales se pueden ver reflejados atributos como el color, tamaño, entre otros.

2.2.2 Sistema.

En la noción más común encontrada en la literatura, un sistema se define como un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan entre sí con el objeto de lograr un fin determinado.

Un sistema es “un grupo de elementos interrelacionados, interdependientes o en interacción, que forman una unidad colectiva” (Collins English Dictionary, 1979, p.1475).

2.2.2.1 Características de un sistema.

Dentro de las características más resaltantes que se observan en un sistema se encuentran:

- Presenta propiedades distintas a las propiedades de sus componentes. Estas propiedades del sistema pueden ser difícil de explicar en términos de las propiedades de sus componentes.
- Puede estructurarse a su vez en partes llamadas “subsistemas”.
- Posee una estructura dinámica en la cual se observa cierto orden regido por leyes de cambios en el tiempo, que permiten describir su comportamiento. Estas leyes pueden no ser fácil de identificar.
- Existen relaciones entre sus elementos. Los subsistemas se vinculan unos a otros, se complementan, se transfieren elementos (materia o energía) y se ajustan mutuamente.

2.2.3 Sistema real.

Parte del mundo real en la que se concentran determinados estudios y del cual se obtienen los datos necesarios que describen su comportamiento.

El sistema real también es conocido como un sistema objeto puede ser de tipo empírico o teórico. El sistema empírico es el observado directamente como un fenómeno real, mientras que el sistema teórico está constituido por descripciones, desarrollos teóricos bien estructurados acerca de un sistema real, como por ejemplo, La Teoría del Comportamiento de la Firma (Cyert y March, 1963).

2.2.4 Modelo.

Un modelo se concibe como una representación del sistema real en la cual se toman en cuenta sólo aquellas variables o propiedades que determinan el comportamiento y la estructura del sistema de acuerdo al interés del modelador (Zeigler, 1976). Con el estudio de estas propiedades se nos facilita comprender, cambiar, mantener o controlar el comportamiento y la estructura del sistema bajo estudio.

Para construir un modelo se debe contar con un fenómeno a observar (sistema real), sobre el cual se realizará una abstracción que dará paso a un modelo en el cual, posteriormente, se realizarán algunos cálculos y posibles deducciones que permitirán comprender y cuestionar el comportamiento del sistema real.

2.2.4.1 Tipos de modelos.

Los modelos pueden ser clasificados según diferentes criterios:

Según la base temporal:

- **Modelo de tiempo continuo:** Cuando el estado del sistema está definido para cada instante de tiempo.
- **Modelo de tiempo discreto:** Cuando el estado del sistema está definido sólo para particulares instantes de tiempo.

Según el rango de las variables descritas en el modelo:

- **Modelo de estado continuo:** Cuando las variables del modelo son de tipo continuo.

- Modelo de estado discretos: Cuando las variables del modelo son de tipo discreto.
- Modelo de estado mixto: Cuando las variables tienen valores continuos y discretos.

Según la utilización de las variables aleatorias en la descripción del modelo:

- Modelo determinístico: Cuando el modelo no contiene variables de tipo aleatorio. Por lo general en este tipo de modelo los resultados pueden predecirse con certeza.
- Modelo estocástico: Cuando el modelo contiene al menos una variable de naturaleza aleatoria.

www.bdigital.ula.ve

Según su interacción con el entorno:

- Modelo autónomo: Cuando no se considera la acción del entorno sobre el modelo.
- Modelo no autónomo: Cuando el modelo es influenciado por el entorno.

Según la dependencia explícita de los rangos de interacción respecto al tiempo:

- Modelos invariantes en el tiempo: Cuando las reglas del modelo dependen exclusivamente de los valores de las variables descriptivas. Un modelo es invariante en el tiempo si su estructura dinámica, sus ecuaciones de cambio, no varían en el tiempo.

- Modelos variables en el tiempo: Cuando el tiempo se considera como argumento en una o más interacciones entre componentes.

Por otra parte, se dice que un sistema sufre cambio estructural o es de estructura variable si su estructura, estática o dinámica, se modifica en el tiempo. La estructura estática varía, por ejemplo, cuando se agregan o eliminan componentes, propiedades de los componentes cambian o las interrelaciones entre componentes se modifican en el tiempo.

2.2.5 Simulación.

Es el proceso mediante el cual se diseña, se implementa, y se experimenta con un modelo que representa un sistema real, generando el comportamiento del sistema, con el fin de comprender mejor el sistema bajo estudio.

En la simulación computacional, la representación del sistema bajo estudio se logra implementando el modelo del sistema real a través de cualquier sistema computacional (simulador), lo cual permitirá ejecutar un programa que represente el modelo para generar su comportamiento.

2.2.6 Verificación del modelo.

La verificación consiste en corroborar que los resultados generados por el programa de simulación, utilizado en la implementación del modelo, sean los esperados de acuerdo a este modelo.

2.2.7 Validación del modelo.

La validación requiere comparar algunos elementos importantes del modelo con el sistema objeto, entre los cuales se encuentran: la estructura (forma en que opera el modelo) y el comportamiento (lo que el sistema hace), a fin de corroborar que el modelo representa bien al sistema objeto.

La validación del modelo puede darse en diferentes formas:

- Replicativa.

Con este tipo de validación se corrobora que el modelo genere datos similares a los adquiridos en el sistema real; es decir, se observa la correspondencia en términos de las salidas de los sistemas, utilizando datos pasados del sistema objeto.

- Predictiva.

En este caso la validación del modelo corrobora que el modelo genere datos que se correspondan con los del sistema objeto, antes de ser adquiridos de éste.

- Estructural.

Para este tipo de validación se debe corroborar que se representa a través del modelo la forma en la cual el sistema real opera, es decir, los dos sistemas tienen estructuras semejantes.

2.2.8 Los cinco elementos básicos en el proceso de modelado y simulación.

Zeigler (1976), hace referencia a la existencia de cinco elementos básicos que se encuentran presentes en el proceso de modelado y simulación, estos son:

- Sistema real.

El sistema real representa la fuente de datos observados.

- Marco experimental.

Esta referido al conjunto de circunstancias bajo las cuales se observa el sistema real.

El marco experimental depende de la forma en que se enfoque el sistema real al momento de ser representado a través de un modelo determinado. Representa una “operacionalización” de los objetivos del modelado.

- **Modelo base.**

Es el modelo más amplio del sistema objeto que puede elaborarse contando con todo el conocimiento disponible. Por lo tanto, este modelo incluye todos los modelos del sistema real que pudiesen generarse conforme a los distintos marcos experimentales.

- **Modelo simplificado.**

Es el modelo obtenido bajo un determinado marco experimental y por tanto su validez se juzga dentro de este marco. Por lo general se construye como una versión más sencilla del modelo base.

- **Computador.**

Dispositivo en el cual se generan los comportamientos de entrada y salida para un modelo determinado a través de un programa de simulación.

2.3 Herramientas computacionales en la simulación social: microsimulación, autómatas celulares y sistemas multiagente.

En la investigación científica la actividad principal radica en la construcción de modelos que permitan representar y comprender el comportamiento de algunos fenómenos u objetos de interés. Por lo general la representación en este tipo de modelos se lleva a cabo a través de un lenguaje formal o matemático (Aguilera y López , 2001).

En el caso de las ciencias sociales, la construcción de modelos resulta un proceso mucho más complicado que en el caso de las otras ciencias, pues los fenómenos de interés en esta área presentan algunas propiedades emergentes que resultan muy

complejas para ser descritas a través de un modelo matemático sencillo. Por esta razón, la mayoría de los modelos descritos en las ciencias sociales utilizan un tipo de lenguaje formal, menos estricto matemáticamente, que les permite definir y describir de una manera más clara el comportamiento del fenómeno real – las ciencias sociales no pretenden exactitud, no tienen porqué ser exactas para describir bien el fenómeno de su interés –. Sin embargo, algunos científicos sociales han logrado elaborar algunos modelos utilizando lenguajes matemáticos flexibles (lógicos) cuando el sistema así se los ha permitido (Aguilera y López , 2001). Por ejemplo, quienes hacen simulación social han elaborado modelos utilizando lenguajes de simulación declarativos, que representan bien sistemas sociales, y han logrado explicar y conocer mejor algunas tendencias emergentes (por ejemplo, emergencia de normas, de aprendizaje, de cooperación, etc.), que cuando sólo se usan las teorías tradicionales.

En años recientes, algunos investigadores de las ciencias sociales han comenzado a explorar nuevas posibilidades de expresar modelos sociales a través de un lenguaje computacional, haciendo realidad el modelado y la simulación en esta área de estudio. Por ejemplo, se modela, con ciertas restricciones, las acciones de individuos dentro de un sistema social, en los cuales se pueden observar y estudiar características o propiedades como el conocimiento y el aprendizaje, tanto en el sistema social como en el individuo. Un ejemplo donde se estudian propiedades como éstas es el modelo multiagente desarrollado por Carley K, M. Pretula y Z. In (1998).

Entre estas nuevas posibilidades de expresar los modelos sociales, también encontramos la microsimulación y la idea de autómata celular. La microsimulación en principio fue utilizada en el área de la simulación social, para el estudio de las consecuencias de los cambios en las políticas sociales en la población (Gómez, 2002). Por ejemplo, la microsimulación se utilizó para examinar las consecuencias de diferentes políticas de servicio para pensionados estatales, cálculos de tasas, así como otros usos (Gómez, 2002).

Una de las desventajas de la microsimulación radica en la forma en que se trata cada componente, ya que estos se modelan de forma demasiado simplificada y muchas de las interacciones son canceladas. Además, la microsimulación es un tipo de simulación normalmente predictiva, es decir, está orientada a predecir fenómenos de interés. Pretender predecir en sistemas sociales es poco realista, y es un objetivo más de las ciencias de la ingeniería que de las ciencias sociales. Estas desventajas de la microsimulación, constituyen limitaciones importantes en la representación de sistemas sociales, pues con el modelado y la simulación social se busca explicar y no predecir fenómenos complejos que emergen de la interacción entre individuos.

Posteriormente fueron desarrollados algunos trabajos basados en autómatas celulares que permitieron superar algunas de las limitaciones presentes en la microsimulación. Los autómatas celulares fueron desarrollados por físicos y matemáticos para comprender y entender propiedades de grandes conjuntos de entes interrelacionados, entre las cuales se encuentran las propiedades de materiales magnéticos, flujos turbulentos en líquidos y la cristalización, entre otros (Gómez, 2002).

Un autómata celular está constituido por una rejilla de células en un arreglo regular. Estas células presentan cambios de estado conforme a reglas que dependen de células inmediatamente cercanas o vecinas. Es precisamente a través de estos cambios que se puede observar la interacción entre células. La estructura presente en este tipo de modelo permite representar modelos de interacción social, de forma limitada. Los entes se relacionan si están cercanos espacialmente, mientras que en un sistema multiagente la interrelación puede darse mediada por una red de cualquier tipo y forma (Gómez, 2002).

Posteriormente en la década de los noventa, surgen los modelos multiagentes basados en técnicas derivadas de la inteligencia artificial, que permiten la simulación de individuos “autónomos” que interactúan entre sí. Un agente computacional puede recibir

o colección de información (datos), lo que facilita el poder evaluar sus experiencias pasadas y así poder decidir qué acciones tomar (Gómez, 2002).

Con este tipo de modelado se pretende simular aspectos del comportamiento de agentes (individuos o cualquier otro fenómeno de estudio), como por ejemplo la toma de decisiones. En este proceso de toma de decisiones se puede observar la comunicación entre agentes, así como también otros aspectos importantes relacionados con la aparición de propiedades emergentes en los sistemas sociales.

Actualmente, la simulación en las ciencias sociales está basada en el modelado de sociedades artificiales, las cuales son construidas básicamente con el uso de sistemas multiagentes. La idea fundamental en el modelado de sociedades artificiales está orientada en la posibilidad de elaborar modelos computacionales, que incorporen algunas suposiciones acerca de los patrones de comportamiento en los individuos, que permitan observar y comparar el comportamiento entre las sociedades artificiales y el sistema social bajo estudio (Aguilera y López, 2001). Con ello se busca aprender acerca de las sociedades artificiales para comprender mejor el sistema social.

Los trabajos realizados por Jaimes (2004), el cual se continua en este proyecto, y Montilla (2004), basados en sistemas multiagentes, constituyen ejemplos interesantes en el área de la investigación social.

2.4 Las sociedades humanas como sistemas complejos.

En la actualidad, las ciencias sociales se encuentran en un momento de renovación conceptual, a tal grado que varios de sus teóricos más desatados han considerado incluir dentro de las teorías sociales tradicionales, lo que se conoce como el paradigma de la complejidad (Aguilera y López, 2001). Este paradigma tiene sus bases sólidas en las ciencias fisicoquímicas, biológicas y computacionales, pero todavía debe desarrollarse para las ciencias sociales.

A fin de entender la complejidad social, es importante tener un marco de referencia conceptual, para lo cual recurriremos a los trabajos de Francis Heylighen. Según Heylighen (1991) la complejidad de los sistemas puede entenderse si consideramos sus diferentes niveles, de acuerdo al surgimiento de grados de metaestabilidad o control. A cada nuevo nivel le corresponde una nueva variabilidad y una nueva metaestabilidad que controla esta variabilidad. Mostraremos a continuación los niveles a los cuales hace referencia Heylighen.

- Primer nivel: nivel de la materia inerte.
- Segundo nivel: Origen de la vida (nivel de lo pre-racional). “Los Sistemas a este nivel tienen un mecanismo seleccionador dado por ADN. La célula viviente se caracteriza como una organización auto-productora (autopoética), dónde el ADN controla la producción de proteínas y enzimas, y las enzimas controlan la producción de ADN (Maturana & Varela, 1980)”. El nuevo control lo representa el ADN y el nuevo nivel de variabilidad esta constituido por la producción de proteínas.
- Tercer nivel: Control de posición (reflejos simples). En este caso la nueva variedad es el movimiento. El seleccionador-director controla la posición. “El movimiento será ahora una función de rasgos particulares del ambiente censados por el sistema. Los órganos sensoriales actúan como medios de comunicación que traducen rasgos del ambiente en una representación interior (llamado seleccionador vicario, ver Campbell, 1974) qué permite la toma de decisión informada”.
- Cuarto nivel: Reflejos complejos. Necesitados para controlar los reflejos simples. En este caso el control está dado por la llamada regla de Hebb, lo cual no es discutido por Heylighen.

- Quinto nivel: Aprendizaje: La variedad está dada por el modelo mental, a través de decisiones no determinísticas. “La variedad está aquí dada por el hecho de que las fuerzas o pesos sinápticos, los cuales determinan la probabilidad de que un estímulo o excitación viaje de una neurona a otra, es variable, así que el mismo patrón pueda llevar a diferentes resultados. La variabilidad de las conexiones sinápticos da cuenta de lo que Turchin llama la capacidad para asociar, es decir, para crear las asociaciones variables entre las representaciones. Las asociaciones que se forman a través del aprendizaje se limitan a fenómenos experimentados en la adyacencia espacial o temporal”.
- Sexto nivel: Racionalidad. Se pueden usar conceptos de un contexto en otros contextos. Controlador: la experiencia (por ejemplo, vía los mecanismos sociales). “El hecho que el humano puede imaginar un perro que produce los sonidos musicales, mientras el conejo no puede, significa que el humano tiene una variedad más grande de posibles acciones, en este caso los conceptos son separables de su contexto: ellos retienen (parte de) su significado cuando son traídos a contextos sumamente diferentes. Esto puede entenderse notando que el concepto puede distinguirse de los conceptos que se le asocian, y que esta distinción es estable o invariante: no cambia con el contexto” (Heylighen, 1990). El mecanismo específico de cualquier separación conceptual es el símbolo. De acuerdo a Heylighen un símbolo es un fenómeno estable, fácilmente reconocible, que puede combinarse con otros símbolos.

Según esta clasificación un humano se encuentran clasificado en el sexto nivel, el de la racionalidad, y un sistema social estará en un nivel aun superior, de allí su complejidad.

Por otra parte, Aguilera y López (2001) indican que el comportamiento complejo es inherente a algunos fenómenos socioeconómicos. En este comportamiento los autores observan tres características fundamentales:

1. Un fenómeno complejo es el resultado del concurso de un gran número de factores.
2. La interacción entre estos factores se da en forma no lineal.
3. El comportamiento del fenómeno complejo es no determinista e impredecible.

La teoría general de sistemas ha abordado el estudio de los fenómenos complejos asociándolos a los sistemas no lineales. Este tipo de sistema resulta complicado para estudiar, pues no es fácil entenderlo analíticamente.

Por ejemplo, la validación de una teoría se basa en la capacidad para predecir con éxito el fenómeno que trata de explicar. Sin embargo, este criterio de evaluación no es apropiado para las teorías construidas para los sistemas no lineales, pues la teoría de la complejidad muestra que aún cuando se comprenda por completo los factores que llevan a la acción individual, esto no es suficiente para predecir el comportamiento de un grupo o de una institución (Aguilera y López, 2001).

Es importante mencionar que en las discusiones actuales en el campo de las ciencias sociales acerca de la teoría de la complejidad, se incluye la expansión del concepto de racionalidad para permitir la incorporación de características subjetivas e intersubjetivas, validando así las teorías científicas dentro del marco de impredecibilidad y aperiodicidad de los fenómenos dinámicos complejos. Esto se debe a que en los sistemas de actividad humana se identifican siempre tres componentes:

1. Componentes objetivos: Elementos tangibles, bien definidos y de fácil medición.
2. Componentes subjetivos: Relacionados con los aspectos cognitivos de los individuos.
3. Componentes intersubjetivos: Relacionados con los aspectos sociales.

Otra de las características que se puede observar en los sistemas de actividad humana, que no está restringida a estos, es que poseen una complejidad autoorganizada. Esto significa que estos sistemas presentan una estructura organizativa, es decir, jerarquías, divisiones de tareas, coordinación y colaboración para cumplir objetivos comunes, pero que no surgen de una autoridad central, sino como propiedad emergente¹ y sinergética² de la acción colectiva de los individuos. En tal sentido los sistemas de actividad humana son sistemas adaptativos, lo cual significa que pueden cambiar su estructura, tamaño y dinámica para subsistir ante cambios en el entorno. Estas propiedades se relacionan con las características de los sistemas críticamente autoorganizados, a las cuales se hará referencia más adelante.

Basados en los aspectos mencionados anteriormente, podemos concluir que un fenómeno social complejo podría entenderse como el resultado del comportamiento humano colectivo, que es a su vez producto de un conjunto de procesos y situaciones que van desde lo fisiológico y psíquico hasta lo cultural, económico y político. Todos estos factores se articulan para producir un comportamiento global y emergente, entendiéndose este último como un comportamiento que surge de la acción de todos los individuos, pero que no se encuentra en los comportamientos particulares de estos, por lo tanto no se puede predecir por medio del conocimiento del comportamiento individual humano.

¹ Propiedad emergente: esta propiedad surge de la interrelación entre los elementos (Fuenmayor, 1991a, b)

² Sinergética: es una ciencia de la autoorganización espontánea, fenómeno que no puede ocurrir sino en sistemas complejos en desequilibrio. La voz sinergética proviene del griego y significa cooperación.

2.5 La criticidad autoorganizada en los sistemas sociales.

La idea de sistemas críticamente autoorganizados se debe a Per Bak. Bak representa sus ideas a través de varios modelos, entre los cuales el clásico ejemplo de la Pila de Arena es el más ampliamente conocido (Per Bak, 1996).

El ejemplo de la pila de arena muestra un proceso en el que se observa un cambio continuo en la pila, el cual se origina al agregar granos de arena en ésta, produciéndose regularmente avalanchas de diferentes tamaños cambiando así la estructura del sistema (pila). En los procesos de avalanchas se observan las propiedades características de los sistemas críticamente autoorganizados.

A continuación se presentan las características más preponderantes que describen a los sistemas críticamente autoorganizados.

- Sistema abierto y disipativo.

- Los componentes del sistema son meta-estables; es decir, solo cambian de comportamiento al alcanzar niveles críticos de estímulos. Es conveniente recordar que tales estímulos se mantienen alejados de los valores críticos la mayor parte del tiempo.
- La interacción de los componentes es una característica muy importante en la dinámica de sistemas, puesto que la actividad de cada componente influye permanentemente en los demás componentes, lo cual puede generar avalanchas de cambio en cualquier momento.
- El sistema se autoorganiza en un estado crítico con avalanchas de cambio de todos los tamaños, las cuales generalmente se representan por la Ley de la Potencia.

- El sistema está inmerso en una estructura espaciotemporal única.
- Un sistema críticamente autoorganizado puede hacerse catastróficamente inestable en caso de ser manipulado o forzado hacia ciertos estados óptimos (óptimo según algunos criterios) mientras se le saca de su estado críticamente autoorganizado.

Ahora mostramos como ejemplo un sistema social (Sistema Socio-Económico) en el que se pueden observar algunas de las características presentes en un sistema autoorganizado (Terán, 2002).

- Los sistemas sociales, al igual que cada individuo, están abiertos a la interacción con otros sistemas sociales. Esta interacción suele darse por ejemplo, a través de los medios de comunicación social, del lenguaje hablado, de la imitación, etc.
- En el sistema ejemplo, las fuerzas socioeconómicas parecen originarse en los procesos de toma de decisiones de los participantes, decisiones derivadas a su vez por necesidades inducidas por los medios, la imitación de otros individuos o por caprichos. Estas fuerzas parecen originarse de la misma manera en la cual se generan las fuerzas involucradas en la caída de granos en una pila. Por ejemplo, en una pila de arena, el efecto del grano que cae depende básicamente del estado del sistema (sin considerar algún estado interno de los granos involucrados), las características físicas del grano y la manera con la que hace contacto con la pila de granos; mientras que, en un sistema humano, la decisión de un individuo puede cambiar debido a pequeños cambios en su modelo interno (raciocinio), en su motivación y, aún más, en sus sentimientos.
- Detrás de las decisiones de un individuo pueden existir ciertos umbrales para las variables de decisión, los cuales una vez sobrepasados provocan ciertas

elecciones de los individuos. Por ejemplo, no se compra un abrigo todos los días, sino cuando el umbral de abrigo deseado supera algunos límites. Esto se asemeja a la idea de meta-estabilidad de los componentes del sistema.

- La disipación en un sistema socio-económico ocurre cuando los agentes actúan conforme a sus objetivos y a medida que el logro de estos objetivos se incrementa. Disipación también ocurre a medida que los agentes cambian su motivación respecto al logro de sus objetivos. La disipación puede ocurrir aún más probablemente cuando los agentes son restringidos en sus necesidades, cuando el modelo cognitivo del agente es limitado, cuando el contexto del ambiente cambia, o cuando los agentes no imitan continuamente (es decir, solo imitan algunos comportamientos de otros agentes).
- La autoorganización puede verse en algunos sistemas sociales. Por ejemplo los trabajos de Mandelbrot y de Moss ofrecen razones para pensar que los sistemas socioeconómicos pueden autoorganizarse en un estado crítico con avalanchas de cambio de todos los tamaños.
- Un sistema socioeconómico podría volverse catastróficamente inestable si se manipulara de manera que sea forzado a entrar en un estado óptimo (una especie de control) que interfiriera con su proceso de disipación natural. Sin embargo, no todo tipo de control tiene que resultar con consecuencias negativas, pues se ha visto el caso de economías, como las de los países en desarrollo, en donde estos controles han permitido llegar a unos niveles de desarrollo económico favorables para estos países.

2.5 Las Ideas de Bak y la Simulación de Sistemas Sociales.

Varios investigadores, que trabajan en el área de simulación de sistemas sociales, han encontrado propiedades similares a la de los sistemas críticamente autoorganizados, tanto en sus modelos como en los datos obtenidos de los sistemas empíricos.

Scott Moss y Bruce Edmonds, investigadores del *Centre for Policy Modelling* de Manchester, Inglaterra, han desarrollado trabajos interesantes en simulación social basados en sistemas multiagentes, lo cual les ha permitido coincidir en que el origen de la criticidad autoorganizada está en la interacción de los agentes, principalmente en el tipo de interacción donde predomina la integración social o inclusión social, a lo cual Edmonds denomina *social embeddedness*. La inclusión social se define como el grado al cual el comportamiento de un agente requiere de la inclusión de los otros agentes como individuos más que como un todo indiferenciado. Esto es totalmente diferente a lo asumido en la economía tradicional, o en Teoría de Juegos, por ejemplo.

Moss argumenta que la simulación social basada en sistemas multiagentes, permite mostrar características de los sistemas sociales empíricos, tales como el alto grado de inclusión social y algunas propiedades de criticidad auto-organizada. Aún más Moss, y otros investigadores argumentan de forma bastante convincente en contra del modelado económico tradicional, el está basado en Teoría de Juegos, y en la idea de maximización de utilidades, Moss llega incluso a afirmar que tales modelos son poco reales y sobre simplificados, dado que frenan la posibilidad de observar en el sistema simulado propiedades observadas en el sistema objeto, tal como propiedades de criticidad auto-organizada (ver más acerca de esto en la sección 5.3.1.3.2).

CAPÍTULO III

SIMULACIÓN SOCIAL BASADA EN SISTEMAS MULTIAGENTES

(MABS: MULTI-AGENT BASED SOCIAL SIMULATION)

3.1 Introducción.

Tal como se mencionó anteriormente, el modelado y la simulación multiagente es utilizada por investigadores de las ciencias sociales para representar el comportamiento y el proceso cognitivo de individuos que forman parte de un sistema social, lo cual facilita el estudio de ciertas propiedades emergentes en estos sistemas. Dado que esta es la perspectiva dominante en la actualidad para el área de simulación social, y dado que este trabajo de grado estará basado en esta misma perspectiva, en este capítulo ahondaremos en el estudio de este tipo de simulación.

Los sistemas multiagentes pueden considerarse como una rama de la Inteligencia Artificial Distribuida (DAI), la cual se define como un campo del conocimiento que estudia e intenta construir un conjunto de entidades autónomas e inteligentes capaces de interactuar para lograr una tarea, por ejemplo, cooperar entre sí a fin de desarrollar un determinado trabajo. Acá podrían incluirse modelos donde se observan aspectos importantes del comportamiento humano como la comunicación y el aprendizaje.

En la definición de sistemas multiagentes se encuentran implícitos conceptos fundamentales que forman la base de la estructura multiagente. Por esta razón, en este capítulo se muestra un marco de referencia que permite describir los elementos más importantes del sistema multiagente. A continuación se definirán algunos de estos elementos.

3.2 Definiciones.

3.2.1 Agente:

En la noción más general, un agente es una entidad física o abstracta que puede percibir su ambiente por medio de censores, siendo capaz de aprender y razonar utilizando para ello mecanismos de razonamiento sencillos o complejos, que le permitan evaluar tales percepciones y tomar decisiones (Russell *et al.*, 1995). Los agentes pueden comunicarse entre sí a través de la interacción con el entorno y con otros agentes.

Es importante destacar que los agentes pueden usarse para representar entidades como: átomos, animales, personas, organizaciones, naciones, entre otros.

3.2.1.1 Clasificación de los agentes.

Existe una clasificación genérica de dos tipos de agentes:

- Agentes reactivos.

Se caracterizan por poder sentir su entorno reaccionando en base a los estímulos que reciben.

- Agentes cognitivos.

Poseen la misma característica que los agentes reactivos, con la diferencia de que tienen una representación del entorno así como un fin que lograr. Este tipo de agente puede efectuar operaciones complejas, teniendo capacidad de razonamiento sobre su base de conocimiento; además, posee herramientas de comunicación que le permiten interactuar con los demás agentes para llegar a un acuerdo sobre alguna decisión determinada.

Un agente cognitivo regularmente tiene tres componentes básicos: una memoria, un conjunto de metas y otro de reglas.

La memoria es requerida para que el agente recuerde sus experiencias pasadas y así poder planificar su futuro en base a estas experiencias. Las metas están definidas según los objetivos del agente, mientras que las reglas constan de condiciones que gobiernan la acción del agente y definen su comportamiento.

3.3 Sistemas multiagentes.

Los sistemas multiagentes son una rama de la inteligencia artificial encargada de estudiar el comportamiento de agentes autónomos e inteligentes, por ejemplo, capaces de resolver un problema en forma cooperativa a través de la interacción con su entorno y los demás agentes.

Según Edmonds (2000), un sistema multiagente puede ser utilizado para:

- Entretenimiento: Una clase de juego de computadora intelectual donde se configura un sistema artificial estructurado según un conjunto de agentes para desarrollar un juego en el que se puedan observar los efectos generados durante el juego.
- Arte: Sistema multiagente diseñado para que otros admiren y disfruten.
- Ilustración: Sistema multiagente diseñado como herramienta pedagógica para animar o ilustrar algún principio sociológico, filosófico o matemático.
- Comunicación: Sistema multiagente construido como un medio interactivo para la exploración social, la negociación y la comunicación.
- Ciencia: Sistema multiagente desarrollado como una herramienta para entender sistemas que han sido observados.

Es importante destacar que en el modelado y la simulación multiagente el objetivo siempre será el mismo, sin importar la naturaleza de los agentes; es decir, lo que se busca al representar un sistema objeto a través de sistemas multiagentes es comprender y analizar el comportamiento del sistema cuando es simulado, y luego extraer este conocimiento, a la medida de lo posible, al sistema objeto.

3.3.1 Características de los sistemas basados en agentes.

Entre las características más importantes de estos sistemas, se tienen:

- En el caso de representar sistemas sociales, existe organización social. Esta organización se refiere a los componentes funcionales del sistema, así como con las características, necesidades y la forma en que se realiza la interacción entre ellos (generalmente la interacción se da a través de la comunicación).

Entre los elementos que conforman la estructura de una sociedad de agentes resaltan los siguientes:

- ◆ Un conjunto de agentes.
- ◆ Un conjunto de tareas a realizar.
- ◆ Un conjunto de recursos.

Los agentes ejecutan tareas, las cuales pueden desarrollar gracias a los recursos.

La organización de un sistema multiagente depende de su estructura, la cual dependerá, a su vez, del tipo de agente, la comunicación entre agentes y la forma en que estos operen.

Existen, al menos, tres tipos de estructuras bien definidas:

- Estructura centralizada.

En este tipo de estructura existe un agente que coordina y controla la interacción entre los demás agentes del sistema, pues posee los recursos e información necesarios para esta tarea.

- Estructura horizontal.

Con esta estructura se muestra un sistema en el cual los agentes están a un mismo nivel, es decir, no existe ningún agente que dirija o coordine la interacción entre los agentes del sistema. Por tanto cualquier agente podrá ejecutar cualquier tarea.

- Estructura jerárquica.

La estructura jerárquica está constituida en base a los niveles de abstracción de un problema. Para resolver un problema determinado se divide el problema en un conjunto de subproblemas, y cada uno de estos a su vez puede ser divididos en otros subproblemas, y así sucesivamente; teniéndose varios niveles de problemas. Para resolver el problema, cada agente se encuentra en capacidad de resolver subproblemas por sí solo, o resolver subproblemas en cooperación con otros agentes que se encuentran en el mismo nivel de jerarquía, o también puede delegar subproblemas a otros agentes de niveles inferiores. En general, un agente también podría resolver dado como un arbolo un subárbol de un problema.

- Los agentes son heterogéneos entre sí, ya sea en los datos que contiene o en las reglas que utilizan para realizar sus acciones.

- La interacción puede representar:

- ◆ Cooperación.

La cooperación entre agentes se observa cuando el agente tiene alguna subtarea por realizar que requiere de los resultados obtenidos en otra subtarea realizada por otro agente, por lo cual los agentes deben compartir resultados intermedios para llegar a la solución global de un problema determinado dentro del sistema bajo estudio.

Entre las formas de cooperación se tiene:

- Cooperación compartiendo tareas y resultados: El agente toma en cuenta tareas y resultados intermedios de otros agentes para realizar sus propias tareas.
- Cooperación por delegación: En este tipo de cooperación existe un agente coordinador, quien se encarga de descomponer tareas en subtareas para luego distribuirlas entre los agentes con la finalidad de resolverlas. Luego el agente coordinador integra estas soluciones para llegar a la solución del problema inicial.
- Cooperación por ofrecimiento: Para este caso el agente coordinador, al descomponer las tareas en subtareas, difunde una lista de éstas entre los agentes del sistema para que éstos ofrezcan su colaboración conforme a sus habilidades.

- ◆ Coordinación.

La coordinación está relacionada con la planificación de acciones entre los agentes para resolver tareas, lo que permite tener una visión global de todos

las tareas, logrando así disponerlas para ser ejecutadas de la mejor manera.

◆ Negociación.

En la interacción entre agentes existen mecanismos que les permiten llevar a cabo sus tareas, facilitando cada una de sus acciones. La negociación constituye un mecanismo que permite a los agentes resolver problemas de cooperación, asignación de recursos, conflictos, entre otros.

Según algunos autores en la negociación se identifican cinco pasos que describen el proceso:

1. Definir el problema.

2. Identificar aspectos.

3. Identificar y ponderar criterios.

4. Generar alternativas.

5. Formular soluciones.

La negociación será expuesta en más detalle en el siguiente capítulo.

3.4 Modelado del proceso cognitivo en sistemas multiagentes.

Los sistemas multiagentes involucran el estudio de muchos actores y sus interrelaciones. Las interrelaciones entre actores (agentes) pueden generarse en procesos de negociación, imitación, comunicación, toma de decisiones, aprendizaje, entre otros. Todos estos procesos pueden darse en agentes cognitivos.

Las arquitecturas del conocimiento tienen como propósito la obtención de representaciones del proceso cognitivo que se da en la mente humana. El término arquitectura cognitiva se debe a Newell, quien construyó el primer programa informático basado en reglas de producción (Aguilera y López, 2001).

Una regla de producción se define como una estructura de conocimiento que consta de dos partes, una condición y una acción. La estructura de una regla de producción se presenta a continuación:

Si

condición

Entonces

acción

Ilustraremos esta estructura con un ejemplo:

Si

Llueve

Entonces

Sacar paraguas

Una regla de producción se puede leer como: Si una condición se cumple, entonces el sistema lleva a cabo una acción. Dentro de la condición de la regla pueden estar incluidas otras reglas de producción, las cuales a veces pueden ser reglas que se ejecutan hacia atrás.

Newell y Simon en su obra *Human Problem Solving* introducen los sistemas de reglas de producción como una arquitectura cognitiva apropiada para representar el conocimiento humano. Estos sistemas de reglas admiten múltiples teorías,

representaciones y modelos. Así varias teorías cognitivas pueden tener un mismo marco conceptual.

Un marco conceptual estima de cierta manera aspectos básicos de la estructura de conocimiento, tales como la memoria, los tipos de memoria, la representación del conocimiento, cómo se procesa la información, cómo se operacionaliza o se concretan las capacidades cognitivas o deducción, generalmente asumido como reglas de producción. En este mismo sentido, cada teoría puede construirse según diferentes modelos. Para el caso particular desarrollado en este proyecto de grado, se utilizará en la construcción del modelo el software SDML. Este software es un lenguaje declarativo basado en reglas.

Entre las teorías que mejor proponen marcos conceptuales de pensamiento y conocimiento se encuentran: *Architecture of Cognition Theory-Rational* (ACT-R) (Anderson, 1993) y *Symbol Oriented Architectura* (SOAR) (Aguilera y López, 2001).

El concepto fundamental tanto de SOAR como de ACT-R es la arquitectura espacio-problema PSA (*Problem Space Architecture*) defendida por Simon desde los años 40-50, la cual resulta de la evidencia científica de que los decisores buscan metas menores para fragmentar la solución de problemas complejos.

Tanto el SOAR como ACT-R son utilizados en las técnicas y conceptos desarrollados en la inteligencia artificial, y por ende en los sistemas multiagentes cuando se quiere hacer simulación social. Ambas teorías representan las capacidades cognitivas como reglas de producción, más sin embargo se diferencian en la forma en que representan el conocimiento a través estas reglas.

En SOAR se representa el conocimiento permanente sólo en reglas de producción, mientras que ACT-R propone una representación separada del conocimiento procedural

y declarativo. El conocimiento procedural puede definirse como un sistema de ejecución, implicado en el aprendizaje de distintas habilidades (sobre el mundo) que no están representadas de forma explícitas. Estas habilidades se activan de modo automático, como una secuencia de pautas de actuación ante las demandas de una tarea. El conocimiento procedural es aquel conocimiento que tienen los individuos sobre cómo realizar una cosa, y no es transferible ni apropiable por los demás (Aguilera y López, 2001).

El conocimiento declarativo contiene información referida al conocimiento sobre el mundo y experiencias vividas por cada persona, así como información referida al conocimiento general, más bien referido a conceptos extrapolados de situaciones vividas. El conocimiento declarativo es el conocimiento de lo que es cierto y puede comunicarse directamente a los otros individuos (Aguilera y López, 2001).

Un ejemplo que nos permite ilustrar ambos conceptos se presenta a continuación. En el juego de Beisbol el conocimiento de las reglas, de la situación de los jugadores en el campo, etc., es declarativo. Este tipo de conocimiento podría fácilmente explicarse a cualquier persona, pero el conocimiento procedural de cómo golpear la pelota, sólo puede obtenerse con la práctica, por lo cual nunca podrá ser transferido por completo.

La construcción de un modelo de conocimiento a partir de reglas de producción presenta las siguientes características (Aguilera y López, 2001):

- Cada regla de producción se diseña como una pieza del conocimiento y representa un paso claro en el proceso cognitivo.
- Los sistemas de producción de reglas obedecen a un formalismo lógico con el que son consistentes.

- Los procesos cognitivos complejos se pueden fragmentar uniendo adecuadamente una secuencia de reglas, conforme a unas metas establecidas, y utilizando una memoria de trabajo para introducir nuevas reglas a las que se accede posteriormente.

Los sistemas de producción son, en cierta medida abstractos y se aplican en múltiples situaciones. Es decir, las reglas se emplean repetidas veces ante distintas instancias o circunstancias.

3.5 Ventajas que ofrecen los sistemas multiagentes.

Entre las ventajas más importantes que ofrecen los sistemas multiagentes al ser comparados con técnicas tradicionales para resolver problemas como por ejemplo, la simulación orienta a objeto (SOO) y la simulación tradicional de eventos discretos (DES) se encuentran:

- Permiten solucionar problemas con mayor rapidez, gracias a las facilidades para procesamiento en paralelo.
- Comunicación mínima, es decir, se transmiten únicamente soluciones parciales de alto nivel entre los agentes, evitando así enviar datos e información a un sistema central.
- Ofrecen mayor flexibilidad, pues los agentes poseen diferentes habilidades, entre las cuales se tiene la cooperación entre agentes para la solución de problemas.
- Mayor confiabilidad en el caso de que algunos agentes puedan hacerse responsables por las operaciones de otros agentes si estos llegasen a fallar.

3.6 Herramientas utilizadas en la construcción de un sistema multiagente.

En la actualidad existe un amplio número de herramientas computacionales que permiten la construcción de sistemas multiagentes, sin embargo no todas resultan apropiadas para el modelado y simulación de sistemas sociales.

Entre las herramientas que muestran propiedades más amplias en el área de aplicación de tecnología multiagente se encuentran: AgentBuilder, AgenFactory, CABLE, Jafmas, Repast, Cormas muy usado en Francia Australia y Brasil, y el software SDML, siendo este último el tipo de lenguaje elegido para programar el sistema multiagente desarrollado en esta investigación. A continuación, describiremos con más detalle este último software.

3.6.1 SDML (Strictly Declarative Modelling Language).

SDML es un lenguaje de modelado estrictamente declarativo que se corresponde con la lógica modal KD45 (Moss *et. al*; 1997). Este lenguaje de programación fue creado en el “Center For Policy Modelling” (CPM) (<http://cfpm.org>) con la finalidad de representar modelos complejos que describen interacciones procedurales, además de la representación de agentes con características orientadas a objetos así como la representación de modelos cognitivos.

3.6.1.1 Características del lenguaje SDML.

- Está basado en programación declarativa, en reglas que utilizan el encadenamiento hacia adelante y reglas que utilizan el encadenamiento hacia atrás.
- El conocimiento es representado a través de la base de reglas y la base de datos.
- Permite representar modelos que involucran la participación de muchos actores.

- Presenta una estructura que permite descomponer agentes complejos en otros más simples.
- Presenta características de la programación orientada a objetos como la herencia múltiple.
- Ofrece la posibilidad de representar varios niveles de tiempo.

3.6.1.2 Reglas.

Las reglas en SDML se construyen con antecedentes y consecuentes, utilizando la programación declarativa que permite leer estas reglas de la manera siguiente: si los antecedentes son verdaderos, entonces los consecuentes también lo son.

Estas reglas se definen a través de cláusulas que pueden ser conjuntas (or), disjuntas (and) o negadas (not) para el caso de los antecedentes, y únicamente conjuntas (and) para los consecuentes. Las cláusulas están constituidas por un nombre o identificador conocido como predicado, con un determinado número de argumentos. Generalmente los argumentos son representados a través de variables que se instancian una vez que la regla es ejecutada. Las cláusulas pueden especificarse como: internas, privadas y públicas; y definirse tanto en reglas con encadenamiento hacia delante como reglas con encadenamiento hacia atrás.

Como vemos las reglas se clasifican de acuerdo a dos tipos:

- Reglas hacia adelante: Son reglas primarias que pueden ser definidas para diferentes niveles de tiempo. Cuando estas reglas son evaluadas sus consecuentes son insertados en una base de datos correspondiente a cada regla. Las reglas hacia adelante se definen dentro de tres tipos: *initial*, utilizadas para establecer los parámetros iniciales del modelo; *content*, reglas que establecen la naturaleza

dinámica del modelo; y *final*, reglas que se utilizan para colectar los datos generados y finalizar la simulación.

- Reglas hacia atrás: Estas reglas son procedimientos llamados por los antecedentes de reglas encadenadas hacia adelante. Las reglas hacia atrás pueden ser utilizadas para el procesamiento de listas. Sus resultados no son almacenados en la base de datos, pudiendo así ser utilizadas para cálculos auxiliares sin gasto adicional de memoria.

El orden en que se disparan o ejecutan las reglas se determina automáticamente según las dependencias que se tenga entre reglas.

3.6.1.3 Características orientadas a objetos.

En SDML se observa la herencia a través de tres jerarquías:

- Jerarquía por módulos (*module*).
- Jerarquía de contenedores (*container*).
- Jerarquía de tipos (*type*).

La jerarquía por módulos se observa en la ventana de *module hierarchy*, comenzando por el módulo estándar, módulo base de SDML, donde se ubican las primitivas del lenguaje (ver Figura N° 3.1).

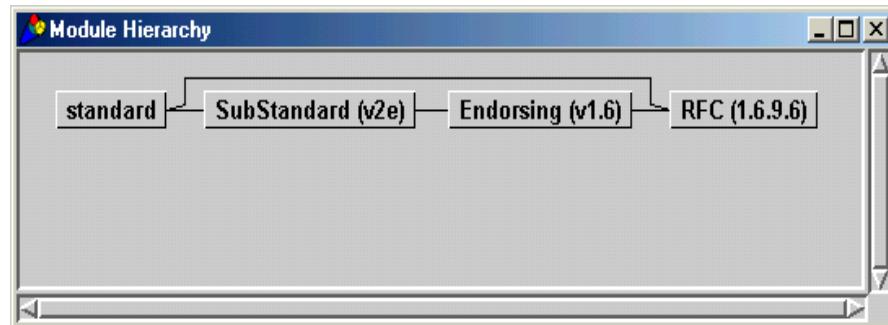


Figura N° 3.1. Jerarquía de módulos.

La jerarquía de tipos se observa en el *type hierarchy* (jerarquía de tipos). Utilizando este tipo de jerarquía, el usuario puede definir subtipos de categoría *Object*, *Agent*, y subagentes predefinidos en SDML, etc (ver Figura N° 3.2).

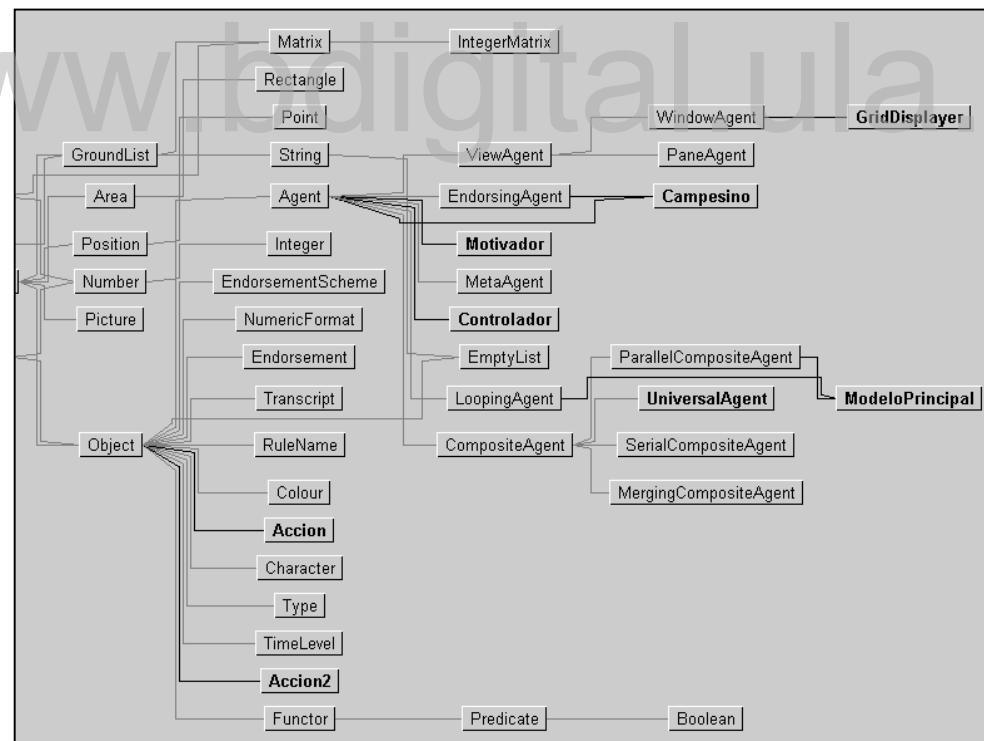


Figura N° 3.2. Jerarquía de tipos.

La categoría *Object* se diferencia de la categoría tipo *Agent* por la base de reglas asociadas al agente, pues el objeto no posee base de reglas.

En SDML la categoría *Agent* es el tipo principal de interés, pues los modelos representados acá se definen en términos de agentes. Las definiciones de subtipos de quien elabora un modelo se realizan a través de subtipos específicos de agentes, tales como *parallelAgent*.

Los subagentes predefinidos y de mayor uso en SDML se corresponden con:

- *Composite Agent*: Este agente y sus subtipos facilitan la representación de estructuras multiagentes, es el tipo más básico de agente contenedor. Entre los subtipos de *Composite Agent* tenemos:
 - ◆ *ParallelAgent*: Agente cuya función radica en ejecutar o disparar las reglas de varios agentes contenidos, de manera simultánea. Este tipo de agente es de especial interés al modelar conocimiento en un contexto social.
 - ◆ *Serial*: Representa la clase de estructura más estricta dentro de la cual los agentes están ordenados en tal forma que cada agente debe actuar después y sobre la base de información disponible por agentes precedentes.
 - ◆ *Merging Composite Agent*: Se encarga de unir las reglas base calculando las dependencias entre ellas como si fuera una regla simple. Esta propiedad permite mayor flexibilidad en el modelo haciendo la comunicación entre agentes de este tipo efectiva y simultánea.

- ◆ *Looping Agent*: Agente que puede iterar sobre el tiempo. Un agente que contenga varios niveles de tiempo tendrá este agente como parte de sus subtipos.

Existe un agente en SDML denominado *Meta Agent*, el cual puede escribir reglas dinámicamente mientras la simulación corre, en la base de datos del agente que lo contiene. Esto ofrece flexibilidad y facilita programar los diferentes aspectos del agente cuando éste tiene estructura variable. Antes de cada instante de tiempo el meta agente puede rehacer las reglas del agente de acuerdo a los resultados de la simulación y ciertas reglas que orienten este proceso.

La jerarquía *Container* permite la representación de la estructura del modelo de agentes múltiples. El Contenedor de jerarquías está relacionado principalmente con el tipo de jerarquía del *Composite Agent* y sus subtipos.

Los agentes operan en un espacio o agente contenedor inicial denominado “*universe*”, representado como el contenedor más externo, en el cual pueden existir grupos de agentes con características comunes que son agrupados en otros contenedores, por lo tanto, se pueden definir contenedores contenidos a su vez en otros contenedores o en el universo. La estructura del Contenedor permite crear una jerarquía a través de la cual los subagentes contenidos en éste pueden heredar propiedades de los container en los que se encuentran subcontenidos.

3.6.1.4 Comunicación entre agentes.

En SDML los agentes se comunican entre sí a través de la escritura y lectura en la base de datos de los otros agentes. La escritura y lectura en la base de datos de otros agentes se realiza utilizando direcciones explícitas que permiten acceder a la información deseada.

3.6.1.5 Niveles de tiempo.

Los niveles de tiempo se representan en la jerarquía de tipos como *Time Level*. El nivel de tiempo definido por defecto en SDML es *Eternity*. El usuario puede definir cualquier número de instancias de tiempo *Time Level* y asociarlas o no a cualquier agente subtipo definido en el modelo.

Cada nivel de tiempo tendrá asociado reglas *initial*, *content* y *final* evaluándose interactivamente para cada nivel de tiempo establecido las reglas *content* y *final*, mientras que las reglas *initial* serán evaluadas únicamente al inicio de la simulación.

Las cláusulas pueden declararse como: a) ciertas permanentemente, se ejecutan en el nivel de tiempo *eternity* o b) ciertas por un período de tiempo, conforme a los niveles de tiempo preestablecidos en el modelo.

3.6.1.6 Representación de la cognición.

SDML no se corresponde con ninguna arquitectura cognitiva, más sin embargo es un lenguaje orientado a la construcción de agentes cognitivos, debido a las facilidades que ofrece.

Modelos de aprendizaje pueden ser representados en SDML siguiendo diferentes perspectivas tales como SOAR Y ACT-R (ver Moss *et al.*, 1998). En particular han sido muy utilizadas las ideas de espacios de problemas, de endosos o “*endorsement*”, de la especialización y generalización de reglas de decisión. Un modulo básico para esto es ofrecido por Scott Moss.

Los endosos constituyen un mecanismo que permite introducir el conocimiento procedural por medio de reglas, representados como fichas o etiquetas con un determinado valor numérico asociado, que indica el valor o el peso de la etiqueta.

Los modelos de decisión (o reglas) que resultan de la generalización de otras varias reglas tiene como antecedente (consecuente) el resultado de la intersección de las cláusulas en los antecedentes (consecuentes) de estas varias reglas o modelos ya existentes. De manera similar, los modelos de decisión que resultan de la especialización aplicados a varios modelos de decisión tendrán como antecedente (consecuente) el resultado de la unión de las cláusulas en los antecedentes (consecuentes) de los modelos utilizados. La Figura N° 3.3 muestra un esquema donde se representan algunos ejemplos de generalización y especialización de reglas.

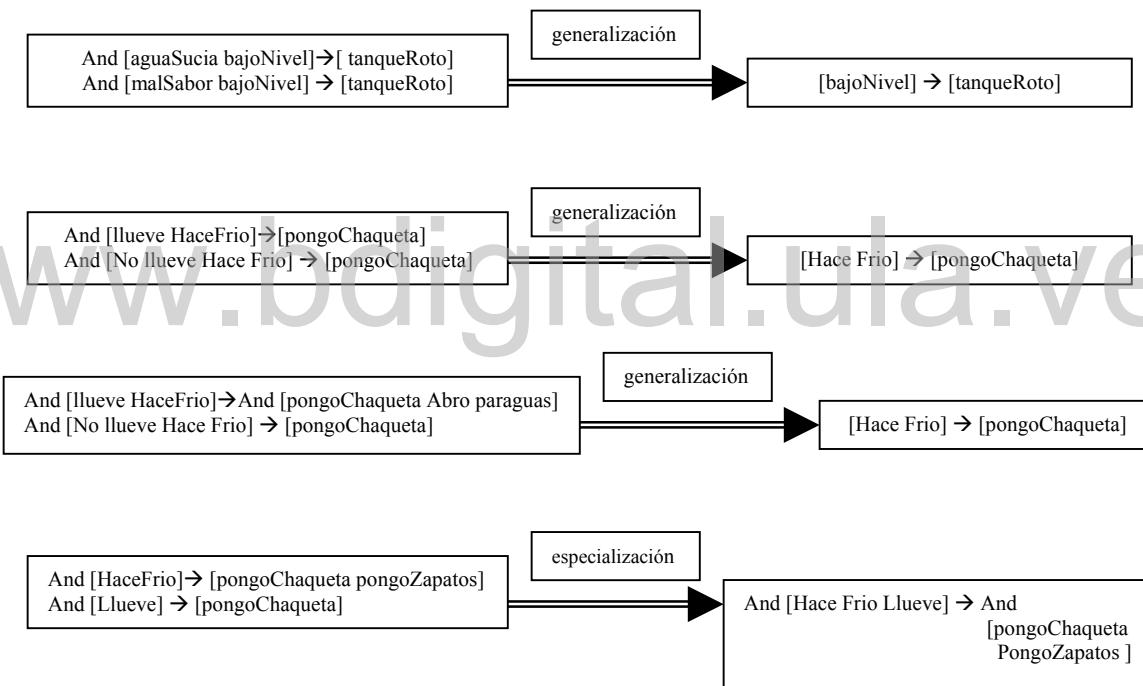


Figura N° 3.3. Generalización y especialización de reglas.

CAPÍTULO IV

RESERVA FORESTAL DE CAPARO

4.1 Introducción.

En este capítulo se presenta un breve resumen donde se exponen algunas de las características más importantes de la Reserva Forestal de Caparo, con el propósito de ofrecer un enfoque general del sistema bajo estudio y ubicación en el contexto del problema. También se incluirá un resumen en el cual se describe las causas que han dado origen al proceso de colonización agraria que se vive en la reserva, de igual manera se describen las principales consecuencia de este proceso de colonización. La información que contiene este resumen fue obtenida de las investigaciones realizadas en el proyecto GAIA Caso Venezuela, en Sánchez (1994) y en Jaimes (2004).

4.2 Características.

4.2.1 Ubicación: Esta reserva se encuentra ubicada al suroeste del Estado Barinas, como se observa en el mapa de ubicación aproximada de la Figura N° 4.1. Geográficamente está ubicada entre las siguientes coordenadas: 71° 3' 35" y 70° 28' 35" de longitud Oeste, 7° 18' 00" y 7° 39' 50" de latitud Norte.



Figura Nº 4.1 Localización de la Reserva Forestal de Caparo en el estado

4.2.2 Clima:

- **Precipitación:** La precipitación media anual en la Reserva Forestal de Caparo es de 1750 mm. Las lluvias son marcadamente estacionales, definidas en un período que va desde Marzo o Abril, hasta Diciembre, siendo Julio el mes más lluvioso.
- **Temperatura:** La temperatura media anual es de 24,6 °C. El mes más frío es Junio y el más cálido Febrero con una diferencia de temperatura entre estos de 3,1 °C. La variación diaria es mayor en los meses secos (12 - 15 °C) que en los meses lluviosos (4 - 10 °C).
- **Humedad Relativa:** La humedad relativa del aire (media mensual) oscila entre el 59% en Enero y 89% en Junio. La variación diaria va de un mínimo entre las 5 a.m y 6 a.m a un máximo entre la 1 p.m y las 2 p.m.

- **Vientos:** Los vientos dominantes se desplazan con dirección noreste, este y sureste, con una velocidad media, en la Unidad I, de 0,7 a 0,9 m/seg.

4.2.3 Geomorfología: La Reserva Forestal de Caparo se encuentra aproximadamente a 45 - 50 Km al pie de la Cordillera Andina, y a una altitud promedio de 100 - 120 msnm, sobre una planicie aluvial de desborde, con los materiales sedimentarios procedentes de la Cordillera de los Andes.

4.2.4 Topografía: La topografía del lugar puede considerarse plana con muy poca variación de alturas (menores de 2m.), que vienen dadas por la alternancia de diques, napas y cubetas, así como cauces abandonados.

El área es inundable en la época de lluvias, sin embargo, la permanencia de la inundación varía de acuerdo a la posición geomorfológica que determina el movimiento superficial del agua y del material dominante de los suelos. En la época de lluvias los diques drenan el agua con relativa rapidez hacia las zonas más bajas y de suelos menos permeables (bajíos y esteros) donde el agua permanece gran parte del año.

4.2.5 Vegetación: En la reserva la vegetación es compleja en cuanto a su estructura, composición florística y tipo de formación, siendo los principales factores que la determinan el carácter marcadamente estacional de las lluvias y las condiciones hídricas, geomorfológicas, edáficas y de permanencia de la inundación.

Por otra parte, las diferencias microclimáticas entre las áreas a campo abierto y el bosque son notables, particularmente en cuanto a la influencia de los vientos sobre la evaporación, siendo este efecto mínimo en los bosques.

El clima de transición entre el bosque seco tropical y el bosque húmedo tropical, permite el desarrollo de un bosque de hasta 30 m. de alto, denso, semideciduo, y esto a pesar de una sequía de varios meses.

La composición florística y la proporción de árboles deciduos del bosque varía mucho entre un suelo xeromórfico y otro con una capa freática accesible al sistema radicular de los árboles. Las selvas de galerías a lo largo de ríos y caños llaneros y sobre llanuras de elevadas capas freáticas, las cuales pueden aprovechar el agua edáfica durante la época seca, son un ejemplo típico de este fenómeno.

Los tipos de vegetación que destacan por su importancia y dominancia ecológica en la Reserva Forestal de Caparo son las selvas naturales y los herbazales (GAIA, 1998).

4.3 Problema de la deforestación.

Deforestación es un término ampliamente utilizado que tiene diferentes significados dependiendo del contexto en que se use. Por ejemplo, deforestación destructiva es aquella que agota los bosques que proveen flujos de bienes y servicios de alto valor, reemplazándolos con usos alternativos que producen bienes y servicios de menor valor.

Frecuentemente se asume que todas las deforestaciones son destructivas, pero algunos bosques pueden ser convertidos en desarrollos urbanos de alto valor o en desarrollos agrícolas, los cuales tienen un valor diferente al que tienen los servicios que pueda prestar el bosque, además de que la sociedad obtiene ciertos beneficios con el cambio de uso de la tierra. Sin embargo las deforestaciones son igualmente destructivas, ya sea en el caso de que los bosques sean convertidos en desarrollos urbanos o que sean expuestos a explotaciones agrícolas irracionales.

Gran parte de la deforestación en América Latina es causada por los procesos de colonización agraria (movimientos de población hacia tierras baldías, no explotadas o

subutilizadas). Venezuela también tiene serios antecedentes de explotación de los bosques motivada por estos procesos, tal como ocurrió en la década de los 80, cuando se presentaron altos índices de expansión de la agricultura y ganadería en bosques, cuyas consecuencias siguen hasta el presente. Con la finalidad de conservar el potencial ecológico del país, el Ejecutivo Nacional ha declarado Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, dentro de las cuales se encuentran las reservas forestales; pero lamentablemente, a pesar de la existencia de la normativa necesaria para la conservación de las mismas, los índices de deforestación en Venezuela son alarmantes. La reserva forestal de Caparo es un buen ejemplo de esta situación (M. Sánchez, 1994) (GAIA, 1998).

En el caso de Venezuela muchas áreas susceptibles a deforestación son consideradas como "reservas forestales", las cuales son grandes áreas boscosas de propiedad pública, que han sido decretadas como tal, para asegurar el abastecimiento de la industria forestal nacional. Por tanto, en las mismas, en teoría, no se permiten desarrollos urbanos o de cualquier otra actividad que afecte la sustentabilidad del bosque.

4.4 Proceso de colonización agraria.

En esta sección se mostrará como se da el proceso de colonización agraria en la reserva, tratando temas como la concentración de tierra, la explotación ilegal de la madera, entre otros.

4.4.1 Antecedentes de la Deforestación en Caparo (Causas).

A diferencia de otras reservas de Occidente, en Caparo el proceso de colonización se desarrolló, en sus fases iniciales, de manera progresiva, espontánea, no organizada, a consecuencia de lo cual la ampliación del frente agrícola fue paulatina, restringiéndose a aquellas áreas de mayor acceso: zona norte de la reserva y márgenes de los principales ríos y caños (Caparo, Uribante Viejo, Caño Anarú) (M. Sánchez, 1994). La explotación de madera se llevaba a efecto por vía clandestina y con permisos anuales en los sitios de

mayor accesibilidad, resultaron particularmente afectadas las especies cedro y caoba, cuyas rolas eran transportadas a través de caños y ríos.

Hasta mediados de la década de los sesenta, la Reserva Forestal de Caparo se mantuvo como la menos intervenida de las reservas forestales de occidente, dada su difícil accesibilidad, sobre todo en la época de lluvias cuando quedaba incomunicada por vía terrestre. Sin embargo, uno de los factores responsables del cambio fue su tardía inclusión en los planes de ordenación y manejo forestal. Sólo en 1985 se logra que todas sus unidades técnicas de manejo queden sujetas a contratos administrativos de explotación. Esta tardanza tiene varias causas, entre las que sobresalen los conflictos jurídicos por la posesión de las tierras, la oposición de los ocupantes, la contradicción de intereses entre los grupos madereros de la región y la extensión de los frentes de colonización (M. Sánchez, 1994).

En los últimos años, la mayor parte de la transformación de tierras públicas, originalmente boscosas, a la actividad agropecuaria bajo propiedad privada, dentro de reservas forestales, ha ocurrido sin autorización del Estado y con el apoyo de partidos políticos y de intereses económicos en las zonas afectadas.

4.4.1.1 Colonizaciones.

En el proceso de las colonizaciones se distinguen 3 posibilidades: Colonos por Agricultura de Subsistencia, Colonos Recurrentes y Colonos por Invasiones Organizadas.

En los 3 casos, el campesino invasor, desposeído y utilizado como fuente en los procesos de deforestación y acaparamiento de tierras, es a su vez el producto de la iniquidad social, de los insoportables niveles de pobreza y de marginalidad a que se encuentra sometida la mayor parte de la población, especialmente en el campo.

4.4.1.2 Concentración de Tierras.

Los terratenientes utilizan las deforestaciones hechas por los colonos, compran sus bienhechurías y adquieren cada vez mayores extensiones para fines pecuarios, fundamentalmente, actividad que desarrollan con rasgos de empresa capitalista. Este proceso caracterizado por la concentración de la propiedad, obliga al grupo inicial a desplazarse hacia nuevas fronteras o hacia el trabajo asalariado (M. Sánchez, 1994).

En la reserva existe una situación conflictiva muy fuerte debido a las negativas de los colonos a abandonar los terrenos invadidos, por lo cual causan problemas a las concesionarias y a todo aquel que pretenda desalojarles. A los terratenientes les conviene que la atención siga centrada en este tipo de conflictos y además están interesados en que los colonos permanezcan en el área ya que constituyen su fuerza de trabajo.

Obviamente, los terratenientes se encuentran favorecidos por muchos otros factores, dentro de los que se encuentran las influencias y los padrinazgos políticos que poseen muchos de ellos y gracias a los cuales, las leyes no han sido aplicadas como se debiera. Además, existen diversas entidades financieras que han otorgado créditos de explotación y manejo de fincas en terrenos de propiedad de la reserva. Para ello, los terratenientes se han valido de abogados y registros que se encargan de hacer títulos de propiedad falsos; un ejemplo de ello es que se han detectado anomalías y violaciones a la normativa legal por parte de las Delegaciones Agrarias Táchira y Barinas, que otorgan constancias de ocupación y títulos de propiedad dentro de la reserva.

4.4.1.3 Explotación Ilegal de Madera.

No se cuenta con información fehaciente respecto al proceder de los contrabandistas, sin embargo, durante las inspecciones de campo realizadas por los efectivos de la Guardia Nacional, así como del personal técnico de las empresas, se han observado en el área lotes de madera aserrada, tablones, motosierras, incluso vehículos haciendo movilización de estos productos dentro de la reserva (M. Sánchez, 1994).

La presencia del agente contrabandista en el área constituye un serio problema para la conservación y el funcionamiento de la reserva, ya que realiza una explotación de los recursos forestales sin ningún tipo de previsiones ni especificaciones técnicas, en cuanto a diámetro permisible de corte, árboles padres (semilleros), susceptibilidad ecológica del área, y por supuesto, los efectos sobre la masa remanente son drásticos, así como para las poblaciones de fauna y en general para los diferentes ecosistemas.

Un hecho que vale la pena considerar es el intercambio que establecen estos comerciantes con los ocupantes para obtener la posibilidad de explotar los árboles maderables ubicados en sus parcelas, ello ha creado en el ánimo de los ocupantes el derecho de cobrar participación y/o "peaje" a las concesionarias que laboran en el área por la explotación de la masa forestal remanente del proceso de ocupación y del proceso de explotación ilegal.

4.4.1.4 Intereses a favor de las invasiones.

En el apartado "Concentración de Tierras", ya se han explicado los intereses de los terratenientes a favor de las invasiones, pero lo que parece ilógico es que las concesionarias también estén interesadas en promoverlas. La explicación es muy sencilla, si el Gobierno no ha sido capaz de controlarlas mediante las Fuerzas Armadas, es obvio que esto sea mucho más difícil para una empresa maderera. Además, la concesionaria se ahorra muchos gastos si argumenta al Gobierno que no puede implementar las reforestaciones en la zona debido a que los colonos se han apoderado de la misma. De esta manera, se descarga muchas responsabilidades por sus manejos indebidos del bosque. Como consecuencia, la empresa hace la explotación de un lote y luego lo abandona para que éste pueda ser fácilmente invadido. Obviamente, este tipo de empresas no están interesadas en adquirir nuevamente en concesión dicha unidad de manejo.

4.4.1.5 Escasa Vigilancia y Control de la Zona.

El Gobierno sólo ha efectuado tres medidas para controlar los procesos colonizadores en la reserva. La primera de ellas, las reubicaciones, fueron eliminadas en 1976 debido a que a medida que éstas aumentaban, los colonos se sentían más incentivados por la esperanza de que, luego de invadir, el Gobierno les pagaría las bienhechurías realizadas, y además les ubicaría en un nuevo lugar de donde ya nadie les podría sacar. Aunado a lo anterior está el hecho de que, a medida que aumentaba el número de reubicaciones, disminuían las posibilidades ecológicas y económicas del lugar. La ley exigía que se le reubicara al colono en un lugar cercano al sitio de donde él se encontraba, pero cada vez era más difícil cumplir con esta condición. Como consecuencia, aumentó la disconformidad de los colonos respecto al lugar asignado y decidieron volver a invadir, cada vez en zonas con acceso más difícil, para que la próxima vez no fuese tan fácil dar con ellos.

El decreto 1.569 de 1.976 prohibió el reconocimiento a las indemnizaciones y se procedió seguidamente a ejecutar los desalojos. Ello derivó en un agudo conflicto social liderado por organizaciones políticas y sindicales que se percataron de la oportunidad para el clientelismo electoral campesino.

Las continuas negativas a los desalojos, junto a la violencia generada, hicieron que las medidas de desalojo fueran abandonadas. Los problemas con las Federaciones Campesinas y organizaciones políticas acrecentaron la presión para lograr desafectaciones. Es entonces cuando, en 1994, 2.150 Ha dejaron de formar parte de la reserva, restando sólo 174.284 Ha (la reserva inicialmente ocupaba 176.434Ha).

Este tipo de medidas ya se había llevado a cabo en otras reservas forestales del país, sin llegar a ningún resultado exitoso. Lamentablemente, en esta ocasión tampoco se logró frenar el avance de las invasiones, ya que los colonos invaden con la esperanza de que gracias a la presión ejercida por éstos (los colonos), el Gobierno acceda a desafectar

otra parte de la reserva y a concederles el terreno mediante medidas de "Reforma Agraria".

Es de hacer notar que la mayoría de las hectáreas que se lograban recuperar mediante los desalojos y las reubicaciones no eran integradas de manera inmediata a planes de reforestación, quedando abandonadas durante un buen tiempo y a la merced de nuevos invasores.

Otro elemento que atenta contra la integridad física de la Reserva Forestal de Caparo lo constituye la presencia de habitantes en la zona desde antes de que ésta fuese declarada como Reserva Forestal del país. Tal es el caso de las Sociedades Civiles "Comunidad Morales", y "Carrero Necker", las cuales por mucho tiempo han reclamado derechos de propiedad sobre terrenos de la reserva, generando situaciones de inseguridad jurídica, ya que ocupan tierras, presentan documentos, confunden dependencias, manejan a los ocupantes, impiden las labores de manejo forestal, aunque ya se han adelantado los estudios tendientes a controlar las acciones de estos agentes (M. Sánchez, 1994)(GAIA, 1998).

4.4.1.6 El fenómeno inaccesibilidad.

El piedemonte del estado Barinas tiene graves dificultades de transitabilidad, particularmente en época lluviosa cuando el bosque se inunda, lo que ocasiona inconvenientes tanto para la recolección de información como para la vigilancia y el control de la zona. Durante la década de los 60 y 70, Caparo fue la reserva menos deforestada del oeste de Venezuela debido a su difícil acceso, pero en la actualidad, tanto contrabandistas como invasores han aprovechado para ubicarse en zonas lo suficientemente inaccesibles como para no poder ser encontrados por la Guardia Nacional con facilidad.

4.4.1.7 Explotación selectiva.

La explotación de madera se concentra en unas pocas especies de alto valor comercial, conocidas como maderas preciosas. Esto es promovido, indirecta pero efectivamente, por el Gobierno Nacional, a través de la aplicación de impuestos y regalías relativamente insignificantes. A pesar de los aumentos que se han registrado desde 1993, el valor que el Estado le asigna a la madera extraída de los bosques nacionales varía entre tres y cinco dólares el metro cúbico. Mientras que el valor comercial de ese mismo producto en el mercado local oscila entre 140 y 260 dólares por metro cúbico. Las maderas más valiosas generan mayores ganancias, un poderoso obstáculo contra la extracción de especies menos valiosas, y contra esfuerzos por abrirles nuevos mercados (M. Sánchez, 1994)(GAIA, 1998).

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO V

MODELO DESCRIPTIVO O INFORMAL DEL SISTEMA

5.1 Introducción.

En la primera parte de este capítulo se muestra un resumen que contiene los aspectos más relevantes que definen el modelo descriptivo del proceso bajo estudio, basado en parte en los datos obtenidos en el proyecto de tesis de Jaimes (2004). Posteriormente se hace una descripción del sistema en forma explícita utilizando para ello algunas de las ideas que ofrece la simulación de sistemas sociales. Luego de presentar el modelo descriptivo correspondiente, se define una estructura general del modelo basada en agentes, tomando en cuenta la estructura desarrollada en Jaimes (2004), que ha sido complementada con la inclusión de nuevos actores y criterios, que permiten desarrollar un modelo mucho más elaborado y completo, en el cual se pueden observar algunos otros factores del comportamiento social que no fueron expuestos en la investigación anterior (Jaimes, 2004).

5.2 Modelo descriptivo del sistema.

La reserva forestal de Caparo forma parte de las áreas denominadas protegidas, definidas como regiones naturales de gran belleza escénica y de gran valor ecológico, por lo cual el uso fundamental de estas áreas se restringe a la protección de los recursos naturales que allí se encuentran. La mayoría de estas reservas están destinadas al aprovechamiento hidroeléctrico, a las reforestaciones y plantaciones así como a las investigaciones integradas, recreación pasiva, uso industrial sujeto a restricciones, entre otras actividades que al igual que las demás se rigen por una normativa legal que busca el aprovechamiento y la protección de estas zonas.

Desde hace varios años, la reserva forestal de Caparo se encuentra sometida a un proceso de destrucción progresivo que se ha venido desarrollando debido a las

actividades de colonización agraria que se dan en la zona. Estas actividades de colonización se ven favorecidas por algunos factores entre los cuales se tiene: falta de vigilancia, intereses políticos, económicos e institucionales que favorecen la participación de actores diversos con objetivos igualmente diversos.

El proceso de ocupación y cambio de uso de las tierras en la reserva se lleva a cabo con la invasión de campesinos a esta zona. El proceso de invasión puede resumirse de la siguiente manera: al ingresar el campesino a un sitio de la reserva, el sitio puede estar ocupado y/o vigilado, en cuyo caso procederá a la búsqueda de otro sitio, el cual puede a su vez estar deforestado, en este caso puede que se dedique al cultivo o, si el desgaste de la tierra es considerable, a la producción agropecuaria. Si el área es boscosa, el campesino procederá a la tala y la quema para destinar la tierra al cultivo; la madera extraída será vendida.

El proceso de invasión y ocupación de las tierras en las reservas nos muestra un factor determinante en el cual los sectores con mayor capacidad financiera (terratenientes) resultan más favorecidos, pues estos sectores aumentan sus predios gracias a la compra de tierras a los campesinos invasores; mientras que los campesinos no terratenientes acumulan poco terreno y/o reciben una cantidad relativamente pequeña de dinero por la venta de terreno.

5.2.1 Modelo descriptivo del sistema basado en ideas de simulación social.

La descripción del sistema utilizando ideas de la simulación social fue hecha tomando en cuenta tanto las limitaciones expuestas en el modelo de Jaimes como las limitaciones que se exponen en el desarrollo de este nuevo proyecto.

En la representación de sistemas sociales es fundamental modelar el comportamiento y el proceso cognitivo del grupo social involucrado, ya que las actividades generadas en el grupo dependen de estos dos factores, lo cual facilita el estudio de las actividades

desarrolladas en un sistema social o en la organización. En algunos casos, al modelar sistemas sociales se puede observar la forma en que emergen ciertos comportamientos en grupos sociales, comportamientos que no pueden ser descritos ni representados utilizando simulación tradicional, debido a que este tipo de simulación no permite la representación de factores del comportamiento social ni de procesos cognitivos.

La simulación social ofrece herramientas que permiten modelar el comportamiento y el proceso cognitivo de un grupo social, por esta razón se utilizan algunas ideas de simulación social en el trabajo de investigación desarrollado por Jaimes (2004), en el cual se estudia el proceso de ocupación y cambio de uso de la tierra en la reserva forestal de Caparo. En este, se estudia el comportamiento y el proceso cognitivo de los agentes (campesinos invasores), específicamente el proceso que involucra la toma de decisiones generadas al momento de decidir una posible invasión.

El proceso que involucra la toma de decisiones fue descrito tomando en cuenta el factor imitación, en el cual el agente campesino puede decidir invadir o no, dependiendo de si imita al vecino o por el contrario, decide de acuerdo a lo que cree y prefiere por si mismo. Por otra parte, el campesino puede verse influenciado por el Estado o por organizaciones político-sindicales (esta última no fue implantada en el modelo de Jaimes). En el primer caso la sugerencia es no invadir, mientras que en el segundo se le incita a invadir. El factor imitación va acompañado de un proceso de aprendizaje, en el cual el agente aprende tanto de sus acciones pasadas como de las acciones emprendidas por sus vecinos.

Con el objeto de ampliar y complementar el proyecto de investigación desarrollado por Jaimes, se pretende expandir el modelo del sistema bajo estudio, modelando otros factores inherentes al comportamiento social que pueden aparecer en la interacción de los grupos que habitan la reserva. Entre los factores a modelar se encuentran: la negociación de tierras que incluye la escasez de espacio en la reserva, la inclusión y/o

eliminación de agentes (campesinos invasores) en el tiempo, y la inclusión del agente promotor de invasiones.

El proceso de negociación se describe para el caso, como una compra y venta de tierra, en la cual se toman en cuenta varios criterios de decisión que permiten decidir una posible compra-venta entre los agentes involucrados. La negociación se da de la siguiente manera:

- Cualquier campesino podrá comprar terreno siempre y cuando su valor del endoso para la acción *Invadir* sea mayor que el valor de su endoso para la acción *noInvadir*. Esto se supone de esta manera dado que el campesino al observar sus acciones pasadas (la acción de *Invair* o la de *noInvadir*), podrá evaluar que tan conveniente le resulta continuar obteniendo tierra.
- Luego el campesino que tenga un mayor valor para el endoso de la acción *Invadir*, evalúa el acumulado de terreno de sus vecinos, si entre sus vecinos hay uno o más que tengan menor terreno que él, selecciona a alguno de ellos para comprar cualquiera de los punto ocupados por este campesino seleccionado.
- El campesino seleccionado, es decir, el vendedor, en caso de tener más de una oferta de compra, realiza un proceso de evaluación en el cual decide vender a aquel campesino que tenga más terreno entre todos los ofertantes, pues este puede ofrecer mejores precios de compra.

La inclusión de agentes en el tiempo se describe como el promedio de campesinos que ingresan a la reserva cada año, con el objeto de invadir y ocupar las tierras en esta zona.

La eliminación de agentes en el tiempo se presenta en el modelo de dos maneras:

- Como una opción que puede o no tomar el agente, una vez que ha vendido las tierras que ocupaba; es decir, cuando el campesino no posee terrenos acumulados, puede decidir invadir o no. En el primero de los casos continua en la reserva y en el segundo decide abandonarla, quedando de esta forma eliminado del grupo de colonos (de nuevo, la decisión de invadir o no invadir está basada en el modelo cognitivo que el agente posee).
- Una decisión que toma el Estado, en la cual se desaloja un número determinado de agentes por año. Este caso tiene otras repercusiones. Por ejemplo, los agentes pueden retirarse de la reserva y regresar o no más tarde, o simplemente invadir un terreno menos vigilado. Estas otras repercusiones no serán modeladas en este proyecto.

5.3 Estructura general del modelo basado en agentes.

Utilizando la descripción del modelo basado en las ideas de simulación social, ofrecida arriba, será desarrollada una estructura general del sistema basada en agentes que incluya los criterios estructurales definidos en el trabajo de investigación desarrollado por Jaimes, así como otros factores del comportamiento y del proceso cognitivo del agente campesino.

La estructura del modelo muestra un esquema detallado que describe el modelado de agentes para el proceso de colonización agraria desarrollado en la reserva, incluyéndose el modelo de conocimiento utilizado por el agente en la representación del proceso que involucra la toma de decisiones.

5.3.1 Modelado de agentes.

5.3.1.1 Identificación de los actores.

En el proceso de colonización agraria desarrollado en la reserva se distinguen los siguientes tipos de actores (otros actores, tal como las concesionarias, no se considera en este trabajo, dado el alcance limitado de una tesis de pregrado, quedando para futuras ampliaciones de este modelo):

- Campesino.
- Estado.
- Organizaciones Político-Sindicales.

5.3.1.2 Definición de los agentes.

Una vez identificados los actores que intervienen en el proceso de colonización agraria se procede a la definición de los agentes del modelo, los cuales se corresponden con los respectivos actores previamente identificados.

5.3.1.2.1 Agente Campesino.

- Descripción: Se denomina Agente Campesino a un individuo de bajos recursos que pertenece a la zona de reserva y labora en ella, ya sea como trabajador de un terreno para su propia subsistencia o bien como obrero asalariado de un fundero, quien generalmente se desempeña como peón, caporal o jornalero. Luego de acumular terreno, un campesino puede convertirse en un terrateniente.
- Ubicación: Dentro del área de la reserva.

- Objetivos:
 - ◆ Invadir terreno.
 - ◆ Vender madera.
 - ◆ Cultivar para subsistir.
 - ◆ Compra y/o venta de terreno.
 - ◆ Producción ganadera.
- Actividades:
 - ◆ Invadir.

En la acción de invadir el agente campesino procede a:

- Ubicar sitio: El sitio puede estar desocupado, ocupado, vigilado por FAN (Fuerza Armada Nacional), puede ser bosque o desforestado. Dependiendo de los casos anteriores el campesino decidirá establecerse o buscar otro sitio.
- Cultivar: Si el área en la que se ubica es boscosa, el campesino procede a talar y quemar para posteriormente sembrar y cultivar la tierra. Si por el contrario el área está desforestada sólo siembra y cosecha.
- Cambio de trabajo en tierra: Si el área donde se ubica tiene de 3 a 5 años de cultivada, el campesino se dedicará a la siembra de pastizales para la producción ganadera.

◆ Compra de tierra.

El proceso de compra se da de la siguiente manera:

- Si el campesino decide la compra, dado que el valor para el endoso de la acción *Invadir* resulte mayor que el valor del endoso de la acción *noInvadir*, busca entre sus vecinos a aquel que tenga menor terreno que él, de ser así ofrece comprar a este vecino. Si se da el caso de que hay más de un vecino que cumpla tal condición, el campesino escoge al azar uno entre ellos. Por el contrario, si no se puede seleccionar a ningún campesino no se efectua ninguna oferta de compra.

◆ Venta de tierra.

Si el campesino vendedor recibe varias ofertas de compra debe escoger entre los compradores a aquel que posea la mayor cantidad de tierra, dado que este podrá ofrecer mejores beneficios económicos. Si por el contrario, sólo existe un comprador, la venta se efectuará a este comprador.

- Este agente se relaciona con: Otros agentes del tipo Campesino, Controlador y Motivador.

5.3.1.2.2 Agente Controlador.

- Descripción: Esta representado por el Estado, e implementado por las FAN, aunque en los últimos años también se ha observado que el Frente Bolivariano de Liberación “FBL”, realiza tareas de este tipo. La tarea de este agente es emitir normativas que regulan el uso de espacio y procesos de desarrollo en la reserva.
- Ubicación: Dentro y fuera de la reserva.

- Objetivos:
 - ◆ Formalmente, este agente persigue el manejo sustentable, control de la explotación y vigilancia de la reserva.
- Actividades:
 - ◆ Desaloja a los invasores.
 - ◆ Influye en las decisiones tomadas por el agente campesino de manera que este decida no invadir.
- Se relaciona con: Agentes del tipo Campesino y Motivador.

5.3.1.2.3 Agente Motivador (u organizaciones político-sindicales).

- Descripción: (Organizaciones Político-Sindicales, Unidad Bolivariana de Trabajadores “UBT”). Incluye el conjunto de organizaciones que representa a la sociedad civil de la zona en defensa de sus intereses. Utiliza su condición de dirigente sindical para fomentar el proceso de ocupación de espacios en la reserva para lograr así beneficios políticos.
- Ubicación: Fuera de la reserva.
- Objetivos:
 - ◆ Ofrecer a sus agremiados la representación y defensa de sus intereses ante el Estado, logrando así, solapadamente, incrementar su capital político en la región.

- Actividades:
 - ◆ Incentivar invasiones a través de la asignación de lotes de terreno y concediendo títulos comunitarios.
- Se relaciona con: Agentes del tipo Campesino y Controlador.

5.3.1.3 Modelo de conocimiento del agente.

Mostraremos ahora un modelo de conocimiento que incluye tanto los factores descritos en el modelo de conocimiento sugerido en Jaimes (2004), como los factores descritos para esta nueva investigación.

5.3.1.3.1 Modelado del proceso de invasión.

Las acciones que el agente debe ejecutar en cuanto a la decisión de invadir o no invadir, dependen de sugerencias externas como la imitación a las acciones de otros agentes, o de acuerdo a lo que cree prefiere por si mismo. El agente campesino toma la decisión de invadir o no invadir considerando sus propias acciones, las de sus vecinos y las sugerencias de agentes externos (Controlador, Motivador).

Para modelar estos aspectos Jaimes utiliza el mecanismo de endosos (Cohen, 1985), que permite representar la manera en la cual el agente puede recordar una sugerencia pasada, junto con el endoso o lista de endosos que representa la fuente de la sugerencia, y de esta forma utilizar experiencias pasadas para tomar decisiones en un futuro. Acá se usa el mismo mecanismo, aunque con algunas variaciones en los parámetros y en su implementación.

Este mecanismo permite representar la forma en la cual un agente puede guardar en su base de datos decisiones pasadas, así como las acciones que determinaron esta

decisión. Luego este conocimiento es usado para decidir acciones futuras, dándose así un aprendizaje en el agente.

En este modelo se endosan las acciones “Invadir” y “noInvadir”, utilizando calificativos o etiquetas que indican cual fue la fuente de imitación que dio paso a esta decisión. Las etiquetas que determinan la fuente de imitación son: “imitaVecino”, “escuchaControlador” y “escuchaSimismo”, incluyendo ahora como parte de la continuación del modelo una nueva fuente de imitación representada a través de la etiqueta “escuchaMotivador”.

El mecanismo de endosos utiliza la ecuación:

$$E = \sum_{e_i \geq 0} b^{e_i} - \sum_{e_j < 0} b^{|e_j|},$$

en la cual se calcula la sumatoria de endosos correspondiente a una acción o a un modelo de decisión determinado.

La variable b toma el valor asignado por el programador, los e_i representan las etiquetas, las cuales tomaran valores de acuerdo al peso asignado a cada factor que interviene en el proceso.

En el modelo presentado en esta investigación, se supone que la base b toma el valor 1.2, mientras que los factores correspondientes a los e_i se representan a través de las etiquetas. Si el agente pertenece al tipo *Imitador* estas etiquetas tomarán los valores: *imitaVecino* 4, *escuchaSimismo* 3, *escuchaMotivador* 2 y *escuchaControlador* 1. Si el agente pertenece al tipo *escuchaControlador* las etiquetas tomarán valores: *imitaVecino* 2, *escuchaControlador* 4, *escuchaSimismo* 3 y *escuchaMotivador* 1. Por el contrario, si el agente pertenece al tipo *escuchaMotivador* los valores asignados a las etiquetas se

corresponderán con: *imitaVecino* 2, *escuchaControlador* 1, *escuchaSimismo* 3 y *escuchaMotivador* 4.

Al aplicar este criterio se pretende describir la manera en la cual el agente asigna un peso determinado a cada factor de imitación, dependiendo de si este actúa más como un imitador, como un agente que toma en cuenta las acciones del ente controlador, o como un agente que rige sus acciones de acuerdo a lo sugerido por el agente motivador.

En tal sentido el agente campesino evaluará los endosos de invadir y no invadir que se tienen acumulados en el tiempo, con el fin de tomar la decisión de invadir siempre y cuando el endoso invadir tenga mayor valor que el endoso no invadir, en caso contrario la decisión a tomar será la de no invadir.

Ilustraremos el proceso de invasión con un ejemplo de endosos donde se observan algunos de los factores correspondientes al proceso de invasión descritos hasta ahora.

Supongamos que se utiliza el esquema de endosos correspondientes al agente campesino tipo *Imitador*, el cual está sesgado a imitar lo que hacen los agentes de su entorno, por lo que da mayor peso a lo que dicen sus vecinos. Recordando los valores de las fuentes de imitación correspondientes, se presenta en la Tabla N° 5.1 un esquema de endosos para el caso.

| Etiqueta | Valor |
|---|--------------|
| ImitaVecino | 4 |
| EscuchaControlador | 1 |
| EscuchaSimismo | 3 |
| EscuchaMotivador | 2 |
| Modelo de esquema tipo: "Imitador" | |

Tabla N° 5.1 Esquema de Endosos

En el programa, la regla correspondiente a la acción del agente en el primer año le ofrece al campesino la posibilidad de invadir o no invadir de forma probabilística, dado que el conocimiento del agente al comienzo de la simulación es nulo. Para tal acción, cualquiera sea ésta, se decide asignar la etiqueta *imitaVecino*.

Supongamos que el agente considerado para este ejemplo es de tipo *Imitador* y que toma la decisión de invadir, siendo endosada esta primera acción con la etiqueta *imitaVecino*.

A partir del segundo año este agente decide probabilísticamente si imita a un vecino, se imita a sí mismo, escucha al *Controlador* o escucha al *Motivador*, de acuerdo a los pesos de las etiquetas correspondientes. Supongamos que en el segundo año el resultado probabilístico es escucharse a sí mismo. Una vez que el campesino decide escucharse a sí mismo se procederá a la evaluación de las posibles acciones *Invadir* y *noInvadir* utilizando las asignaciones parciales de endosos a través de las etiquetas que se tengan acumulados hasta el momento para cada caso, con el fin de comparar estos valores y tomar una decisión basada en el endoso (total) que resulte mayor.

Se calcula, entonces, el endoso *Invadir* evaluando en la ecuación de endosos las etiquetas que se tengan hasta el año anterior (primer año, para este caso). Dado que en el primer año fue endosada la acción *Invadir* con la etiqueta *ImitaVecino* se evalúa en la ecuación de endosos esta etiqueta con un valor de 4 (dado que el campesino es tipo *Imitador*):

$$E = 1.2^4 = 2.0736$$

El valor del endoso para la acción *Invadir* es de 2.0736, mientras que el valor del endoso para la acción *noInvadir* es 0 (cero), debido a que el agente no ha endosado parcialmente o etiquetado tal acción hasta el momento. Al efectuar la comparación

resulta mayor el valor del endoso *Invadir*, por lo cual el campesino tomará la decisión de invadir.

De esta forma se endosa la acción de invadir con la etiqueta que indica la fuente de imitación (*escuchaSimismo*) que dio paso a esta decisión, con la finalidad de evaluar, posteriormente, en la ecuación del endoso *Invadir* esta nueva fuente de imitación.

Supongamos que en una tercera oportunidad probabilísticamente el agente decide imitar a uno de sus vecinos y que la última decisión que tomó este vecino fue no invadir, entonces el campesino tomará esta misma decisión. Por lo tanto se endosa esta acción con la etiqueta *imitaVecino*.

Supongamos que en una nueva oportunidad este agente toma una decisión escuchándose a sí mismo, por lo cual procede a evaluar los endosos totales de *Invadir* y *noInvadir* utilizando las etiquetas que tiene hasta el momento:

Para la acción *Invadir* se tiene:

$$E = 1.2^4 + 1.2^2 = 3.5136$$

Para la acción *noInvadir* se tiene:

$$E = 1.2^4 = 2.0736$$

Como podemos observar la acción con mayor valor de endoso es *Invadir*, por ende el campesino tomará la decisión invadir, endosando esta decisión con la etiqueta correspondiente.

En caso de utilizar el esquema de endosos correspondiente al tipo de agente *escuchaControlador* o *escuchaMotivador* se aplica el mismo procedimiento, pero utilizando los valores de las etiquetas o calificativos de las fuentes de imitación asignados para este tipo de esquema.

Es así como se desarrolla el proceso de toma de decisiones para el caso de una posible invasión utilizando el mecanismo de endosos.

Finalmente es importante destacar que el mecanismo de endosos puede ser utilizado de varias formas, según sea el caso del proceso cognitivo a representar. Para el caso particular desarrollado en este proyecto, la ecuación de endosos se utiliza en forma tal que la sumatoria del lado derecho, la que se resta en la ecuación de endosos, toma un valor de cero, debido a que los e_i incluidos en este modelo se asumen positivos.

En otros casos, los factores correspondientes a los e_i pueden tomar valores negativos de acuerdo a la manera en la cual el programador decida asignar estos valores. Para ampliar la acotación mostraremos el ejemplo de endosos propuesto por el Prof. Carlos Domingo en Jaimes (2004), este ejemplo muestra la asignación de valores positivos y negativos a los factores de endosos (e_i).

Supongamos un proceso de compra y venta de un producto, en el cual participan un conjunto de consumidores que compran los productos ofrecidos por los productores o vendedores. Un agente consumidor elige un comprador evaluando los siguientes factores:

| Endoso | Valor |
|-----------------------------------|-------|
| E ₁ : Precio | 1.2 |
| E ₂ : Entrega a tiempo | 0.8 |
| E ₃ : Calidad | 1.3 |

Tabla N° 5.2. Valores para las etiquetas endosadas

Después de actuar el agente endosa al vendedor de acuerdo a si ha ofrecido un buen precio, entregó a tiempo, o si el producto es de buena calidad, en cuyo caso asigna las etiquetas al vendedor con valor positivo. En caso contrario, si falla en alguno de los factores nombrados anteriormente, asigna el endoso con valor negativo.

Para ilustrar esto, imaginemos un comprador que observa varios vendedores.

Para el vendedor-1, supongamos que el comprador a *observado* o registrado según su experiencia los siguientes hechos y etiquetas o fuentes de evaluación: e₁ (buen precio) y e₃ (buena calidad). Nótese que no ha observado entrega a tiempo, por lo que este factor se toma como negativo en la ecuación de endosos. Al calcular el endoso para este agente se tiene:

$$E = 2^{1.2} - 2^{0.8} + 2^{1.3} = 3.018$$

Para el vendedor-2, supongamos ahora que el comprador a observado: e_i (buen precio) y e₂ (entrega a tiempo). Para este caso no se ha observado una buena calidad del producto, por lo cual este factor se asume como negativo en la ecuación de endosos. Al calcular el endoso para este agente se tiene:

$$E = 2^{1.2} + 2^{0.8} - 2^{1.3} = 1.57$$

Finalmente calculamos el valor de endoso para el vendedor-3. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

| Vendedor | Valor de endoso | e ₁ | e ₂ | e ₃ |
|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Vendedor-1 | 3.018 | + | - | + |
| Vendedor-2 | 1.516 | + | + | - |
| Vendedor-3 | 1.96 | - | + | + |

Tabla N° 5.3. Valor de los endosos para los vendedores 1, 2 y 3.

De esta forma el agente puede elegir al mejor vendedor escogiendo aquel que proporcione un valor mayor de endosos, o puede elegir al azar a través de una distribución uniforme con probabilidades proporcionales a los endosos.

Como podemos observar el proceso de ocupación (invasión) que se da en la reserva se representa acá a través del mecanismo de endosos, sin embargo, existen procesos y representaciones mentales implícitos en el patrón de comportamiento imitación, descritos según Conte (1994) como necesarios para que se de la imitación como parte del aprendizaje social.

Presentamos a continuación algunos de los aspectos relacionados con el proceso de imitación descritos por Conte en su artículo *Intelligent Social Learning*, con el fin de mostrar un marco de referencia que sea utilizado como base teórica sobre la cual se sostengan muchos de los supuestos correspondientes al proceso de imitación descrito en el modelo.

Conte en su artículo define el aprendizaje social como un fenómeno por medio del cual un agente modifica su conocimiento (agregando o removiendo información, o modificando una representación existente), a través de la percepción de efectos positivos o negativos de cualquier evento relacionado o activamente producido por otro agente, en un estado del mundo que el agente tiene como su objetivo. Conte describe a su vez dos

procesos considerados fundamentales para el aprendizaje social, ellos son: la **facilitación** y la **imitación**.

La facilitación es definida por Conte como un mecanismo por medio del cual un agente modifica su conocimiento, incluyendo conocimiento social, a través de la observación de otros, de sus características y comportamientos, y posiblemente infiriendo sus estados mentales. De igual forma define a la imitación como un comportamiento que se rige por el objetivo que se ha propuesto un agente determinado, de ser parecido o actuar parecido a otro agente M, siempre y cuando M sea percibido como un modelo apropiado bajo una cierta circunstancia.

Como podemos observar la facilitación está relacionada, entonces, con el estar expuesto a cierto comportamiento y tener ciertas creencias que consideran tal comportamiento de interés (trayendo nuevos conocimientos), pero no hay intención u objetivo a ser o comportarse como otros, como ocurre en el caso de la imitación.

La imitación implica a su vez que si el comportamiento imitado no continua siendo apropiado, según el objetivo propuesto por el imitador (por ejemplo la circunstancia ha cambiado), entonces este comportamiento no seguirá siendo imitado.

Conte argumenta que la imitación como proceso contiene dos aspectos fundamentales: i) los agentes que imitan confían usualmente en la fuente de imitación; y ii) las frecuencias de ocurrencia del fenómeno observado incrementan la posibilidad de imitar.

Los aspectos que son imitados comúnmente, según lo describe Conte son: comportamientos, algunas veces junto a nuevos significados y contextos; habilidades; estados mentales; estándares y criterios.

Conte también describe los procesos y representaciones mentales considerados como necesarios para la imitación. Estos procesos y representaciones se muestran a continuación:

- Creencias sociales, esto incluye: Información acerca del agente fuente (agente imitado), sus estados mentales y estatus; información acerca de la credibilidad, confiabilidad, etc.
- Razonamiento social: Esto significa capacidad para inferir acerca de los objetivos y creencias del agente fuente, a partir de su comportamiento o apariencia.
- Objetivos sociales relativizados³: Comprenden los objetivos sociales relativizados a las creencias, es decir, objetivos del tipo: ser como y comportarse como la fuente.

Finalmente Conte concluye que un agente determinado puede resolver problemas a través de la imitación (por ejemplo, como tener una mejor manera de vivir), lo cual lo favorece minimizando costos y riesgos al aceptar lo que observa de otros (experiencias, acciones de otros).

Ahora presentamos un análisis del modelo de imitación desarrollado para el proceso de ocupación en la reserva, utilizando los argumentos expuestos por Conte en su artículo, con el fin de mostrar la relación entre los procesos y los supuestos descritos acá y los aspectos mencionados y argumentados por Conte.

³ Traducción del término del inglés *relativised*, que no es traducido como relativo, dado que su significado es más específico, con sentido en un contexto determinado por circunstancias muy particulares.

Algunos aspectos son modelados, en esta tesis, implícitamente en el proceso de ocupación a través de la imitación (por ejemplo los objetivos) mientras que otros se representan de forma más explícita (por ejemplo comportamiento y aprendizaje en términos de endosos y espacio de problemas).

Los campesinos que se mueven a la reserva no sólo modifican su conocimiento al percibir a los campesinos que ya están en la reserva, si no, que además, toman los objetivos de éstos y a su vez se comportan como éstos (por ejemplo, invadir terreno). Por lo tanto, de acuerdo con las definiciones que da Conte arriba, los colonos tienen aprendizaje social mientras imitan.

En términos de los procesos y representaciones mentales necesarios para la imitación se muestra acá cómo se modelan cada uno de estos aspectos en el modelo de imitación desarrollado:

- Creencias sociales. Para ilustrar como se modelan estas creencias acá, considere la decisión más importante que un campesino toma: i) invadir o, ii) no invadir.

La decisión del campesino se relaciona no solamente con el comportamiento de la fuente, sino también, aunque indirectamente, con su estado mental. Se relaciona con el estado mental dado que lo que es copiado por el agente que imita también es copiado a veces por el agente fuente – es decir, algunas veces la fuente endosa su propia decisión -. Así, ambos, el imitador y la fuente, eventualmente endosarían la misma acción, aunque evaluándolo o pesándola de forma diferente: en el primer caso la etiqueta sería *imitarVecino*, mientras que en el segundo caso la etiqueta sería *escuchaSimismo*, reconociendo así la subjetividad y relativismo de cada agente. De esta manera, cuando se endosa, un imitador registra no solamente la decisión de la fuente sino también aspectos de su comportamiento y estado mental.

En cuanto a la credibilidad y confiabilidad, un campesino cualquiera asume alta credibilidad y confiabilidad de la fuente. Sin embargo, la confianza respecto a una acción, por ejemplo invadir, se incrementa a medida que el colono endosa esta acción en decisiones subsecuentes. Así que, también aquí, el mecanismo de endosos ayuda a la representación de aspectos de imitación como la frecuencia de ocurrencia del fenómeno imitado – preferencia se da a las acciones endosadas repetidamente -.

Dado que las opciones de los agentes en el modelo, usualmente se limitan a vender o comprar tierra, por un lado, y ocupar tierra, por el otro lado; sin preocuparse de otros asuntos en la reserva; no es necesario modelar con mucho detalle las creencias. Más bien, en simulación social, *se da énfasis al estudio de las propiedades emergentes del sistema simulado, a través de la representación de la interacción social y el proceso de toma de decisiones de manera apropiada, sin hacer el modelo demasiado complejo y computacionalmente inmanejable.*

- Razonamiento social. Cuando un campesino percibe una fuente ejecutando cierta acción, por ejemplo, ocupando tierra, él implícitamente asume que la fuente realmente cree que ésta es una buena acción, es decir, que la fuente piensa que éste campesino obtendrá beneficios de esta acción y actúa de forma consistente con sus creencia y objetivos. El campesino no supone que la fuente actúa de una manera aparentemente diferente a su intención real. Un comportamiento como éste ha sido observado en la reserva forestal de Caparo. Este tipo de comportamiento no se da siempre en sistemas sociales, por ejemplo, esto sería diferente cuando un agente asume que el agente imitado está jugando cartas contra él.

- Objetivos sociales relativizados. Un campesino se muda a la reserva porque tiene como objetivo mejorar su vida a través de la ocupación de terreno. Esta creencia viene de la percepción de que quienes usualmente ocupan la reserva acumulan tierra y mejoran así su manera de vivir. Obviamente, esta actividad debe tener algunas desventajas, y/o dificultades, aparte de la competencia entre campesinos (de otra manera, los campesinos invadirían o ocuparían tierra permanentemente). Un campesino cree que él tendrá algunos beneficios luego de ocupar la tierra, dado que puede cultivarla, dedicarse a la actividad ganadera o venderla.

Estas creencias permiten a los campesinos crearse dos objetivos relativizados: mejorar su manera de vivir convirtiéndose en un campesino más de la reserva (ser como otros) e invadir tierra en la reserva (comportarse como otros). Ambos, las creencias y los objetivos relativizados son fortalecidos por la frecuencia del fenómeno, es decir, si muchos campesinos van a la reserva y son exitosos, entonces los demás campesinos que observan tendrán una creencia y una confianza fuerte de que esto representa un buen curso de acción a seguir.

5.3.1.3.2 Modelado del proceso de negociación compra-venta de tierras.

El modelo de conocimiento descrito en el proceso de negociación compra-venta de tierras, desarrollado como parte de la continuación del modelo, se efectúa: a) en principio utilizando el esquema de endosos sobre el cual se basa parte del modelo de conocimiento del agente campesino; b) continuando con un proceso de evaluación, en el cual se estima el poder adquisitivo del agente en términos de terreno, para luego tomar una decisión de compra-venta en base a este poder adquisitivo.

El agente utiliza su esquema de endosos para calcular los valores correspondientes a los endosos de las acciones *Invadir* y *noInvadir*. Una vez calculados ambos endosos se verifica cual de ellos tiene mayor valor, si resulta mayor el valor del endoso de la acción *Invadir*, el campesino evalúa el poder adquisitivo de sus vecinos en términos de terreno,

calculando la cantidad que posee cada uno de estos, al fin de ofertar la compra a un campesino que resulte con menos terreno que él; si resulta que no hay campesino con menor terreno que él, entonces no efectúa ninguna oferta de compra. Por el contrario, si resulta mayor el valor del endoso para la acción *noInvadir*, el agente no realiza ninguna evaluación acerca del poder adquisitivo de sus vecinos, dado que sus experiencias pasadas no favorecen una nueva invasión y, por ende, una compra.

El proceso bajo el cual se desarrolla el esquema de venta involucra un conjunto de acciones en las que el posible vendedor recibe las ofertas de compra, para luego seleccionar, entre éstas, a aquel campesino que tenga mayor poder adquisitivo, partiendo del supuesto de que los campesinos con mayores extensiones de terreno ofrecerán mejores precios de compra, o mayor beneficio.

Dado que el proceso de evaluación sobre el cual se estima el poder de compra del agente, no se basa totalmente en un mecanismo específico como el modelo de endosos, para el caso de la toma de decisiones, se utiliza un marco de referencia teórico basado en el análisis de varios artículos de revistas, donde se usa la simulación multiagente para modelar procesos de negociación.

En estos artículos son expuestos con bases teóricas y muy buenos argumentos algunos de los factores descritos en nuestro modelo de negociación, de igual manera se refutan algunos otros aspectos sobre los cuales se basa la forma tradicional de modelar la toma de decisiones en economía y en administración, específicamente la teoría de juegos, considerada tradicionalmente como la teoría más apropiada para describir los proceso de negociación.

A continuación mostramos los aspectos más resaltantes del proceso de negociación expuestos en estos artículos.

I) Artículo de Bruce Edmonds y David Hales (2004). When and Why Does Haggling Occur? -Some suggestions from a qualitative but computational simulation of negotiation.

En el modelo de simulación desarrollado y presentado por Bruce Edmonds y David Hales denominado When and Why Does Haggling Occur? (¿Cuándo y por qué la disputa ocurre?), se muestran algunos aspectos de la negociación referidos a la interacción de agentes, donde se observa la búsqueda de acuerdos, conforme a los distintos puntos de vista de cada uno de los agentes involucrados.

Este modelo resalta la diferencia entre negociar para encontrar una solución cualquiera, y negociar para obtener la mejor solución, conforme a los distintos puntos de vista de cada agente. Este segundo tipo de negociación se conoce como “haggling”, y nosotros lo traduciremos como “la disputa”.

Específicamente, en el modelo se relacionan las creencias de los individuos con la acción de causa y efecto que se presenta en el proceso del diálogo de la negociación.

Indican Edmonds y Hales que, según Van Boven y Thompson (2001), la negociación debe ser vista como un proceso en el cual los negociadores usan modelos mentales como guías hacia la solución de un problema determinado dentro de una empresa. Boven y Thompson definen a los modelos mentales como representaciones cognoscitivas que especifican las relaciones causales dentro de un sistema, permitiendo así a las personas (en nuestro caso a los agentes) el poder entender y resolver problemas en ese sistema.

De acuerdo a esta descripción Edmonds y Hales definen a la negociación como un proceso que va más allá de la disputa simple, la cual consiste en solo buscar la mejor solución. La negociación se define, de acuerdo a esto, como la búsqueda de una solución mutuamente aceptable para los agentes participantes basada en la comunicación, en la

cual se toman en cuenta los diferentes niveles de satisfacción que se producen como resultado de las distintas creencias presentes en cada uno de los agentes.

Bruce y David distinguen diferentes niveles de comunicación involucrados en el proceso de la negociación. El nivel más básico de comunicación llamado regateo de acción, involucra el intercambio de ofertas y demandas de las acciones por parte de los participantes.

El segundo nivel es el intercambio de puntos de vista (creencias) acerca del dominio o contexto de la negociación (acerca de los posibles estados del contexto, y, en particular, creencias-reglas acerca de cómo estos estados pueden cambiar debido a las acciones de los agentes), en el cual las acciones de los participantes podrían cambiar conforme a este intercambio de ideas.

El tercer nivel es el intercambio de metas. Afirman Edmonds y Hales que este nivel es poco entendido, en tal sentido estos autores se concentran únicamente en el intercambio de los puntos de vista más que en un cambio o reformulación de metas, pues hasta ahora, afirman, no se han encontrado indicios de cuándo y cómo esto ocurre.

Por otra parte, estos autores rechazan algunas ideas formuladas en el modelado tradicional de la negociación, en el cual se describe a las personas como individuos que necesariamente comparten una misma visión del mundo así como también las mismas creencias (se supone homogeneidad de los agentes). Este rechazo se debe a que hasta ahora no existe ninguna evidencia que compruebe estas suposiciones. Sin embargo, estos autores aceptan la idea de, que en algunos casos, las personas involucradas en un proceso de negociación puedan tener la misma visión del mundo e incluso compartir las mismas creencias, hasta cierto punto, pero esto, por lo general, no es el caso.

II) Artículo de Scott Moss (2001). *Game Theory: Limitations and an Alternative*.

En este artículo, Moss trata de identificar características corrientes en la Teoría de Juegos, con el fin de mostrar cuan alejada se encuentra la literatura orientada hacia la Teoría de Juegos de las observaciones empíricas que se tienen hasta ahora. A su vez presenta una alternativa a esta teoría, basada en la Simulación Social de Sistemas Multiagentes, que puede ser aplicable a la simulación en procesos de negociación, resolución de conflictos, entre otros.

El contenido de este artículo se basa en el análisis del material publicado por la revista *Journal of Economic Theory* (1999), de los cuales fueron seleccionados todos aquellos artículos que tratan la Teoría de Juegos. Del total de artículos revisados sólo siete de ellos se referían a juegos entre dos actores, mientras que sólo uno trataba el juego entre tres actores. Así se observa una primera limitación en la Teoría de Juegos, dado que usualmente considera muy pocos actores (tres o menos).

A continuación se presentan dos de las características más resaltantes sobre las cuales, según Moss, se basa la Teoría de Juegos:

Primero, en juegos compuestos de dos a tres actores la motivación viene dada por funciones de utilidad convexas y continuas, en las que se observa la maximización de recursos por parte de los actores involucrados.

Segundo, los actores que interactúan en estos juegos poseen conocimientos en cuanto al futuro y al presente de los demás actores; es decir, en cuanto al futuro pueden tener conocimiento perfecto e ilimitado, y, en cuanto al presente, pueden tener conocimiento de todas las acciones en las posibles coaliciones entre actores.

Estos supuestos sobre los cuales se sostiene la Teoría de Juegos son poco realistas, pues describen a los actores que intervienen en estos juegos como individuos que poseen

conocimiento ilimitado y asumen funciones de utilidad nunca observadas. El supuesto de conocimiento ilimitado es una suposición muy fuerte y totalmente fuera de la realidad, pues las personas poseen racionalidad limitada, en tal sentido el individuo es limitado por sus habilidades, hábitos, valores y la velocidad de sus procesos mentales (ver artículo de Herber Simon: *The Proverbs of Administration*, 1946, en Shafritz *et al.*, 1997). Simon fundamenta su idea de racionalidad limita en el hecho de que los individuos no tienen suficiente capacidad mental ni para capturar toda la información de su entorno, ni para procesarla.

Según la Teoría de Juegos las preferencias de los agentes están representadas por funciones conexas y continuas, lo cual supone que el comportamiento del individuo es guiado por la maximización de estas funciones y no influenciado por actores o factores externos. En este sentido, el individuo se guía por tendencias generales, similares para todos ellos, ofrecidas por el sistema como un todo, sin considerar su contexto cercano y experiencia como ente individual. Algo, de nuevo, poco realista.

En oposición a esto, nosotros como individuos conocemos por experiencias propias que muchos de nuestros comportamientos, así como nuestras decisiones, están influenciados por factores o agentes externos considerados individualmente.

La nueva alternativa presentada por Moss logra contrarrestar las dos características antes mencionadas sobre las cuales se sostiene la Teoría de Juegos. Tal alternativa es conocida como Simulación Social basada en Sistemas Multiagentes.

Este tipo de simulación supone un conocimiento limitado del agente (actor), lo cual concuerda mucho más con situaciones reales, tal como hasta ahora lo ha venido indicando Herbert Simon desde los años 40-50.

Por otra parte, es importante resaltar que esta tendencia en Simulación Social ofrece una interacción mucho más explícita entre agentes que la sugerida por la Teoría de Juegos, es decir, acá se consideran muchos individuos interactuando (lo cual permite observar algunas propiedades de criticidad autoorganizada presentes en el sistema), incrementándose así el grado de inclusión social del mismo.

Adicionalmente, se observa que las preferencias de un agente no son representadas por medio de funciones convexas y continuas (basadas en tendencias generales del entorno), tal como sucede para el caso de los actores en Teoría de Juegos, sino que más bien éstas se guían por el aprendizaje del agente como individuo en su interacción con agentes (individuos) vecinos.

Moss, junto a su colega Bruce Edmonds, han logrado mostrar propiedades de criticidad autoorganizada que emergen en ciertos sistemas sociales, como mercados de intermediarios, entre las que se encuentran, por ejemplo, la Ley de la Potencia al observar el tamaño del mercado abarcado por los distribuidores, a la cual Moss le llama sello estadístico. La mayoría de estas propiedades han logrado representarse como tendencias emergentes través de modelos de simulación, lo cual permite validar estos modelos basados en sistemas multiagentes, en términos de propiedades observadas en el sistema objeto, en vez de suposiciones poco realistas, que sobresimplifican los modelos y teorías tradicionales.

III) Otros artículos de Moss y Edmonds, por ejemplo: “The Power Law and Critical Density in Large Multi Agent Systems” (Moss *et al.*, 2000).

Moss y Edmonds argumentan y explican en muchos de sus artículos, el por qué propiedades referidas a la criticidad autoorganizada no pueden ser representadas a través de los modelos basados en Teoría de Juegos. Los autores argumentan que los modelos que ofrece esta teoría “sobresimplifican” o distorsionan el sistema objeto, por lo cual no son apropiados para representar sistemas sociales.

Luego de practicar algunos estudios sobre ciertos comportamientos en sistemas sociales, Moss y Edmonds han observado que por lo general las propiedades de criticidad autoorganizada aparecen cuando se tienen muchos entes interactuando. Por esta razón, la Teoría de Juegos no permite representar tales propiedades, puesto que resulta imposible lograrlo sólo con la interacción de dos o tres agentes, tal como se representa ésta en los modelos encontrados en la revista *Journal of Economic Theory* en todas sus publicaciones de 1999.

Según Moss, *en la práctica corriente de la Teoría de Juegos, los entes que se ven envueltos no se comportan como agentes meta-estables, dado a que su comportamiento es guiado por la maximización de funciones continuas y convexas; es decir, su comportamiento (sus decisiones) no se ve determinado por niveles críticos de estímulos, que puedan depender de las decisiones de agentes particulares con los cuales interactúan.*

De igual manera, según estos autores, en Teoría de Juegos, los entes poseen un bajo nivel de inclusión social, debido a que tanto sus decisiones como su comportamiento en general, no se ven influenciados por las decisiones o el comportamiento de otros actores, pues se supone que cada actor, por lo general, posee conocimiento completo acerca de las acciones que puedan tomar los demás actores, sin necesidad de interactuar con ellos para obtener tal conocimiento.

De acuerdo a lo expuesto en estos artículos y según las descripciones que se tienen acerca del proceso de compra-venta de tierra desarrollado en la reserva, se puede calificar este proceso de negociación como una disputa, ya que en este proceso no se busca una negociación cualquiera, sino una negociación donde se tomen en cuenta tanto los intereses del comprador como los del vendedor. Por esta razón, el proceso de compra se da bajo el supuesto de que sólo se compra a aquellos campesinos que tengan menor

poder adquisitivo en términos de terreno, en comparación con sus vecinos (esto surge de conversaciones con campesinos). De igual manera el proceso de venta se da bajo el supuesto de que sólo se negocia con aquellos campesinos que posean la mayor cantidad de terreno, pues se presume que dada la cantidad de terreno podrán ofrecer los mejores precios de compra.

Otro aspecto descrito en estos artículos que puede correlacionarse con uno de los factores presentes en nuestro modelo, es el de los niveles de comunicación involucrados en el proceso de negociación. En nuestro modelo de negociación se logra identificar uno de los niveles de comunicación, aquel conocido como el nivel básico, llamado *regateo de acción*, pues en este proceso se describe un intercambio de ofertas de compra, para lo cual el campesino que recibe las ofertas debe elegir aquella que le proporcione mejores beneficios.

Por otra parte, es importante resaltar que el modelo de negociación que se plantea en este proyecto no puede ser representado a través de la Teoría de Juegos, pues acá el modelo de conocimiento del agente se supone limitado, por lo cual las decisiones y comportamiento de éste se ven influenciados por las decisiones y el comportamiento de ciertos agentes en su entorno, no por todos ni por tendencias globales por lo que, además, el agente está altamente incluido socialmente.

De esta forma, se observa en el modelo una interacción mucho más explícita entre agentes, algo que es imposible representar con la Teoría de Juegos, donde la interacción se da con un máximo de tres actores. Esta limitación de la Teoría de Juegos, se convierte en un obstáculo al momento de representar algunas propiedades emergentes que pudieran presentarse en el modelo de simulación, pues por lo general las propiedades de criticidad autoorganizada aparecen cuando se tienen muchos entes interactuando.

CAPÍTULO VI

IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN SDML

6.1 Introducción.

Al implementar un modelo de simulación en el lenguaje SDML deben considerarse ciertas especificaciones contempladas dentro de este lenguaje, entre las cuales se tiene: la estructura, los módulos, los parámetros, los niveles de tiempo, entre otros. Tales especificaciones son expuestas en este capítulo, así como también las limitaciones y suposiciones sobre las cuales se basa los aspectos considerados en la ampliación del modelo presentado. De igual forma, se presenta acá las limitaciones y suposiciones indicadas por Jaimes al implementar el proceso de ocupación para el modelo desarrollado en su tesis.

6.2 Especificaciones del modelo de simulación “Prototipo”.

6.2.1 Suposiciones y/o limitaciones.

En esta tesis se busca representar el comportamiento del agente tipo *Campesino* a través de un modelo de conocimiento. Para el caso del modelado de los agentes tipo *Controlador* y *Motivador* no se implementan modelos de conocimiento alguno, pues ambos mantienen una política fija en cuanto a sus posiciones: el primero se opone a las invasiones mientras que el segundo las incentiva.

El número de agentes tipo *Campesino* varía durante el tiempo de simulación, puesto que cada año ingresan nuevos agentes a la reserva y, a su vez, otros dejan ésta a medida que son desalojados por el agente *Controlador*. Por otro lado, los campesinos pueden también abandonar la reserva una vez que deciden marcharse de ésta, opción que aparece una vez que no poseen tierra alguna ocupada. Un campesino queda sin tierra una vez que ha decidido vender sus terrenos a otros campesinos, con lo cual se tienen dos

opciones: marcharse de la reserva o continuar invadiendo y comprando terreno. La decisión de continuar o no dependerá del valor que tomen los endosos correspondientes a las acciones *Invadir* o *noInvadir*. Si el endoso para la acción *Invadir* resultase mayor, entonces el colono decide continuar en la reserva, de lo contrario el campesino decide marcharse de la reserva.

El proceso de ocupación del área en la reserva se lleva a cabo por los campesinos quienes son los únicos agentes que se encuentran ubicados “físicamente” en la reserva.

La reserva es representada acá por una red, malla cuadrada de puntos o espacio celular. Se supone un área de terreno clasificada como *Bosque* en condición *Desocupada*, o como *noBosque* en condición *Ocupada*, o por el contrario, como *noBosque* en condición *Desocupada*; cada una de estas áreas es homogénea, es decir, con suelos que presentan las mismas características. De igual manera se supone que los campesinos sólo podrán observar las acciones de los demás campesinos que estén ubicados en un rango de n celdas a su alrededor (n es un parámetro del modelo).

Para el proceso de ocupación de la tierra (invasión), se suponen porcentajes de campesinos clasificados como imitadores, *escuchaControlador* y *escuchaMotivador*. Este porcentaje es cambiado en la experimentación, teniéndose un modelo con más campesinos sesgados a un tipo de comportamiento que a otro, según el experimento particular. Cada tipo de campesino es sesgado a imitar u oír a otros entes (vecino, *Controlador* o *Motivador*), de acuerdo a los distintos pesos que se le asignan a las etiquetas endosadas (*imitaVecino*, *escuchaControlador* y *escuchaMotivador*).

En lo que respecta al proceso de negociación (compra-venta) de tierras, se trabaja en base a supuestos tales como: i) la compra podrá llevarla a cabo cualquier campesino, con la condición de que sólo podrá comprar a aquellos campesinos vecinos que posean menos terreno que él; ii) los campesinos que puedan vender lo harán a aquel campesino

que posea más terreno entre todos los ofertantes de compra o compradores, en caso de existir más de un ofertante, si no fuera así, es decir si sólo existe un campesino comprador, entonces la venta se hará a este ofertante. Cuando un campesino no pueda seguir invadiendo, dada la escasez de espacio, continuará comprando terreno, siguiendo el procedimiento descrito.

6.2.2 Diseño del modelo computacional.

En la siguiente fase se procede a implementar los aspectos considerados para la ampliación y modificación del modelo inicial desarrollado por Jaimes a través del software SDML, creando así un modelo de simulación computacional que permita evaluar de forma más apropiada comportamiento del sistema real. Es importante resaltar que, como ocurre normalmente en la continuación de trabajos computacionales, no sólo se introdujeron nuevos aspectos, sino que, para hacer posible la operatividad del modelo con estos cambios, fue necesario modificar, y algunas veces, re-implementar, aspectos del modelo ya desarrollado por Jaimes; lo cual consumió una parte considerable del trabajo de programación.

La implementación del modelo lleva consigo un conjunto de etapas que permiten el desarrollo del modelo simulado. A continuación se presenta una breve descripción de estas etapas.

6.2.2.1 Módulos.

La jerarquía de módulos del modelo se aprecia en la Figura N° 6.1. Acá se observa el modulo *RFC(1.6.9.5*)* que se corresponde con el módulo que contiene el modelo simulado. A su vez podemos observar que este módulo hereda del modulo *Endorsing (v1.6)*, el cual establece las reglas que representan el mecanismo de endosos. Este módulo sirve para implementar el modelo de conocimiento que adoptará el agente *campesino*. Las reglas contenidas en este módulo permiten establecer el esquema de endosos, endosar objetos y calcular el valor de los endosos para estos objetos.

También se observa en la figura el módulo *standard*, éste representa, tal como lo indica su nombre, un módulo estándar para cualquier modelo computacional desarrollado en SDML. Todos los demás módulos asociados a este modulo, hacia la derecha en la figura, heredarán del mismo. El módulo RFC(1.6.9.3) es una versión anterior del modelo de simulación de Caparo, al cual se le hicieron mejoras para, luego de desarrollar otras versiones intermedias, llegar al modulo final en este trabajo de grado: el módulo (1.6.9.5*)

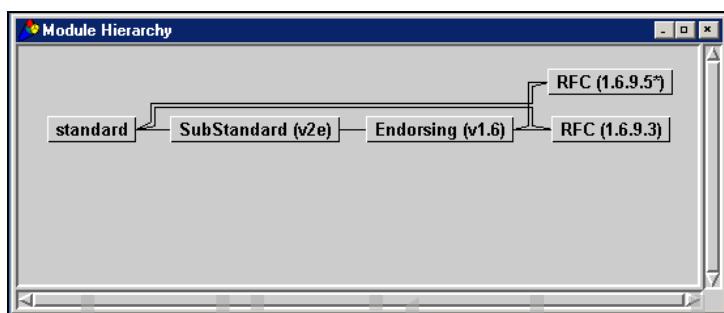


Figura N° 6.1. Jerarquía de módulos del modelo.

6.2.2.2 Estructura general.

En SDML la instancia superior es del tipo *UniversalAgent* y se llama *universe* (universo). Este constituye el contenedor principal de todas las instancias del modelo, es decir, sobre este agente se estructura el resto del modelo. El agente *universe* se encarga de activar una instancia del agente tipo *Módulo Principal* llamada *model* (*universe* puede activar sólo un subagente), este agente se encarga a su vez de activar los niveles de tiempo y las instancias de los agentes tipo *Campesino*, *Controlador*, *Motivador* y *GridDisplayer* (ver Tabla N° 6.1 y la Figura N° 6.2, en la cual se aprecia la estructura gráfica del sistema). También establece los parámetros iniciales del modelo, se encarga de ejecutar las reglas que capturan los datos que el usuario introduce por el teclado, establece la regla que permite definir el patrón a seguir por el agente *campesino* con relación a su comportamiento (es decir, imitar a sus vecinos o aceptar sugerencias de otros agentes externos como el *Controlador* y el *Motivador*). Además, se encarga de

distribuir a los agentes campesinos en una malla o espacio celular de 2D (dos dimensiones) de tamaño definido por el usuario. Por otro lado la instancia del tipo de agente *Modelo Principal*, conocida como agente *model*, se encarga de decidir cuales campesinos pueden invadir los puntos seleccionados para el caso cuando hay más de un agente interesado en invadir un mismo punto.

| Tipo | Instancia |
|-------------------------|---|
| <i>Modulo Principal</i> | <i>model</i> |
| <i>Campesino</i> | <i>campesino-i</i> , $i = 1, 2, \dots, n$ |
| <i>GridDisplayer</i> | <i>grid</i> |
| <i>Controlador</i> | <i>Controlador-I</i> |
| <i>Motivador</i> | <i>Motivador-I</i> |

Tabla N° 6.1. Tipos de agentes e instancias.

En la Tabla N° 6.1 se observan los diferentes agentes y sus correspondientes instancias, por lo cual se considera necesario aclarar que tales instancias también se conocen como agentes o subagentes del tipo de agente al que pertenezcan.

Como sabemos los agentes tipo *Controlador* y *Motivador* mantienen una política fija y contraria, una referida a impedir las invasiones y la otra orientada a motivarlas. El agente *Controlador* se encarga además de desalojar cada año cierto porcentaje de campesinos, preferiblemente aquellos que posean la menor cantidad de terreno ocupado (es importante destacar que la regla que permite desalojar a los campesinos se lleva a cabo en el agente *model*, por razones de eficiencia en el modelo computacional). La regla que extrae campesinos de la reserva hace una lista de los x campesinos con menor terreno acumulado, y luego selecciona aleatoriamente entre estos los y campesinos a desalojar. En los experimentos de este proyecto de grado $x = 2 * y$.

El tipo de agente *gridDisplayer* posee una instancia llamada *grid*. Este agente se encarga de la representación gráfica de la malla así como del terreno ocupado por los agentes distribuidos en ésta. La malla es representada con el despliegue de una ventana con celdas de determinada área, las cuales presentan como un atributo un color que permite indicar la posición inicial del campesino (color azul), el terreno ocupado por éste a medida que compra o invade tierra (color rojo), los espacios de tierra tipo *Bosque* en condición *Desocupado* (color gris) y los espacios de tierra tipo *noBosque* en condición *Desocupado* (de donde los individuos han sido desalojados, color amarillo). Este agente, *grid*, se encarga también de actualizar los puntos ocupados cada año por los diferentes campesinos.

El agente *campesino* (*o campesino-i*) creado como instancia del tipo *Campesino* es el encargado de desarrollar el proceso de invasión de la tierra, para ello el agente selecciona un sitio desocupado, toma la decisión de invadir o no, notificando al agente *model* su decisión siempre y cuando ésta sea la de invadir. Una vez notificado *model*, se decide si este *campesino* puede invadir el punto, de ser así procede a ocupar dicho punto. Recuerde que varios campesinos pueden pretender invadir el mismo punto, por lo que *model* decidirá finalmente cual invade y cual no.

La toma de decisiones en el agente *campesino* depende de otras acciones, en las cuales se establece un esquema de endosos que seguirá el *campesino* de acuerdo al tipo definido que éste tenga. Estos endosos son evaluados a través de la ecuación de endosos, y por medio de estas evaluaciones el agente toma una decisión determinada.

El otro proceso desarrollado por el agente *campesino* es el de la compra y venta de tierra. Para ello el agente toma la decisión de comprar (basada en los endosos), con lo cual desarrolla una serie de acciones que le permiten establecer la compra. Luego el campesino vendedor toma la decisión de venta al evaluar una serie de acciones que le permiten tomar esta decisión. Este proceso se explica mejor arriba.

El agente *campesino* ejecuta una serie de reglas necesarias para los procesos de ocupación (invasión) y negociación de la tierra, entre las cuales nombraremos algunas: crear lista de vecinos y puntos, crear lista de puntos tipo compra, establecer endosos, actualizar lista de vecinos, actualizar endosos, entre otras. Este agente también ejecuta una regla para decidir si continua o se retira de la reserva una vez que se encuentra sin puntos ocupados.

A continuación se muestra en la Figura N° 6.2 un esquema general en el cual se pueden observar todos los tipos de agentes descritos para el modelo.

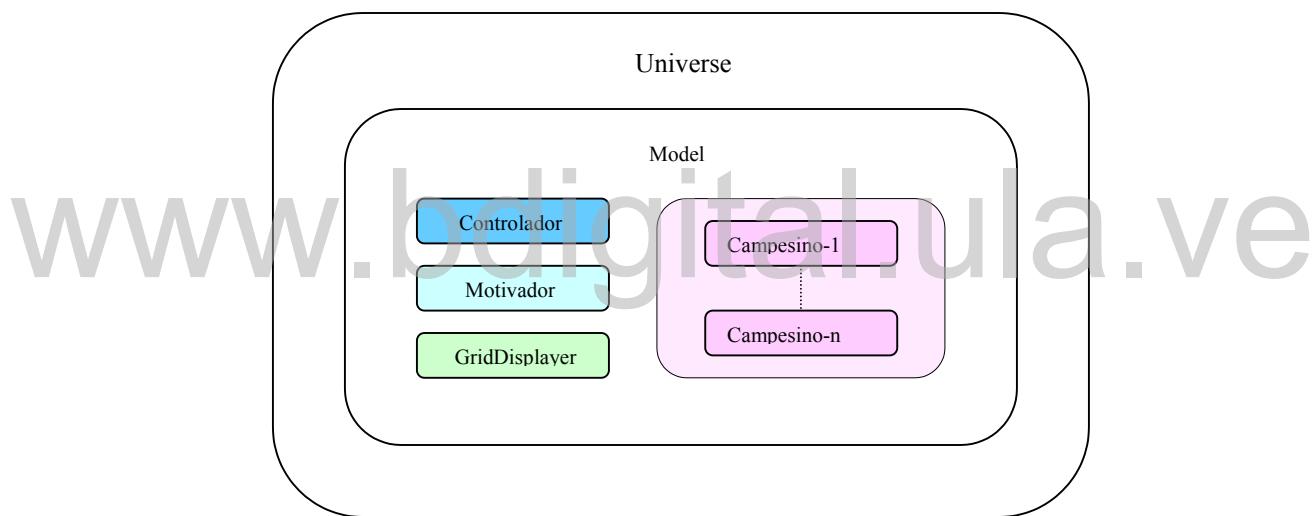


Figura N° 6.2. Jerarquía de contenedores del modelo.

Como se mencionó anteriormente, en SDML tanto las acciones como la toma de decisiones de los agentes son representadas a través de reglas de producción, las cuales son clasificadas en tres tipos (*Initial*, *Content* y *Final*). Estas a su vez se dividen en niveles de tiempo (*eternity*, *año* y *mes*; ver con más detalle en la sección 6.2.2.3). Para ilustrar como se estructuran las reglas de producción del modelo se muestra en la siguiente figura la estructura de reglas correspondiente al agente *Campesino*.



Figura N° 6.3. Base de reglas (Rulebases) para el agente *Campesino*.

En la figura anterior se puede observar que las reglas se agrupan en categorías específicas, por ejemplo, la regla *compras posibles1 N*, ubicada en *Content*, pertenece a la categoría *decide*.

6.2.2.3 Definición de los niveles de tiempo.

En esta etapa de diseño del modelo computacional se definen los niveles de tiempo sobre los cuales se basa esta simulación. Se han definido entonces dos niveles de tiempo, en adición al siempre pre-establecido en SDML(*eternity*): año y mes.. Se hace necesario incluir dos niveles del nivel tiempo mes para poder trabajar en un mismo año con reglas ejecutadas en el primer mes, que luego serán usadas en la ejecución de otras reglas en el siguiente mes. La mayoría de las reglas en el modelo son ejecutadas cada año. Dentro de este nivel de tiempo (año) algunas son ejecutadas en el primer mes y otras en el segundo (como por ejemplo las reglas de *compras posibles1 N* y *dar cuenta posible venta1 N*).

Como se mencionó en la sección 3.6.1.5, existe un nivel de tiempo definido por defecto en SDML, conocido como *Eternity*, en este nivel se ejecutan las reglas validas para toda la eternidad (eternidad entendida en términos de la simulación).

La Figura N° 6.4, nos muestra la base de reglas definidas en *Initial* y *Final* para el agente *Campesino* donde podremos observar los diferentes niveles de tiempo descritos para el modelo.

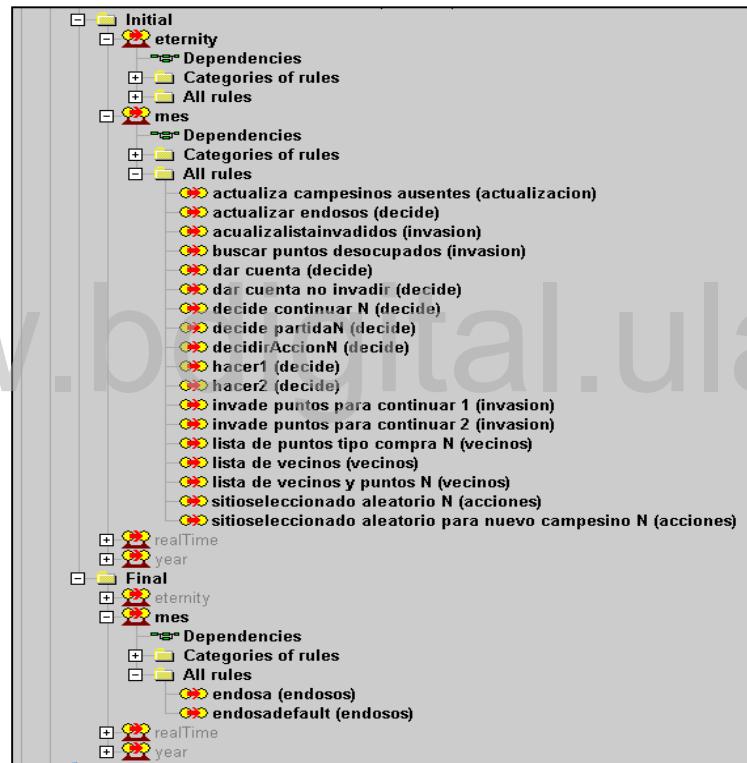


Figura N° 6.4. Base de reglas (*Rulebases*) para el agente *Campesino*. Niveles de tiempo.

Es importante destacar que en la figura de arriba no se muestra la categoría *Content*. *Content* no tiene diferentes niveles de tiempo, dado que es la base de reglas principal y representa lo que se ejecuta cada año.

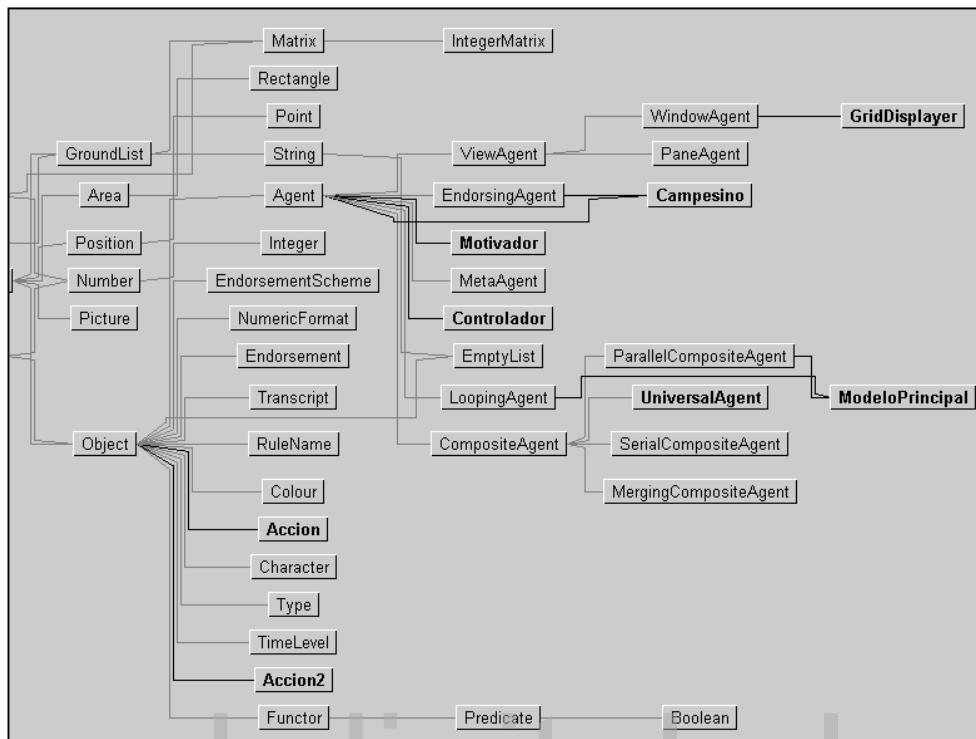
Los niveles de tiempo en el modelo serán activados por el agente *Modelo Principal*, quien hereda del subagente *LoopingAgent* la facultad para activar niveles de tiempo. El agente *Modelo Principal* será entonces un subtipo de éste.

La interacción entre diferentes agentes es manejada por el agente *Modelo Principal*, quien hereda del subagente *parallelAgent* esta facultad, convirtiéndose así en un agente con herencia múltiple (ver en más detalle en la sección 6.2.2.4).

6.2.2.4 Definición de herencia y atributos de los objetos.

Un agente determinado puede heredar los atributos de otros agentes, convirtiéndose así en un subtipo del agente del cual se hereda.

En la Figura N° 6.5 se muestra el *type hierarchy* (jerarquía de tipos), en la cual se puede observar los tipos predefinidos, heredados de los módulos standard, substandard de SDML o del modulo Endorsing de Scott Moss (los que no están en negrita), y los subtipos de agentes descritos para el modelo (aquellos en negrita), conectados por relaciones de herencia que van de izquierda a derecha. Es decir, los de la derecha heredan de los de la izquierda.

Figura N° 6.5. Jerarquía de tipo (*type hierarchy*).

En esta figura se aprecian los cinco tipos de agentes descritos en el modelo (*Campesino*, *Controlador*, *Motivador*, *GridDisplayer* y *Modelo Principal*), los cuales son subtipos de *Agent*, el tipo más básico de agente, el cual, a su vez es un subtipo de *object* (objeto). Se puede apreciar también que el subtipo *Campesino* hereda de *EndorsingAgent* y además se convierte en un subtipo de *EndorsingAgent*, lo cual le permite heredar todo lo relacionado con el manejo y representación de los endosos (es decir, hereda las definiciones de tipos y la base de reglas).

Esta figura nos muestra también que el agente *GridDisplayer* hereda del subtipo de agente *WindowAgent* (agente tipo ventana), quien a su vez hereda del subtipo *ViewAgent* (agente con facilidades para mostrarse en pantalla como ventana), que también hereda del tipo más genérico *Agent*. Tal herencia le permite al agente *GridDisplayer* mostrar el dibujo de la malla por pantalla.

Acá se aprecia que el agente *Modelo Principal* hereda de los subtipos *ParallelCompositeAgent* y *LoopingAgent*, lo cual permite a *Modelo Principal* contener varios agentes que se ejecutan en paralelo, y tener varios niveles de tiempo.

Se observa también que *Acción* (descrita en el modelo como *Invadir* o *noInvadir*) es un subtipo de *Object* heredando así sus atributos.

Sabemos que los agentes *Campesino*, *Controlador*, *Motivador* y *GridDisplayer* forman parte del agente *Modelo Principal*, pues están contenidos en éste, sin embargo, esta herencia no puede ser observada desde la ventana *type hierarchy* (jerarquía de tipos), ya que se describe a través de la Jerarquía *Container*. Para ilustrar la Jerarquía *Container* se presenta en la Figura N° 6.6, la forma en la cual el agente *Campesino* hereda vía *Container* atributos del agente *Modelo Principal*. De la misma forma sucede la herencia vía *Container* para los demás agentes contenidos en el *Modelo Principal*.

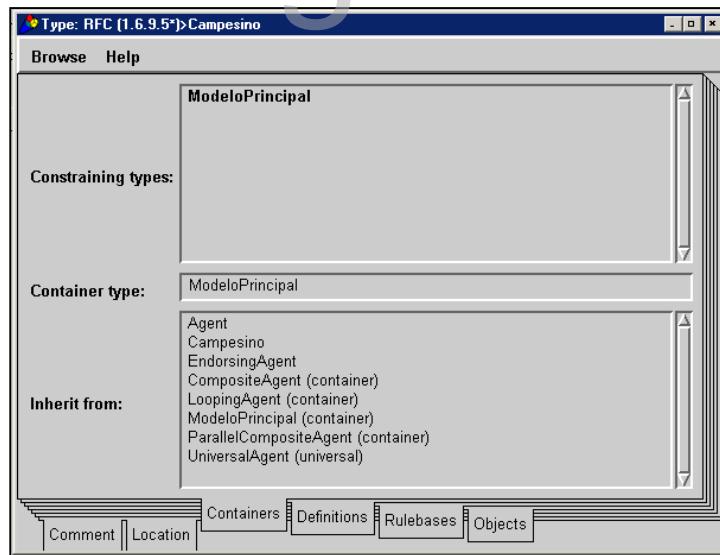


Figura N° 6.6. Jerarquía *Container* del agente *Campesino*.

Luego de haber descrito brevemente todas las especificaciones del modelo computacional, podemos concluir esta sección mostrando la secuencia en la cual se ejecuta la base de reglas del modelo: el contenedor más externo, el agente *universe*, ejecuta sus reglas y la de sus agentes cada año, utilizando para ello la siguiente secuencia de ejecución: primero las reglas del agente *Modelo Principal*, luego, en cualquier orden, las de las instancias del tipo agente *Campesino*, *Controlador*, *Motivador* y *GridDisplayer*.

Las bases de reglas para las instancias del tipo *Campesino* se ejecutan en paralelo. Debido a esto, un agente *Campesino* tiene acceso a las acciones pasadas de los demás agentes, pero no a las actuales.

6.2.2.5 Algunos predicados y reglas relevantes usadas en el modelo.

6.2.2.5.1 Predicados y cláusulas.

- Para el agente *Modelo Principal*.

Predicado: campesino.

Descripción: Lista las instancias del agente *Campesino*.

Cláusula: *campesino ?campesino.*

Predicado: gridLocation.

Descripción: Indica la posición que ocupa un determinado campesino al inicio de la simulación (para el primer año).

Cláusula: *gridLocation ?campesino ?punto.*

Predicado: decisión.

Descripción: Indica que un campesino determinado desea invadir un punto seleccionado.

Cláusula: *decisión ?campesino ?punto.*

- Para el agente *Campesino.*

Predicado: sitioseleccionado.

Descripción: Indica el punto disponible que se ha seleccionado para invadir.

Cláusula: *sitioseleccionado ?punto.*

Predicado: posibleaccion.

Descripción: Indica la posible acción tomada por el campesino, ya sea invadir o no un punto determinado.

Cláusula: *posibleaccion ?accion ?punto ?endoso.*

Predicado: acciontomada.

Descripción: Indica que el campesino decide y puede invadir un punto determinado.

Cláusula: *acciontomada ?accion ?punto.*

Predicado: listaVecinosyPuntos.

Descripción: Esta lista indica los vecinos de un campesino determinado, así como también los puntos que estos vecinos ocupan.

Cláusula: *listaVecinosyPuntos ?lista.*

Predicado: endorsementFor

Descripción: Este predicado indica el endoso de las acciones tomadas por el campesino, y también las etiquetas que generaron estas acciones.

Cláusula: *endorsementFor ?accion ?etiqueta.*

- Para el agente *Controlador*.

Predicado: Tipo.

Descripción: Indica la política a seguir por el agente *Controlador* (*noInvadir*).

Cláusula: *Tipo “noInvadir”.*

- Para el agente *Motivador*.

Predicado: Tipo.

Descripción: Indica la política a seguir por el agente *Motivador* (*Invadir*).

Cláusula: *Tipo “Invadir”.*

- Para el agente *GridDisplayer*.

Predicado: ocupado.

Descripción: Indica los puntos ocupados por los campesinos en la malla.

Cláusula: *ocupado ?campesino ?punto.*

Predicado: pictures.

Descripción: Se encarga de dibujar por pantalla los puntos ocupados por los campesinos, los espacios tipo bosque de la reserva y los puntos desocupados, colocando un color diferente para cada caso.

Cláusula: *pictures ?pictures.*

6.2.2.5.2 Reglas.

En esta sección mostraremos algunas de las reglas más importantes para cada uno de los agentes del modelo, con el fin de ofrecer una breve explicación para cada regla, en la

cual se describa el significado de éstas (para ver todo el conjunto de reglas pasar a la sección de apéndice).

Reglas para el agente *Modelo Principal*.

- Regla para crear y activar las instancias del tipo de agente *Campesino* (*Crea campesinos*).

Antecedente

and

numCampesinos ?num
inInterval ?int 1 ?num
generatedInstance ?camp Campesino ?int

Consecuente

all eternity (and

campesino ?camp
activeSubAgent ?camp)

Descripción: Esta regla genera en el antecedente, un número de instancias (*generatedInstance*) para el agente *Campesino* que van desde el número uno hasta el número indicado en la variable *?num* (el valor de esta variable es introducido por pantalla), referido al número de campesinos en la simulación. El consecuente inserta en la base de datos del agente *model* cada una de las instancias de campesinos creados, y a su vez éstas son activadas dentro del modelo.

- Regla para ubicar inicialmente a los campesinos en la malla (*Distribuir agentes en malla*).

Antecedente

and

```

time year 1\
gridSize ?gs\
gridDisplay ?grid\
numCampesinos ?num\
is ?num1 ?gs - 1\
is ?na ?num\
randomList ?rlist ?point 1
(and
    inInterval ?x 0 ?num1\
    inInterval ?y 0 ?num1\
    = ?point (point ?x ?y))\
subList ?slist ?rlist 1 ?na\
sortedList ?camp_list ?camp
    campesino ?camp\
appended ?agent_list ?camp_list\
inInterval ?int 1 ?na\
index ?slist ?int ?point\
index ?agent_list ?int ?agent\

```

Consecuente

and

```

all eternity (gridLocation ?agent ?point) \
all year (at ?grid (ocupado ?agent ?point)) \

```

Descripción: Regla para ser ejecutada sólo en el primer año. Acá se genera una lista aleatoria en la cual se incluyen todos los puntos ubicados en la malla, luego se crea una sublista de esta lista aleatoria, donde se incluye un número de puntos

igual al número de campesinos. Seguidamente se crea una lista ordenada de campesinos, una vez que se tienen ambas listas se extrae cada punto y cada campesino de la lista correspondiente, con el fin de ser introducidos ambos (campesino y punto) en la base de datos del agente *model* (esto se hace para cada punto y cada campesino contenidos en las respectivas listas) utilizando para ello la cláusula *gridLocation ?agent ?point*, quien contiene la posición inicial de cada campesino. De la misma manera se introduce en la base de datos del agente *grid* tanto el punto como el campesino que lo ocupa, logrando así llevar un registro de los puntos ocupados por cada campesino.

- Regla utilizada para decidir cuales campesinos pueden invadir determinados puntos (*Resuelve*).

Antecedente

www.bdigital.ula.ve

and
 $time year ?year \backslash$
 $sortedList ?lp ?punto$
 $(and$
 $decision ?agente ?punto \backslash$
 $notInferred$
 $puntosDesocupados ?agente ?puntoCualquiera) \backslash$
 $includes ?lp ?cadapunto \backslash$
 $randomList ?listcamp ?agente ?year$
 $decision ?agente ?cadapunto \backslash$
 $= ?listcamp [?seleccionado | ?rest] \backslash$
 $at ?seleccionado (possibleaccion ?accion ?lugar ?endoso) \backslash$
 $gridDisplay ?grid \backslash$

Consecuente

all year (and
 $at ?seleccionado (acciontomada Invadir ?cadapunto) \backslash$

at ?grid (ocupado ?seleccionado ?cadapunto))\|

Descripción: En esta regla se toma una lista de todos los posibles puntos a invadir y se verifica si hay puntos repetidos, es decir, si se decide invadir el mismo punto por dos o más campesinos; en cuyo caso se selecciona, al azar, entre estos, un campesino, quien será el que finalmente invade. Luego se introduce en la base de datos del campesino seleccionado, la acción (*Invadir*) y el punto a invadir. De igual forma se coloca en la base de datos del agente *grid* el campesino seleccionado y el punto que será ocupado por este.

Reglas para el agente *Campesino*.

- Regla utilizada para seleccionar un punto libre en la malla (*Sitio seleccionado aleatorio*).

www.bdigital.ula.ve
Antecedente

and

time year ?year\|
notInferred
nuevoCampesino self\|
randomList ?listnum ?listptos [?year]
ubicarpuntos ?puntoBase ?listptos\|
gridDisplay ?grid\|
randomChoice ?select ?punto ?year
(and
includes ?listnum ?puntoCorchete\|
= ?puntoCorchete [?punto]\|
(or
(and
= ?year 1\|
notInferred

gridLocation ?camp ?punto)\|

(and

greater ?year 1\|

notInferred

(and

at ?grid (last year (ocupado

?camp ?punto))\|

gridLocation ?camp ?punto\|

at ?grid (last year (ocupado self

?punto))))\|

Consecuente

all year (sitioseleccionado ?select)\|

Descripción: Esta regla utiliza una regla hacia atrás (*ubicarpuntos ?puntoBase?listptos\|*) para determinar los puntos ubicados alrededor de un campesino determinado, luego se escoge al azar uno de los puntos que provienen de la regla hacia atrás siempre y cuando éste se encuentre desocupado. Este punto seleccionado es colocado en la base de datos del campesino.

- Regla utilizada por el agente para decidir que posible acción tomar (*Decidir accion*).

Antecedente

and

time year ?year\|

notInferred

= ?year 1\|

notInferred

ausentes self\|

sitioseleccionado ?sel\|

*endorsementSchemeDefinition esquema1 [[escuchaSimismo ?eS] [imitaVecino ?eV]
 [escuchaControlador ?eC] [escuchaMotivador ?eM]] ?a]*
is ?suma ?eV + ?eC + ?eS + ?eM]
is ?pS ?eS / ?suma]
is ?pSV (?eS + ?eV) / ?suma]
is ?pSVC (?eS + ?eV + ?eC) / ?suma]
randomNumber ?rn ?year]
(or
(and
(or
less ?rn ?pS]
= ?rn ?pS)\|
endorsementValueOf ?endValue1 Invadir esquema1]
endorsementValueOf ?endValue2 noInvadir esquema1]
= ?endoso escuchaSimismo]
(or
(and
(or
less ?endValue2 ?endValue1]
= ?endValue2 ?endValue1)\|
= ?accion Invadir)\|
(and
greater ?endValue2 ?endValue1]
= ?accion noInvadir))\|
(and
(or
(and
greater ?rn ?pS]
(or
less ?rn ?pSV]
= ?rn ?pSV)\|
listaVecinos ?listveci]
notInferred
= ?listveci []]
= ?endoso imitaVecino]

randomList ?listVecinosConAccion ?vecisel [?year self]

(and

listaVecinos ?listveci

includes ?listveci ?vecisel

*at ?vecisel (last year (acciontomada ?accion
?sel2))*

notInferred

last year (nuevoCampesino vecisel))

(or

(and

= ?listVecinosConAccion [?vecino | ?rest]

*at ?vecino (last year (acciontomada ?accion
?sel2))))*

(and

= ?listVecinosConAccion []

randomChoice ?vecino ?vecisel [?year self]

(and

listaVecinos ?listveci
includes ?listveci ?vecisel

notInferred

last year

*(nuevoCampesino
?vecisel))*

at ?vecino (last year

*(possibleaccion ?accion
?sel2 ?endoso))))))*

(and

greater ?rn ?pS

(or

less ?rn ?pSV

= ?rn ?pSV)

listaVecinos ?listveci

= ?listveci []

endorsementValueOf ?endValue1 Invadir esquema1

endorsementValueOf ?endValue2 noInvadir esquema1

$= ?endoso escuchaSimismo \backslash$
 $(or$
 $(and$
 $(or$
 $less ?endValue2 ?endValue1 \backslash$
 $= ?endValue2 ?endValue1) \backslash$
 $= ?accion Invadir) \backslash$
 $(and$
 $greater ?endValue2 ?endValue1 \backslash$
 $= ?accion noInvadir)))) \backslash$
 $(and$
 $greater ?rn ?pSV \backslash$
 $(or$
 $less ?rn ?pSVC \backslash$
 $= ?rn ?pSVC) \backslash$
 $= ?endoso escuchaControlador \backslash$
 $= ?accion noInvadir) \backslash$
 $(and$
 $greater ?rn ?pSVC \backslash$
 $= ?endoso escuchaMotivador \backslash$
 $= ?accion Invadir) \backslash$

Consecuente

$all year (and$
 $possibleaccion ?accion ?sel ?endoso \backslash$
 $newEndorsementFor ?accion ?endoso) \backslash$

Descripción: En esta regla se utiliza el esquema de endosos para calcular la posibilidad de que el agente razoné por sí mismo, imite a un vecino, escuche al *Controlador* o escuche al *Motivador*. Luego se genera un número aleatorio y se procede a realizar las siguientes comparaciones:

- ◆ Si el número aleatorio es menor que el valor de la probabilidad correspondiente a la etiqueta *escuchaSimismo* ($?pS$) el campesino toma la decisión de escucharse a sí mismo, para lo cual observara sus acciones pasadas y a partir de éstas toma una decisión, la cual endosa junto a la etiqueta *escuchaSimismo*.
- ◆ Si el número aleatorio es mayor que el valor de la variable $?pS$, pero menor o igual que la suma de las probabilidades para las etiquetas *escuchaSimismo* y *imitaVecino* ($?pSV$), el campesino imita la acción pasada de alguno de sus vecinos, quien será escogido al azar. En caso de que el vecino escogido no tenga acción pasada, entonces, se imita la posible acción de alguno de los vecinos, acción que será endosada junto a la etiqueta *imitaVecino*.
- ◆ Si el número aleatorio resulta mayor que el valor de la variable ($?pSV$), pero menor o igual que el valor de la probabilidad correspondiente a la suma de las etiquetas *escuchaSimismo*, *imitaVecino* y *escuchaControlador* ($?pSVC$), el campesino toma la decisión de *noInvadir*, la cual endosa junto con la etiqueta *escuchaControlador*.
- ◆ Si por el contrario el número aleatorio es mayor que el valor de la variable $?pSVC$, entonces el campesino decide *Invadir*, endosando así esta decisión junto a la etiqueta *escuchaMotivador*.

Finalmente, se coloca en la base de datos del campesino la posible acción a tomar, el punto seleccionado y la etiqueta correspondiente. De igual manera se coloca en la cláusula *newEndorsementFor ?accion ?endoso*, la acción y la etiqueta para ser endosadas ambas, con el fin de guardar en la base de datos las posibles acciones y las respectivas etiquetas, que luego podrán ser usadas por el

campesino al momento de tomar decisiones futuras basadas en experiencias pasadas.

Es importante recordar que en esta regla se habla de una posible acción, no de una acción, dado que ésta puede convertirse en una acción emprendida, o por el contrario, convertirse en una acción que el campesino hubiera querido emprender, pero no ejecutó. La cláusula *possibleacción* es colocada, por otra regla, en la base de datos del agente *model*, siempre y cuando la posible acción en esta cláusula sea *Invadir*, de manera que este agente (*model*) pueda verificar que no sea invadido un mismo punto por dos o más campesinos.

- Regla utilizada para actualizar las acciones y las etiquetas endosadas por el agente.

Antecedente

last year (or

endorsementFor ?accion ?etiqueta)

newEndorsementFor ?accion ?etiqueta)
|

Consecuente

all year (endorsementFor ?accion ?etiqueta)
|

Descripción: En esta regla se traen los endosos pasados (acciones y etiquetas) del campesino. Se traen tanto los endosos del año pasado (*newEndorsementFor ?accion ?etiqueta*), como los endosos de los demás años (*endorsementFor ?accion ?etiqueta*), y se colocan de nuevo en la base de datos del campesino para ser actualizados.

Regla para el agente *Controlador*.

- Regla para definir la política del agente *Controlador*.

Antecedente

true

Consecuente

all eternity (Tipo "noInvadir")

Descripción: En esta regla se define como verdadera la política (*noInvadir*) del agente *Controlador*, colocándose en la base de datos de este agente el tipo de política a seguir.

Regla para el agente *Motivador*.

- Regla para definir la política del agente *Motivador*.

www.bdigital.ula.ve

Antecedente

true

Consecuente

all eternity (Tipo "Invadir")

Descripción: En esta regla se define como verdadera la política (*Invadir*) del agente *Motivador*, colocándose en la base de datos de este agente el tipo de política a seguir.

Regla para el agente *GridDisplayer*.

- Regla utilizada para actualizar los puntos ocupados por los campesinos.

Antecedente

and

last year (and

ocupado ?camp ?punto)

notInferred

at model (puntosDesocupados ?camp ?point)

(or

(and

notInferred

(or

venta1 ?camp ?comprador ?punto)

venta2 ?camp ?comprador ?punto)

= ?owner ?camp)

(and

(or

venta1 ?camp ?comprador ?punto)

venta2 ?camp ?comprador ?punto)

= ?owner ?comprador)))

Consecuente

all year (ocupado ?owner ?punto)

Descripción: En esta regla se traen los puntos ocupados por los campesinos en el año anterior, y se verifica si estos puntos han cambiado de dueño (es decir, si han sido vendidos a otros campesinos), o continúan ocupados por los campesinos que los invadieron. Si estos puntos han cambiado de dueño, entonces se actualizan estos cambios; si por el contrario continúan igual que en el año pasado, se vuelven a actualizar, registrando así en la base de datos del agente *grid* estos puntos con sus respectivos ocupantes.

- Regla utilizada para graficar por pantalla (en la malla) los puntos ocupados por cada campesino.

Antecedente

and
cellsize ?cs
noyear ?numyear
sortedList ?pictures ?pic
(and
(or
(and
ocupado ?camp (point ?x ?y)
gridLocation ?agent (point ?x ?y)
= ?colour blue)
(and
last year (edoTierra (point ?x ?y) "noBosque" "Desocupado")
= ?colour yellow)
(and
ocupado ?camp (point ?x ?y)
notInferred
gridLocation ?agent (point ?x ?y)
= ?colour red))
*is ?top ?y * ?cs*
is ?bottom ?top + ?cs
*is ?left ?x * ?cs*
is ?right ?left + ?cs
= ?pic (fill ?colour lightGrey 1 (area (point ?left ?top) (point ?right ?bottom))))

Consecuente

all year (pictures ?pictures)

Descripción: Genera una lista ?pictures con los datos de cada punto en la malla, de acuerdo a si está ocupado, no está ocupado y es del tipo bosque, o no está ocupado, pero alguien a sido desalojado de allí, y los envía a pantalla.

6.2.2.6 Parámetros claves en la simulación.

Algunos de estos parámetros son introducidos por pantalla, mientras que otros, como el porcentaje de campesinos desalojados, se consideran como parámetros internos del modelo computacional. Más sin embargo, pueden ser modificados con la finalidad de mostrar diferentes escenarios. A continuación mostramos los parámetros que deben ser introducidos por pantalla:

- Tamaño de la malla 2D.
- Número de campesinos.
- Número de campesinos nuevos a ser introducidos cada año.
- Porcentaje de campesinos sesgados a imitar.
- Porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador*.
- Porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador*.
- Rango sobre el cual pueden ver los campesinos a sus vecinos (número cardinal).
- Tiempo de simulación.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS Y RESULTADOS

7.1 Introducción.

En este capítulo se presentan diferentes escenarios propuestos para el análisis del modelo. En particular se estudia el comportamiento del agente campesino, a través del cual se muestra la forma en la que el agente toma sus decisiones, referidas a la invasión y a la compra-venta de terreno. Estamos interesados en entender mejor la emergencia de ciertas propiedades en el comportamiento del agente campesino.

Los diferentes escenarios se desarrollan con la finalidad de experimentar, por ejemplo, cambios generados al tomar en cuenta aspectos del comportamiento social (negociación de tierra, inclusión y/o eliminación de agentes) que no fueron incluidos en el modelo inicial propuesto y desarrollado por Jaimes.

Jaimes en su modelo observa ciertos cambios derivados al modificar el porcentaje de campesinos sesgados a imitar y el porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador*. Estos cambios, según se muestra en el dibujo de las mallas impresas por pantalla, y descritas en el trabajo de Jaimes (sección 5.4), se observan en la diferencia que presentan los procesos de ocupación para cada una de las mallas descritas entre los escenarios propuestos. Allí se aprecia cómo se acelera el proceso de ocupación a medida que aumenta el porcentaje de campesinos sesgados a imitar, contrario a lo que sucede cuando se aumenta el porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador*. En este segundo caso, la malla presenta un proceso de ocupación mucho más lento, quedando al final de la simulación con mucho menos puntos ocupados que la malla generada para el primer caso (campesinos sesgados a imitar).

En esta tesis se pretende mostrar algunas propiedades emergentes de fenómenos sociales complejos, consideradas como propiedades características de sistemas críticamente autoorganizados. Estas han sido encontradas por Moss y su colega Bruce Edmonds en modelos desarrollados de mercados de intermediarios, al observar el tamaño del mercado abarcado por los distribuidores. Estos investigadores han conseguido que el número de distribuidores con cierto tamaño del mercado vs. tamaño del mercado sigue la Ley de la Potencia (en general la Ley de la Potencia permite mostrar algunas propiedades emergentes en los sistemas sociales).

En esta tesis veremos que tal propiedad (Ley de la Potencia) aparece en el modelo simulado. Esta propiedad ayuda a entender mejor, para el caso en particular, propiedades de la distribución de la tierra entre los campesinos invasores en la Reserva Forestal de Caparo. El hecho de que esta Ley este presente permite conocer mejor cómo emergen los terratenientes en la reserva. El modelo se basa en criterios que permiten tal emergencia y dan validez al modelo, en cuanto a que son observados en la realidad (entre estos criterios se encuentra por ejemplo, un alto grado de inclusión social).

Utilizando la aparición de esta propiedad y algunos otros aspectos que nos permitan comprender y estudiar el comportamiento social, específicamente el comportamiento entre los campesinos que ocupan la reserva, se hicieron experimentos en los cuales se pueden apreciar diferentes escenarios, que nos permitan observar cambios a nivel de comportamiento y aprendizaje social.

Es importante destacar que el modelo desarrollado en esta tesis representa una modificación y una ampliación del modelo de Jaime en mucho aspectos importantes. Por ejemplo, fue necesario modificar y/o adaptar muchas reglas. Por esto, existen diferencias substanciales entre los dos modelos, y algunas diferencias importantes en las salidas de ambos. Sin embargo, algunos aspectos básicos continúan definidos de forma muy similar. Por ejemplo, la toma de decisiones del agente *Campesino* continúa siendo

descrita en términos de imitar a un vecino, al controlador, a sí mismo, pero se ha agregado la posibilidad de escuchar a nuevo agente, al motivador. Estos agregados hacen al modelo más realista en cuanto a la manera en la cual los campesinos pueden tomar sus decisiones. También se ha agregado nuevas formas de comportamiento y aprendizaje social, como lo es la negociación, y se ha modificado la forma cómo se toman las decisiones (ver las secciones 5.3.1.3.1 y 5.3.1.3.2).

7.2 Experimentación.

En esta sección mostramos los diferentes escenarios explorados, los cuales fueron obtenidos al cambiar algunos parámetros del modelo, analizando así cada uno de estos escenarios. Los parámetros que permanecerán fijos para cada escenario son: el tamaño de la malla, número de campesinos, número de campesinos nuevos para cada año, rango de visibilidad del agente en la malla, y tiempo de simulación. Los diferentes escenarios aparecen al variar 1) el porcentaje de campesinos desalojados cada año, 2) los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, a escuchar al *Controlador*, y a escuchar al *Motivador*.

Los valores asignados para los parámetros fijos son:

- Número de campesinos inicialmente en la malla, 20.
- Número de campesino nuevos agregados cada año 2.
- Rango de visibilidad del agente en la malla 3.
- Tamaño de la malla 40 (2D de $40*40$).
- Tiempo de simulación 50 años.

7.2.1 Primer escenario.

En este primer escenario se muestra como cambia el proceso de ocupación de las tierras en la reserva desde el comienzo de la simulación hasta cierto año. Se seleccionaron tres años: 15, 30 y 50. Se utilizan gráficas correspondientes al acumulado de tierra versus el número de campesinos, para mostrar tal evolución. Para este primer escenario se mantuvieron fijos también los parámetros que luego variaremos en los siguientes escenarios, a saber: 1) porcentaje de campesinos sesgados a imitar, porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador*, porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador*, y 2) porcentaje de campesinos desalojados cada año por el *Controlador*. Se asignaron los siguientes valores a los parámetros no variables en este escenario:

- Porcentaje de campesinos sesgados a imitar: 0,5.
- Porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador*: 0,2.
- Porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador*: 0,3.
- Porcentaje de campesinos desalojados cada año: 0,01.

Para el análisis de este escenario presentamos un conjunto de tablas que contienen los datos generados para esta simulación. Luego mostramos las gráficas correspondientes a estos datos. Los datos de las tablas y las gráficas correspondientes muestran la relación entre el terreno acumulado y el número de campesinos que acumulan dicho terreno.

Es importante aclarar que la tierra acumulada se mide en intervalos que van de 10 en 10 unidades de terreno. A cada intervalo se asocia el número de campesinos que posee una cantidad de tierra acumulada que varía en ese intervalo.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 32 | 10 |
| 12 | 20 |
| 2 | 30 |

Tabla N° 7.1. Acumulado de tierra versus número de campesinos para el año 15.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 33 | 10 |
| 11 | 20 |
| 7 | 30 |
| 7 | 40 |
| 4 | 50 |
| 1 | 60 |

Tabla N° 7.2. Acumulado de tierra versus número de campesinos para el año 30.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 37 | 10 |
| 12 | 20 |
| 5 | 30 |
| 7 | 40 |
| 4 | 50 |
| 4 | 60 |
| 2 | 70 |
| 5 | 80 |
| 1 | 90 |

Tabla N° 7.3. Acumulado de tierra versus número de campesinos para el año 50.

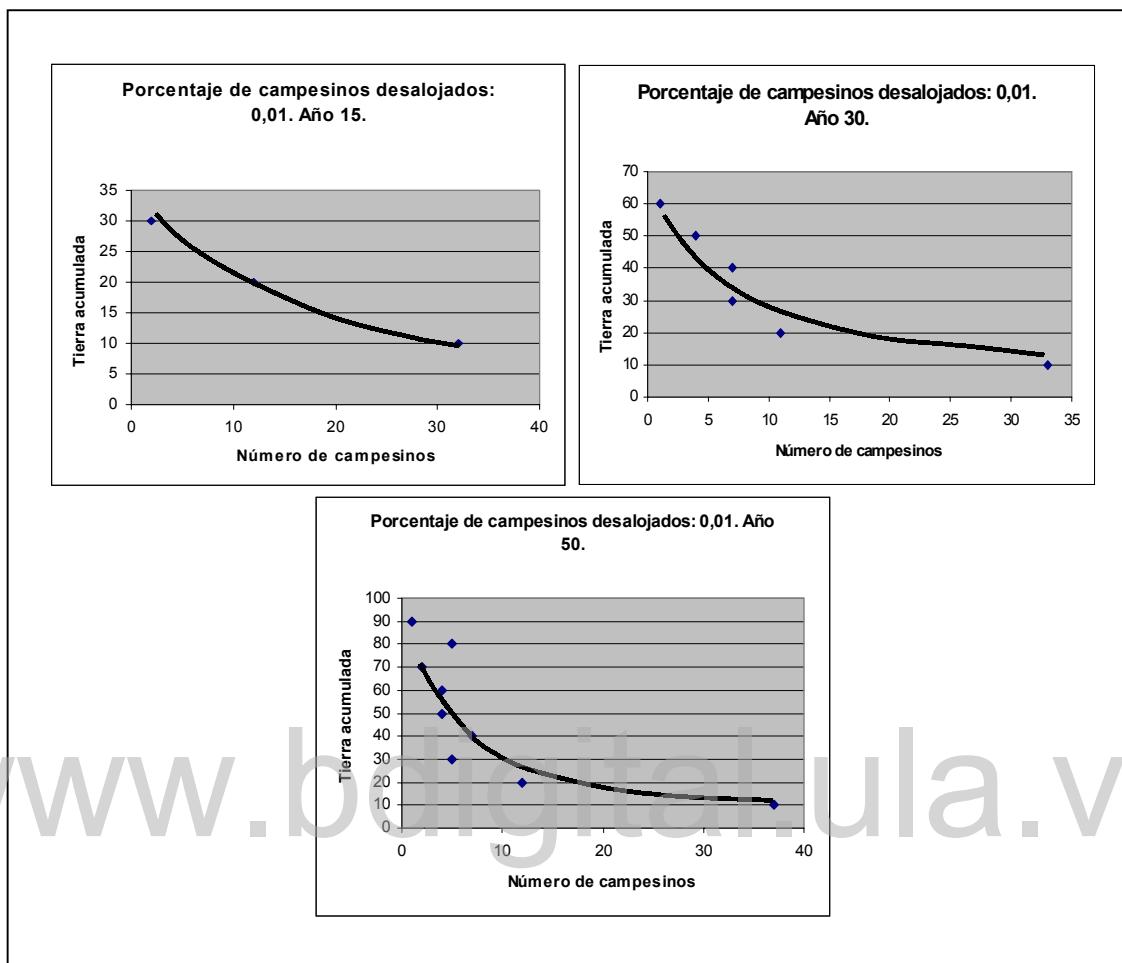


Figura N° 7.1. Gráficas del porcentajes de campesinos desalojados: 0,01 para los años 15, 30 y 50.

Estas gráficas reflejan, en cada uno de los casos, una gran similitud a lo que ocurre en sistemas críticamente autoorganizados, donde aparece la Ley de la Potencia, lo cual parece concordar con lo que Moss y Edmonds han observado en varios de sus modelos referidos a sistemas sociales.

La ecuación que rige tal propiedad, descrita en términos del caso específico de este modelo se muestra a continuación:

$$T(Nc) \sim Nc^{-\beta}$$

donde T representa la tierra acumulada, Nc el número de campesinos y el exponente, $\beta > 0$, está relacionado con la concavidad de la curva.

Tal propiedad emerge en la simulación y, como mencionamos anteriormente, nos permitirá entender mejor aspectos de la emergencia de grupos de campesinos que habitan la reserva, por ejemplo de los terratenientes.

Luego de haber observado las gráficas de los datos correspondientes para este escenario, se considera necesario observar la relación lineal entre los datos luego de tomar el logaritmo a ambos lados, con la finalidad de analizar con mayor facilidad que tan bueno es el ajuste de datos obtenidos a la distribución de la Ley de la Potencia. Ello permitirá calcular así un valor aproximado para el exponente β . A la vez se obtendrá mayor información que permita entender un poco más el proceso de ocupación de tierra en la reserva.

Aplicando, entonces, logaritmo a ambos lados de la ecuación correspondiente a la Ley de la Potencia, se tiene:

$$\ln(T) = -\beta \ln(Nc) + c$$

donde c es una constante.

Vemos como debe aparecer la relación lineal al aplicar logaritmo a ambas columnas de datos en las tablas mostradas arriba, obteniendo por tanto nuevas gráficas en las cuales se debe apreciar una relación lineal entre los datos.

Mostramos ahora las nuevas gráficas obtenidas al utilizar mínimos cuadrados para encontrar la recta que mejor se ajusta a los datos obtenidos luego de aplicarle el logaritmo. Estas gráficas se corresponden con los años 15, 30 y 50 respectivamente, ver Figura N° 7.2.

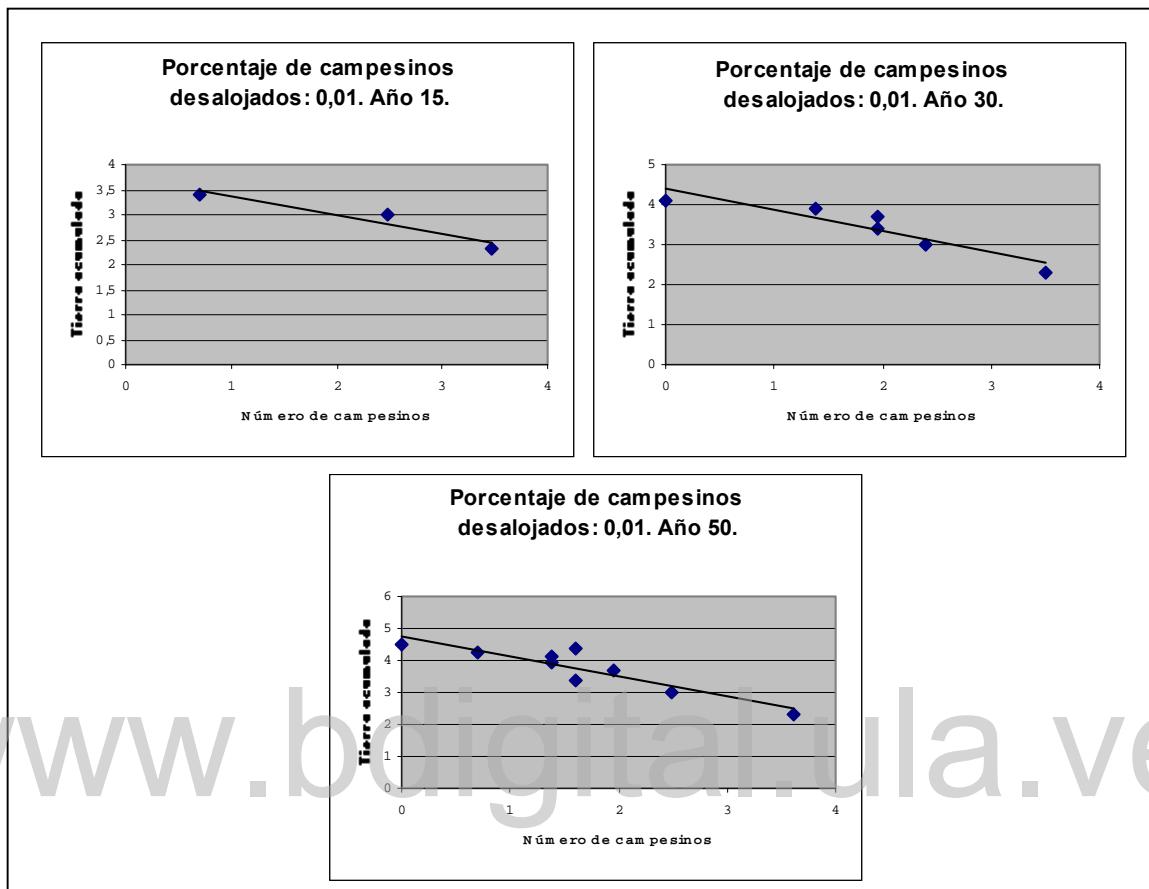


Figura N° 7.2. Gráficas de las rectas observadas al ajustar los datos según mínimos cuadrados, correspondientes a los años 15, 30 y 50.

Estas gráficas nos permiten mostrar que los datos contenidos en las Tablas N° 7.1, 7.2 y 7.3, se ajustan muy bien a las curvas descritas anteriormente, a pesar de algunos puntos que se presentan un poco dispersos en relación a los demás puntos (Gráfica del Porcentaje de campesinos desalojados: 0,01. Año 50). A fin de verificar este ajuste estadísticamente, se obtuvieron los valores de R^2 , el cual representa una medida del ajuste de la curva a los datos muy utilizada en sistemas sociales donde la aleatoriedad en la variable medida es debida a múltiples causas. Se obtuvo para los casos de la figura N° 7.2 los valores: 0,903; 0,848; 0,822. Los ajustes, de acuerdo a esta medida, son bastante buenos ($R^2 > 0,5$), por lo

tanto, podemos concluir que los datos obtenidos para este escenario se distribuyen de acuerdo a la Ley de la Potencia.

Es importante destacar que al aplicar mínimos cuadrados se obtiene el valor de la pendiente para cada recta, valor que se corresponde en la ecuación de la Ley de la Potencia con el exponente β . A continuación se muestra la relación entre las dos ecuaciones, la original de la Ley de la Potencia y la transformada al sacar logaritmo a ambos lados:

$$T(Nc) \sim Nc^{-\beta}$$

$$T(Nc) = ctte * Nc^{-\beta}$$

$$\ln(T) = -\beta \ln(Nc) + \ln(ctte)$$

$$y = m * x + b,$$

donde y representa el $\ln(T)$, m el exponente $-\beta$, x el $\ln(Nc)$ y b el $\ln(ctte)$.

El valor del exponente β calculado como el valor de la pendiente en la ecuación de mínimos cuadrados, resulta de singular importancia para la validación del modelo, más sin embargo, tal validación queda fuera del alcance de esta tesis, dada las limitaciones existentes para la recopilación de datos reales. No obstante, el valor del exponente puede ser utilizado para el análisis de las gráficas obtenidas en los diferentes escenarios.

Los valores de las pendientes correspondientes a cada una de las gráficas mostradas arriba son: -0.37541961 para la gráfica del año 15, -0.52840724 para la gráfica del año 30 y -1.29228269 para la gráfica del año 50.

Si observamos estos valores podremos notar que, en valor absoluto (valores de β), van en aumento a medida que pasa el tiempo, por lo cual la pendiente de las rectas se hacen

cada vez más pronunciadas. De acuerdo a lo medido por el parámetro β , a medida que transcurre el tiempo de simulación, la desigualdad en la distribución de la tierra en la reserva se incrementa dada la tendencia a que pocos campesinos acumulen grandes cantidades de terreno, apareciendo así más claramente los terratenientes. Estos terratenientes se vuelven más poderosos o acumulan más terreno a medida que el tiempo transcurre. En las siguientes secciones se elaborarán algunas hipótesis acerca del porqué de esta emergencia cada vez más acentuada de los terratenientes.

Para ilustrar un poco el proceso de distribución de la tierra en la reserva mostramos un ejemplo sencillo que indica tal distribución. Si observamos la Tabla N° 7.1, correspondiente al año 15, podremos ver un claro ejemplo de la desigualdad observada en la distribución de la tierra. Dos de los campesinos que habitan en la reserva, de un total de 46 colonos, ocupan cada uno, entre 21 y 30 unidades de tierra, mientras que 32 de estos 46 campesinos, ocupan entre 1 y 10 unidades de tierra cada uno.

Esta situación también es observada, aún en forma más acentuada, en los años siguientes, basta con mirar los datos de las Tablas N° 7.2 y 7.3, para darse cuenta que tal situación persiste. Por ejemplo, para el año 30, la mayor cantidad de tierra acumulada, entre un intervalo de 51 y 60 unidades de tierra, se encuentra ocupada por un solo campesino de un total de 63, mientras que las menores cantidades de tierra están distribuidas entre 33 colonos (tales cantidades de terreno para cada campesino, varían en un intervalo de 1 a 10 unidades de tierra).

La misma situación de desigualdad en la distribución de la tierra se observa para el año 50, con la diferencia de que ahora se ha incrementado la población de campesinos, por lo cual aumenta también el número de campesinos que posee las menores cantidades de tierra, y el número de campesinos que posee las mayores cantidades de tierra.

7.2.2 Segundo escenario.

Para este escenario se varía únicamente el porcentaje de campesinos desalojados cada año, continuando con los demás valores asignados en el primer escenario para el resto de los parámetros. El porcentaje de campesinos desalojados tomará los valores: 0.1%, 0.2% y 0.3%.

Se muestra a continuación un conjunto de tablas que contienen los datos obtenidos en cada caso. Estos datos serán descritos luego en gráficas definidas según el porcentaje de campesinos desalojados por cada año.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 37 | 10 |
| 12 | 20 |
| 5 | 30 |
| 7 | 40 |
| 4 | 50 |
| 4 | 60 |
| 2 | 70 |
| 5 | 80 |
| 1 | 90 |

Tabla N° 7.4. Acumulado de tierra versus número de campesinos para un 0,01% de campesinos desalojados cada año.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 23 | 10 |
| 9 | 20 |
| 7 | 30 |
| 7 | 40 |
| 3 | 50 |
| 1 | 60 |
| 2 | 70 |
| 5 | 80 |
| 3 | 90 |

Tabla N° 7.5. Acumulado de tierra versus número de campesinos para un 0,02% de campesinos desalojados cada año.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 18 | 10 |
| 7 | 20 |
| 8 | 30 |
| 5 | 40 |
| 3 | 50 |
| 2 | 60 |
| 4 | 70 |
| 3 | 80 |
| 2 | 90 |

Tabla N° 7.6. Acumulado de tierra versus número de campesinos para 0,03% de campesinos desalojados cada año.

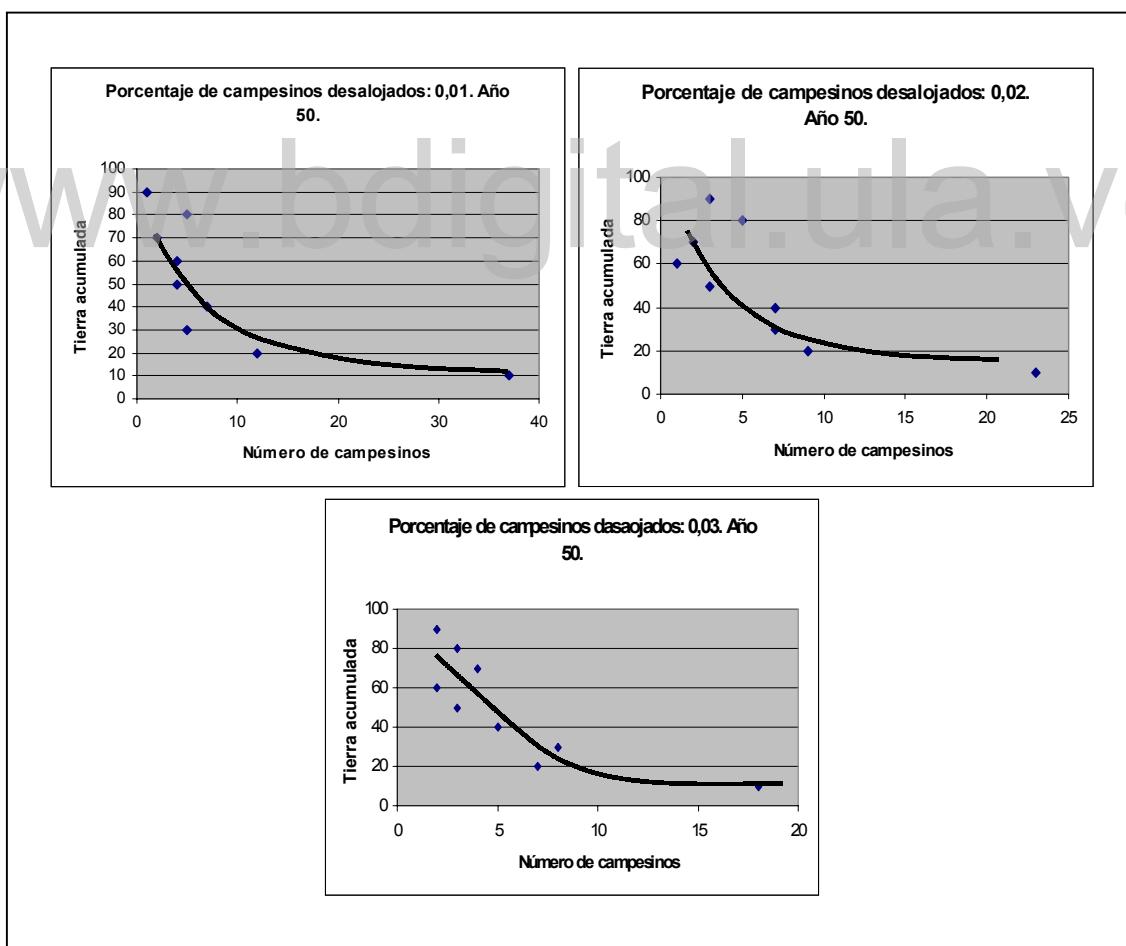


Figura N° 7.3. Gráficas para los porcentajes de campesinos desalojados: 0,01; 0,02 y 0,03.

Al igual que para el primer escenario, se observa que los datos que describen las gráficas para este segundo escenario parecen distribuirse según la Ley de la Potencia, por lo cual se tomará de nuevo logaritmo a ambos lados de la ecuación para observar más claramente que tan bueno es el ajuste a una relación lineal. De nuevo se utilizó mínimos cuadrados para obtener la recta que mejor se ajuste a los datos. Así tendremos los valores de las pendientes para cada una de las rectas, estos valores permitieron observar en forma más precisa algunas características presentes en el proceso de ocupación de la tierra.

Al observar los datos, en las Tablas N° 7.4, 7.5 y 7.6 se puede apreciar que la población total de colonos disminuye al aumentar el porcentaje de campesinos desalojados (para 0,01%, 77 campesinos; para 0,02%, 60 campesinos; y para 0,03%, 52 campesinos). Sin embargo, la distribución de la tierra continua en manos de unos pocos, tal como sucedió para el escenario anterior. Al parecer, este fenómeno tiende a repetirse sin importar cuan grande sea la población de campesinos.

Con el propósito de analizar en forma explícita la distribución de los datos obtenidos para este segundo escenario (y su semejanza a la distribución de la Ley de la Potencia), se presenta a continuación el conjunto de gráficas correspondientes a la relación lineal entre los datos, luego de aplicar logaritmo a ambos lados de la ecuación.

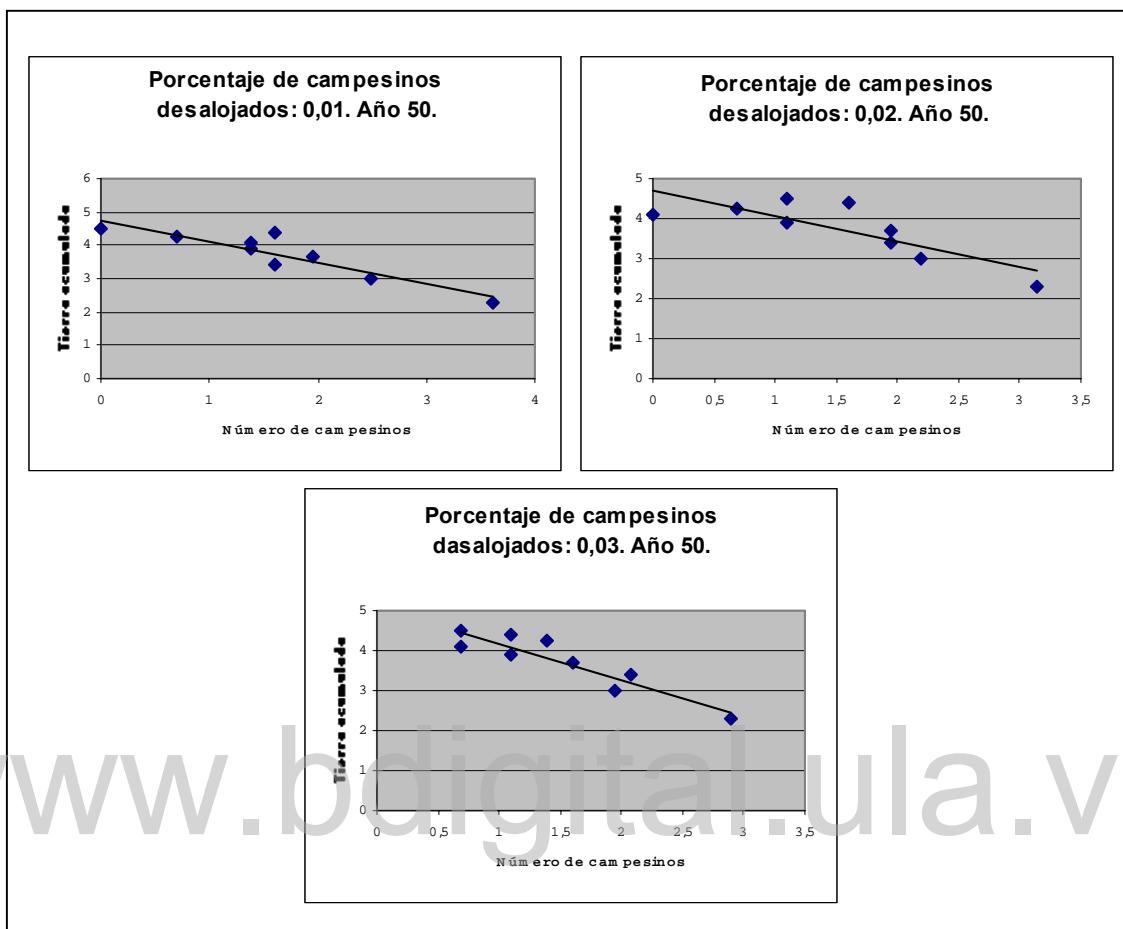


Figura N° 7.4. Gráficas de las rectas observadas al ajustar los datos según mínimos cuadrados, correspondientes a los a los porcentajes de campesinos desalojados: 0,01; 0,02 y 0,03.

Los valores obtenidos para la variable R^2 para los casos correspondientes a los porcentajes de campesinos desalojados 0,01; 0,02 y 0,03 son: 0,822; 0,654 y 0,855 respectivamente. Estos valores confirman que el ajuste de los datos a una línea curva, para cada uno de los casos, es bastante bueno, por ello podemos concluir que los datos se distribuyen de acuerdo a la Ley de la Potencia.

En el ajuste de datos obtenido utilizando la hoja de cálculo Excel, mostrados en las gráficas contenidas en la Figura 7.4, se puede apreciar los valores para cada una de las pendientes correspondientes a los porcentajes de campesinos desalojados 0,01; 0,02 y

0,03. Para estos casos el valor de las pendientes se corresponden con $-0,636062141$, $-0,63136625$ y $-0,92690048$ respectivamente. Para explicar el proceso de ocupación de la tierra, para cada uno de los porcentajes de campesinos desalojado se utilizará la Tabla N° 7.7, la cual muestra un resumen de los factores determinantes en este proceso.

| Porcentaje de campesinos desalojados | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
|---|----------------|---------------|---------------|
| Valor de la pendiente | $-0,636062141$ | $-0,63136625$ | $-0,92690048$ |
| Porcentaje de campesinos que ocupan entre 11 y 90 unidades de tierra (mayores cantidades de tierra) | 0,52 | 0,62 | 0,65 |
| Porcentaje de campesinos que ocupan entre 1 y 10 unidades de tierra (menores cantidades de tierra) | 0,48 | 0,38 | 0,35 |
| Número de campesinos desalojados | 33 | 47 | 62 |
| Total de campesinos con tierra acumulada | 77 | 60 | 52 |

Tabla N° 7.7. Factores de la dinámica del proceso de ocupación, al variar el porcentaje de campesinos desalojados.

Como se observa en la tabla, el porcentaje de campesinos con menor cantidad de terreno disminuye al aumentar el porcentaje de colonos desalojados cada año. De igual manera, se observa que el porcentaje de campesinos con mayores cantidades de terreno se incrementa al aumentar el porcentaje de desalojados por año, por lo que la desigualdad aumenta. Esto es contradictorio en relación a lo que ocurre al utilizar el sentido común: normalmente se asume que al sacar campesinos se protege la reserva y se disminuye la posibilidad de crearse los terratenientes; y muy probablemente se disminuye la desigualdad en la reserva. Arriba, en el primer escenario, se mencionó que al parecer para mayores valores (en valor absoluto) de la pendiente se observa más desigualdad en la distribución de la tierra. Esto mismo ocurre acá al aumentar el porcentaje de campesinos desalojados.

Por ejemplo, se observa que cuando el porcentaje de campesinos desalojados es 0,01 la pendiente toma el menor valor absoluto en comparación con el valor de las pendientes

generadas para los otros dos casos. La distribución de la tierra presenta menos desigualdad que cuando el porcentaje de desalojados toma los valores de 0,02 y 0,03. Ocurre de nuevo que para mayores valores de la pendiente se aprecia una mayor desigual en la distribución de la tierra.

Este incremento en el valor de la pendiente y por ende en la desigualdad de la tierra, al aumentar el porcentaje de campesinos desalojados, se debe a que los campesinos seleccionados para ser desalojados, por el agente *Controlador*, son tomados entre aquellos con pequeña cantidad de terreno ocupado. Por ello, al disminuir el porcentaje de desalojados (hasta 0,01) los campesinos con menores cantidades de tierra tienen aún más posibilidad de permanecer en la reserva. Con lo cual estos pueden incrementar su poder territorial a medida que pasa el tiempo. Más sin embargo, esto no significa que no exista una desigualdad marcada en la distribución de la tierra, pues al observar la Tabla N° 7.4, podemos notar algunas desigualdades, quizás la más importante de ellas es que un solo campesino ocupa una cantidad grande de terreno (en un intervalo de 81 a 90 unidades de tierra).

Ahora pasamos a analizar el segundo caso extremo, cuando el porcentaje de desalojados es de 3%, dejando para el final el segundo caso, cuando este parámetro es puesto en 0,02. En este caso (porcentaje de desalojados es 3%) se observa el valor más alto para la pendiente (en valor absoluto), correspondiéndose con una gran desigualdad en la distribución de la tierra. Observe que la distribución desigual de la tierra se mantiene, cuando el porcentaje varía de 0,01 a 0,02, haciéndose más notoria de 0,02 a 0,03. Ahora es menor el porcentaje de colonos con pequeñas cantidades de tierra acumulada. Esto se debe a que, como se explicó en los párrafos anteriores, el agente *Controlador* prefiere desalojar a aquellos campesinos con pequeñas cantidades de tierra.

Otro factor que contribuye a esta desigualdad, aunque por igual para todos los casos estudiados en el escenario, es que los campesinos con poco terreno prefieren vender a

aquellos con más terreno. Siendo esto así, son menos los colonos que pueden acumular en el tiempo grandes cantidades de terreno.

Dado que los campesinos que posean mayores cantidades de tierra no son desalojados, aumenta en ellos la posibilidad de invadir o comprar terreno, logrando así incrementar aún más su poder territorial. Es así como se explica tanta desigualdad en la distribución de la tierra, ya que como podemos observar en la tabla un 65% de la población ocupan las mayores cantidades de terreno, en un intervalo de 11 a 90 unidades de tierra.

Cuando el porcentaje de desalojados es 0,02, se observa un valor de la pendiente muy parecido al valor de la pendiente cuando el porcentaje de desalojados se corresponde a 0,01. Sin embargo se observa más desigualdad en la distribución de la tierra que para el otro caso. Esto se debe al aumento en el porcentaje de campesinos desalojados. Ahora se tiene un 62% de la población de campesinos ocupando las mayores cantidades de terreno; por tanto se observa mayor desigualdad que para el caso en el que el porcentaje de desalojados es de 0,01.

7.2.3 Tercer escenario.

Este último escenario se plantea con el fin de observar algunos cambios en el modelo al variar los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, sesgados a escuchar al *Controlador* y sesgados a escuchar al *Motivador*. El porcentaje de campesinos desalojados permanecerá fijo, con un valor de 0,02.

Los porcentajes variados para el caso tomarán los siguientes valores:

- Porcentaje de campesinos sesgados a imitar 0,8; porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador* 0,1; porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador* 0,1.

- Porcentaje de campesinos sesgados a imitar 0,1; porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador* 0,8; porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador* 0,1.
- Porcentaje de campesinos sesgados a imitar 0,1; porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador* 0,1; porcentaje de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador* 0,8.

Los datos y gráficas correspondientes a este escenario se muestran a continuación.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 27 | 10 |
| 11 | 20 |
| 7 | 30 |
| 5 | 40 |
| 2 | 50 |
| 4 | 60 |
| 4 | 70 |
| 1 | 80 |
| 3 | 90 |

Tabla N° 7.8. Acumulado de tierra versus número de campesinos para el 0,8% de campesinos sesgados a imitar y el 0,02% de campesinos desalojados.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 28 | 10 |
| 6 | 20 |
| 8 | 30 |
| 4 | 40 |
| 5 | 50 |
| 2 | 60 |
| 2 | 70 |
| 3 | 80 |
| 4 | 90 |

Tabla N° 7.9. Acumulado de tierra versus número de campesinos para el 0,8% de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador* y el 0,02% de campesinos desalojados.

| Número de campesinos | Tierra acumulada |
|----------------------|------------------|
| 23 | 10 |
| 9 | 20 |
| 3 | 30 |
| 4 | 40 |
| 3 | 50 |
| 2 | 60 |
| 2 | 70 |
| 3 | 80 |

Tabla N° 7.10. Acumulado de tierra versus número de campesinos para el 0,8% de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador* y el 0,02% de campesinos desalojados.

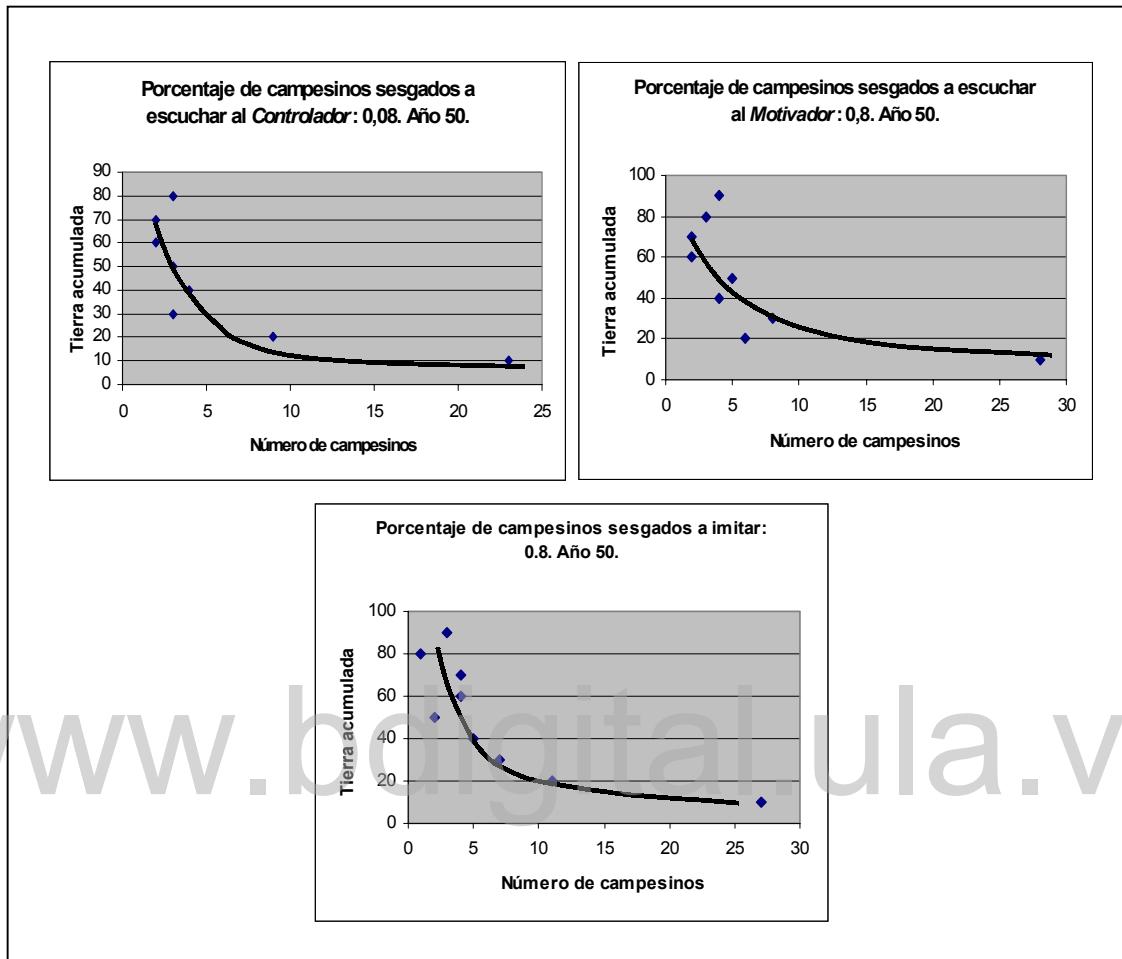


Figura N° 7.5. Gráficas para los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, sesgados a escuchar al *Controlador* segados a escuchar al *Motivador*.

Tal como se observó para los escenarios anteriores, los datos generados para este escenario parecen distribuirse según la Ley de la Potencia. En vista de esto se presentará un conjunto de gráficas como resultado de aplicar mínimos cuadrados a los datos para ajustarlos a una recta, luego de aplicarles el logaritmo.

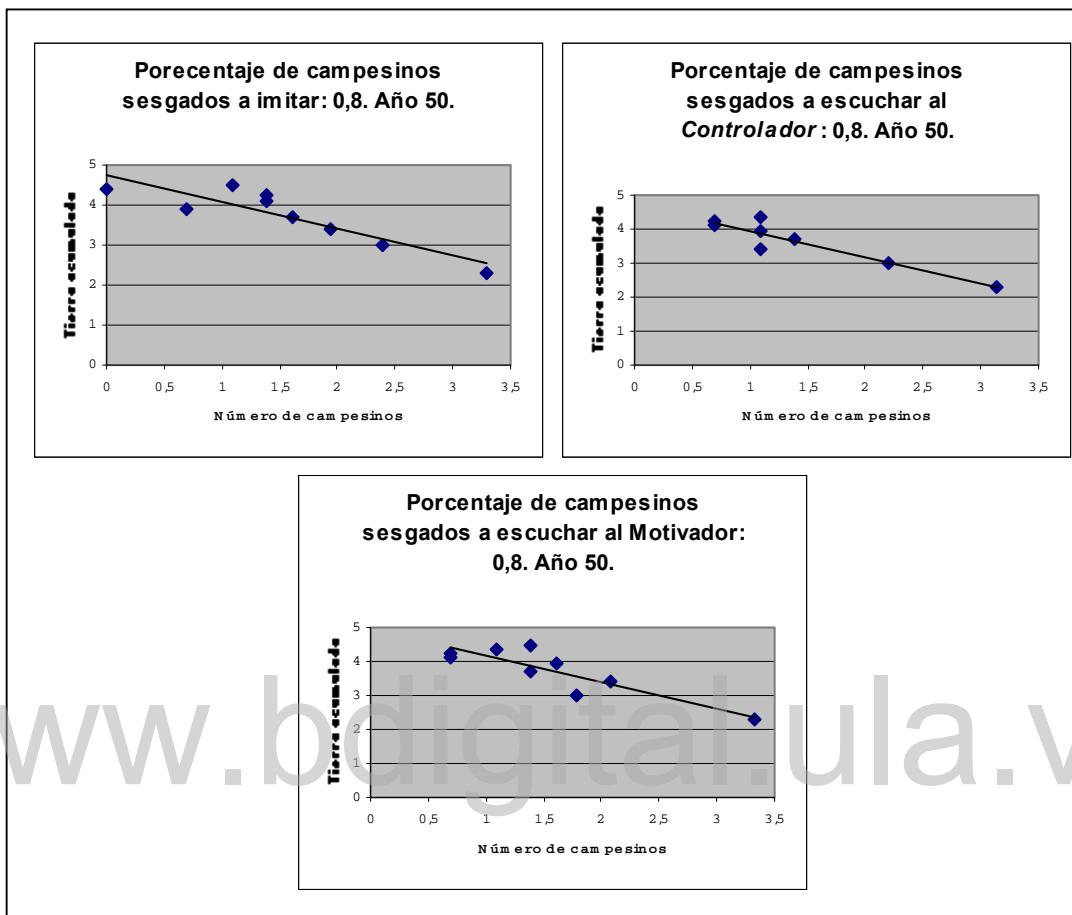


Figura N° 7.6. Gráficas de las rectas observadas al ajustar los datos según mínimos cuadrados, correspondientes a los a los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, a escuchar al *Controlador* y a escuchar al *Motivador*.

Los valores para la variable R^2 , obtenidos en Excel, para los casos correspondientes a los porcentajes de campesinos sesgados a: imitar, escuchar al *Controlador* y a escuchar al *Motivador* son: 0,795; 0,856 y 0,758 respectivamente. Igual que para los escenarios anteriores, éstos valores para la variable R^2 confirman que el ajuste de los datos a una línea curva es bastante bueno.

Los valores de la pendiente para cada gráfica son los siguientes: -0,67037172 para el caso de campesinos sesgados a imitar; -0,77687889 para el caso de campesinos sesgados

a escuchar al *Controlador*; y $-0,77330636$ para el caso de campesinos sesgados a escuchar al *Motivador*.

Para explicar lo que sucede con el proceso de ocupación de la tierra según las diferentes tendencias utilizaremos dos tablas. En la primera (Tabla N° 7.8) presentamos los datos correspondientes a la tendencia de imitar y a escuchar al *Motivador*, y en la segunda (Tabla N° 7.9) los datos para la tendencia de escuchar al *Controlador*. Se presentan de esta forma debido a que hay una variación en la cantidad de tierra acumulada cuando la población de campesinos actúa según la tendencia de escuchar al *Controlador* (la mayor cantidad de terreno acumulado está entre el intervalo 71 a 80 unidades de tierra), y cuando actúa según la tendencia de imitar o escuchar al *Motivador* (la mayor cantidad de terreno acumulado está en el intervalo 81 a 90 unidades de tierra).

Por otro lado, se observa que la población de colonos aumenta cuando los campesinos están sesgados a imitar y a escuchar al *Motivador*, en comparación a la cantidad observada cuando el sesgo es a escuchar al *Controlador*. Las tablas que presentamos a continuación describen tal situación en forma más precisa.

| Tendencias en tipos de campesinos | Imitadores (0,5) | Escucha <i>Motivador</i> (0,8) |
|---|---------------------|-----------------------------------|
| Valor de la pendiente | -0,67037172 | -0,77330636 |
| Porcentaje de campesinos que ocupan entre 11 y 90 unidades de tierra (mayores cantidades de tierra) | 0,58 | 0,56 |
| Porcentaje de campesinos que ocupan entre 1 y 10 unidades de tierra (menores cantidades de tierra) | 0,42 | 0,44 |
| Número de campesinos desalojados | 47 | 47 |
| Número de campesinos ausentes | 8 | 9 |
| Total de campesinos con tierra acumulada | 64 | 63 |

Tabla N° 7.11. Factores de la dinámica del proceso de ocupación para los casos de campesinos sesgados a imitar y a escuchar al *Motivador*.

| Tendencias en tipos de campesinos | Escucha <i>Controlador</i> (0,8) |
|---|----------------------------------|
| Valor de la pendiente | -0,77687889 |
| Porcentaje de campesinos que ocupan entre 11 y 80 unidades de tierra (mayores cantidades de tierra) | 0,53 |
| Porcentaje de campesinos que ocupan entre 1 y 10 unidades de tierra (menores cantidades de tierra) | 0,47 |
| Número de campesinos desalojados | 47 |
| Número de campesinos ausentes | 21 |
| Total de campesinos con tierra acumulada | 49 |

Tabla N° 7.12. Factores de la dinámica del proceso de ocupación para el caso de campesinos sesgados a escuchar al *Controlador*.

Al analizar las dos tablas se observa que la distribución de la tierra es muy parecida para los tres casos. Sin embargo, ésta se presenta un poco más desigual cuando los campesinos están sesgados a imitar o a escuchar al *Motivador*. Esto parece deberse a que los campesinos, al estar sesgados a imitar o a escuchar al *Motivador*, tienden a invadir con mayor frecuencia que cuando toman sus decisiones escuchando al *Controlador* (cuando toma más peso la decisión de no invadir). Sin embargo, ésto no es concluyente.

Cuando se tiene la tendencia de escuchar al *Controlador* se observa que la distribución de la tierra mejora levemente, por lo que la desigualdad prevalece. Esto significa que cuando predomina la decisión de no invadir disminuye la invasión progresiva en la reserva, tanto para los que tienen poco terreno acumulado como para aquellos que poseen las mayores cantidades de terreno. Por esta razón se observa además una disminución de *Terratenientes* en la reserva.

Se observa que cuando los campesinos tienen tendencia a escuchar al *Controlador* tienden con más frecuencia a marcharse de la reserva (campesinos ausentes), una vez que han decidido vender su terreno y a su vez deciden no invadir. Esto no sucede cuando

tiene tendencia a imitar o escuchar al *Motivador*, dado que hay más posibilidad de invadir que cuando se escucha al *Controlador*.

Una conclusión interesante es que la desigualdad de la tierra no parece estar relacionada fuertemente con el sesgo que puedan tener los campesinos a imitar, a escuchar al *Controlador* o, a escuchar al *Motivador*, sino más bien con el hecho de que los campesinos con menos terreno acumulado son los más expuestos a ser desalojados y a vender terreno.

7.3 Análisis del comportamiento del agente campesino.

En esta sección mostraremos aspectos del comportamiento del agente campesino. En particular, se revisará la toma de decisiones relacionada con la invasión y la venta de terreno, así como también cómo un campesino toma la decisión al momento en que decide marcharse de la reserva.

Consideremos el comportamiento del campesino “campesino-16” en el transcurso de 10 años de simulación, para el caso del primer escenario. Utilizamos las Tablas N° 7.13 y 7.14, para describir su comportamiento en cuanto a la toma de decisiones para los procesos de ocupación y compra-venta de terreno para este trascurso de tiempo.

| Año | Sugerencia | Decisión |
|-----|--------------------|-----------|
| 1 | ImitaVecino | NoInvadir |
| 2 | EscuchaSimismo | NoInvadir |
| 3 | EscuchaMotivador | Invadir |
| 4 | EscuchaMotivador | Invadir |
| 5 | EscuchaSimismo | NoInvadir |
| 6 | EscuchaMotivador | Invadir |
| 7 | EscuchaSimismo | NoInvadir |
| 8 | EscuchaControlador | NoInvadir |
| 9 | | |
| 10 | | |

Tabla N° 7.13. Toma de decisiones del “campesino-16” en el proceso de ocupación de la tierra.

| Año | Compra | Vendedor | Posibles Compradores | Venta | Tierra acumulada | Ausente |
|-----|----------------|--------------------------------|----------------------|-------|------------------|---------|
| 1 | | | | | 1 | |
| 2 | | | | | 1 | |
| 3 | “campesino-16” | “campesino-6” y “campesino-13” | “campesino-13” | | 1 | |
| 4 | | | | | 1 | |
| 5 | “campesino-16” | “campesino-13” | “campesino-13” | | 2 | |
| 6 | | | | | 1 | |
| 7 | “campesino-16” | “campesino-20” | “campesino-20” | | 1 | |
| 8 | | | | | 0 | |
| 9 | | | | | 0 | Ausente |
| 10 | | | | | 0 | Ausente |

Tabla N° 7.14. Toma de decisiones del “campesino-16” en el proceso de compra-venta de tierra.

En estas tablas podemos apreciar cómo el agente “campesino-16” toma las decisiones correspondientes a la ocupación y compra-venta de la tierra. Por ejemplo, para el primer año el campesino toma una decisión imitando a un vecino, así que toma la misma decisión que tomó uno de sus vecinos el año pasado, la cual para este caso fue de no invadir. Luego endosa la acción y la sugerencia. En el año 2 este campesino se escucha a sí mismo, por lo cual observa sus endosos pasados para la acción *Invadir* y para la

acción *noInvadir*, resultando mayor el endoso de la acción *noInvadir*, tomando así la decisión de no invadir, endosando esta acción con la etiqueta *escuchaSimismo*. Para el año 3 decide invadir escuchando al *Motivador*, y la acción correspondiente es invadir, endosando de nuevo la acción y la sugerencia. Para ese mismo año, si observamos la Tabla N° 7.14, veremos que actúa como vendedor, al recibir ofertas de compra para uno de sus puntos. Tales ofertas provienen de dos campesinos vecinos (“campesino-6” y “campesino-13”). El “campesino-16” decide entonces vender al “campesino-13”, debido a que éste posee mayor cantidad de terreno acumulado que el “campesino-6”, por lo cual podrá ofrecer mejores precios de compra.

Para los años siguientes continúa el proceso de ocupación tal como se describe en las tablas. Pero para el año 8, el campesino decide retirarse de la reserva. Si observamos en el año 7 este campesino toma la decisión de no invadir, y a su vez decide vender el único punto que posee. Para el año 8 no teniendo puntos ocupados, él decide no invadir por lo cual decide marcharse de la reserva.

Con este pequeño bosquejo acerca del comportamiento del agente “campesino-16” se puede apreciar cómo se desarrolla el proceso de aprendizaje del agente, observando el factor de imitación como parte de este proceso. También se puede apreciar la forma en la cual el agente toma decisiones respecto a la negociación de la tierra, observándose así formas de negociación entre grupos sociales.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusión.

El modelo que representa el proceso de ocupación de la tierra en la Reserva Forestal de Caparo, descrito para este proyecto, es el resultado de la reestructuración y ampliación del modelo planteado por Jaimes como proyecto de tesis. Esta modificación permitió representar el sistema bajo estudio en forma más real o cercana al sistema objeto, de acuerdo a las descripciones tomadas de Sánchez (1994), y según las suposiciones asumidas en el modelo (ver Capítulo VI sección 6.2.1) referentes al proceso de negociación de la tierra.

En el modelo propuesto por Jaimes se estudia el comportamiento y el proceso cognitivo de los agentes (campesinos invasores), específicamente el proceso que involucra la toma de decisiones generadas al momento de decidir una posible invasión. Allí, el proceso para la toma de decisiones fue descrito tomando en cuenta el factor imitación, en el cual el agente campesino puede decidir invadir o no, dependiendo de si imita al vecino. Sin embargo, el agente puede verse influenciado al momento de tomar una decisión por el Estado o por el contrario, decide de acuerdo a lo que cree y prefiere por sí mismo. El modelo descriptivo de Jaimes incluye al agente que representa a las organizaciones político-sindicales, pero éste no fue implantado en la simulación.

En el nuevo modelo, reestructurado y complementado en este proyecto de grado, fueron tomados en cuenta otros aspectos observados en el proceso de ocupación en la reserva distintos a los representados en el modelo de Jaimes. Acá se modelan factores inherentes al comportamiento social, entre los cuales se encuentran: la negociación de la tierra que incluye la escasez de espacio en la reserva, la inclusión y/o eliminación de agentes (campesinos invasores) en el tiempo, y la inclusión del agente promotor de

invasiones (*Motivador*). Se muestra además, a diferencia de Jaimes, un marco teórico para el factor de imitación, en el cual se define la imitación como un factor determinante para el aprendizaje social; y un marco teórico para entender la tendencia emergente observada, a saber, aspectos relevantes de la teoría de sistemas críticamente auto-organizados.

El marco teórico para comprender la imitación como un componente importante del comportamiento y aprendizaje social, es tomado de la investigadora italiana Rosaria Conte. Ella describe, en uno de sus artículos, los procesos y representaciones mentales considerados como factores necesarios para la imitación. Entre los factores considerados se encuentran las creencias sociales, el razonamiento social y los objetivos relativizados.

Estos factores fueron comparados con algunos aspectos observados en el comportamiento del agente campesino, observándose características similares a las descritas por Conte. Por ejemplo, entre los factores observados en el comportamiento del agente campesino se perciben dos objetivos relativizados: el primero referido a la búsqueda de una mejor forma de vida, por lo cual el campesino se convierte en un colono más de la reserva, esto genera el segundo objetivo relativizado: ocupar terreno en la reserva. Estos objetivos son relativizados a la creencia de que los campesinos tendrán mejores oportunidades de vida en la reserva. Acá se observa ya un aspecto importante sobre el cual se podrían definir políticas orientadas a prevenir las invasiones: tratar de cambiar esta creencia y los objetivos relativizados a la misma.

Adicionalmente, tanto en relacionados con el aprendizaje como con el comportamiento social se muestra en el modelo procesos distintos a la imitación. Por ejemplo, el proceso de negociación representado, el cual constituye una forma de aprendizaje basada en las creencias y en los intereses de los campesinos. Estas creencias e intereses están referidas con la forma de pensar y razonar del agente campesino, y se

representan a través de los supuestos que fundamentan el proceso de negociación de la tierra.

El aprendizaje social, dado en términos de imitación y de negociación, se representa en el modelo en términos de endosos y espacio de problemas.

Cuando el agente campesino decide comprar es porque lo cree conveniente de acuerdo a sus intereses, de igual forma ocurre cuando decide vender. El supone (cree) que obtendrá mejores beneficios si vende al comprador que posea la mayor cantidad de tierra, pues éste, por ejemplo, podrá ofrecer mejores precios de compra.

En tal sentido se coincide con la descripción de negociación argumentada por Edmonds y Hales en uno de sus artículos. Esta descripción define a la negociación como la búsqueda de una solución mutuamente aceptable para los agentes participantes basada en la comunicación, en la cual se toman en cuenta los diferentes niveles de *satisfacción* que se producen como resultado de las distintas *creencias* presentes en cada uno de los agentes.

Adicionalmente las preferencias de un agente, en cuanto a la negociación de la tierra, no son representadas por medio de funciones convexas y continuas (basadas en tendencias generales del entorno), tal como sucede para el caso de los actores en Teoría de Juegos, sino que, más bien, éstas se guían por el aprendizaje del agente como individuo en su interacción con agentes (individuos) vecinos. Esta negociación se da con la interacción de varios agentes, algo que generalmente no es posible si se utiliza la Teoría de Juegos. En particular, los agentes involucrados en la negociación se comunican entre sí, de manera que el vendedor decide a cual de ellos venderle luego de considerar características de cada uno, como la cantidad de terreno acumulado por cada campesino.

Se elaboraron una serie de experimentos en los cuales se varían algunos parámetros como el porcentaje de campesinos desalojados por año, los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, sesgados a escuchar al *Controlador*, y sesgados a escuchar al *Motivador*. Al variar tales parámetros se pudo observar una serie de factores que parecen determinar en forma importante el comportamiento del agente campesino.

En los experimentos realizados para cada escenario se observó que la relación entre las variables número de campesinos que ocupan cierta cantidad de tierra, por un lado, y, cantidad de tierra acumulada, por el otro, sigue la distribución de la Ley de la Potencia. Tal propiedad se considera emergente dado que no es fácil de explicar a partir de la definición de los elementos del sistema.

Se pudo confirmar que los datos siguen tal distribución utilizando aproximación de mínimos cuadrados para ajustar la curva obtenida al aplicar logaritmo a ambos lados de la ecuación. En tal sentido, se puede concluir que el sistema social representado a través de este modelo (proceso de ocupación en la Reserva Forestal de Caparo) presenta características de sistemas críticamente autoorganizados – específicamente la Ley de la Potencia -. Como se dijo arriba, esta propiedad refleja un proceso emergente en el modelo conocido como Terratenientes, que significa grandes cantidades de tierra en manos de unos pocos.

Esto se asemeja a características observadas en los mercados de distribuidores por Scott Moss. Moss ha encontrado que el número de distribuidores vs. el tamaño de mercado se comporta según la Ley de la Potencia, no sólo en sus modelos de simulación, sino también en los mercados estadounidense y británico. Algunas desviaciones de esta ley son explicadas por los sesgos y las trabas al libre comercio que aparecen, por ejemplo, en los mercados monopolistas. En nuestro caso, posibles fuentes de estos sesgos y trabas los son el hecho de que las ventas de terreno se dan preferiblemente a los campesinos con más terreno, por un lado; y, por el otro, a que el agente *Controlador*

prefiere desalojar a campesinos con poco terreno ocupado. Ambos comportamientos se deben al poder acumulado por aquellos que poseen más terreno.

Al utilizar los mínimos cuadrados se obtuvo el valor de la pendiente para cada recta, el cual se corresponde con el valor del exponente β de la ecuación característica de la Ley de la Potencia. Al estudiar los valores del exponente, obtenidos para cada escenario se observó que a media que aumenta el valor de éste, y por ende la pendiente de la recta se hace más pronunciada, se nota una mayor desigualdad en la distribución de la tierra que cuando este exponente toma valores menores. Los valores de β permiten entender el proceso y esperamos ayude a validar el modelo, en el futuro, cuando se tengan datos apropiados del sistema real.

El aumento del exponente se refleja al aumentar el valor del porcentaje de campesinos desalojados. El hecho de que el agente *Controlador* prefiera desalojar a aquellos campesinos con pequeñas cantidades de tierra contribuye notablemente a que cuando aumenta el porcentaje de campesinos desalojados, sean más los campesinos con menores cantidades de terreno que puedan continuar en la reserva. Tal situación contribuye a que los campesinos con mayores cantidades de tierra tengan más posibilidades de seguir invadiendo y comprando terreno.

Cuando se varían los porcentajes de campesinos sesgados a imitar, a escuchar al *Controlador* y a escuchar al *Motivador*, se observan valores de la pendiente muy parecidos, y por ende distribuciones de tierra parecidas. Sin embargo, cuando se tiene tendencia a escuchar al *Controlador* se observa que la distribución de la tierra mejora levemente, pero la desigualdad prevalece. Esto significa que cuando predomina la decisión de no invadir disminuye la invasión progresiva en la reserva, tanto para los que tienen poco terreno acumulado como para aquellos que poseen las mayores cantidades de terreno. Además se observa un gran número de campesinos que deciden marcharse de

la reserva, dado que deciden vender su terreno y, al escuchar al *Controlador*, deciden no invadir.

Con la información observada en cada uno de los escenarios se puede concluir, que al parecer, la desigualdad de la tierra no parece estar relacionada fuertemente con el sesgo que puedan tener los campesinos a imitar, a escuchar al *Controlador* o, a escuchar al *Motivador*, sino más bien con el hecho de que los campesinos con menos terreno acumulado son los más expuestos a ser desalojados y a vender terreno.

El trabajo desarrollado en este proyecto de grado ha sido presentado en el congreso internacional “*CABM-HEMA-SMAGET Joint International Conference on Multi-Agent Modelling for Environment Management, Saint Maurice*” celebrado en Francia desde el 21 hasta el 25 de marzo de 2005. El artículo en cuestión se presenta como anexo a este trabajo de grado. Es importante resaltar que, ni para los fines de dicho artículo ni para los fines de este proyecto de grado, la validación del modelo, el cual ha sido inspirado en la Reserva Forestal de Caparo, ha sido un objetivo importante. Sin embargo, la consistencia de los experimentos realizados para el artículo con aquellos realizados en este proyecto de grado dan fe de la robustez del modelo y permite hablar de cierto grado de veracidad de los resultados.

8.2 Recomendaciones.

El modelo desarrollado para el caso incluye muchos aspectos importantes que describen el comportamiento y el proceso de aprendizaje del agente campesino, sin embargo sería conveniente para estudios futuros incluir otros aspectos que reflejen no sólo otros factores importantes del comportamiento del agente campesino sino que además permitan observar el comportamiento de otros agentes como el *Controlador* y el *Motivador*. Por esta razón presentaremos acá una serie de recomendaciones que podrían implementarse al modelo.

- Incluir aspectos económicos que sirvan para representar el proceso de negociación de la tierra en términos monetarios.
- Representar por parte del agente *Controlador* medidas de castigo que se apliquen a aquellos campesinos que posean grandes cantidades de tierra.
- Implementar estudios estadísticos más explícitos, que sirvan para realizar análisis más profundos acerca del proceso de ocupación de la tierra.
- Considerar los costos e ingresos asociados al uso de la tierra.
- Modelar la venta de tierra de tal forma que el agente campesino pueda decidir si compra un espacio de terreno que le sea útil para la producción agrícola o para la producción ganadera.
- Considerar la invasión de campesinos con poco terreno a espacios ocupados por campesinos que posean mayores cantidades de terreno (*Terratenientes*).
- Considerar la posibilidad de que los campesinos desalojados así como los que deciden marcharse de la reserva, puedan tener la posibilidad de decidir si regresan o no más tarde a la reserva, o simplemente que puedan invadir un terreno menos vigilado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilera Antonio y López Adolfo (2001). *Modelado Multiagente de Sistemas Socioeconómicos: Una Introducción al Uso de la Inteligencia Artificial en la Investigación Social.* El Colegio de San Luis, San Luis Potosí, México.

Bak, Per (1996). *How Nature Works: The Science of Self-Organised Criticality.* Copernicus Press. New York, USA.

Campbell D. T. (1974). “Evolutionary Epistemology”. En *The Philosophy of Karl Popper*. P.A. Schilpp (ed.), Open Court.

Carley K., Prietula M., y Lin Z. (1998). “Design Versus Cognition: The Interaction of Agent Cognition and Organizational Design on Organizational Performance”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(3) (accessible en: <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/4.html>).

Conte, Rosaria (2004). “Intelligent Social Learning”. CPM report. <http://cfpm.org>

Cyert R. y J. G. March. *A behavioral Theory of the Firm.* 2nd edition. Blackwell Publishers. Cambridge, MA. 1992 [1963].

Edmonds Bruce y David Hales (2004). “When and Why Does Haggling Occur? Some suggestions from a qualitative but computational simulation of negotiation”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 7, no. 2. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/2/9.html>.

Edmonds, Bruce (2000). “The Use of Models – making MABS more informative”. In Moss S., Davidson P., Eds.: Multi-Agent Based Simulation 2000. Volumen 1979 de *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 15-32.

Fuenmayor, R. (1991a). “The self-referential structure of an everyday-living situation: A phenomenological ontology for interpretive systemology”. *Systems Practice*. 4, 449-472.

Fuenmayor, R (1991b). “Truth and openness: An epistemology for interpretive systemology”. *Systems Practice*. 4, 473-490.

Gómez, J. (2002). “Historia de la Simulación en la Ciencia Social”. México. <http://delta.es.cinvestav.mx/~jmgomez/jmwebpage/cursos/Cursoaca/histosi.htm>.

Heylighen, F. (1991). “Cognitive Levels of Evolution: from pre-rational to meta-rational”. En: *The Cybernetics of Complex Systems - Self-organization, Evolution and Social Change*. F. Geyer (ed.), (Intersystems, Salinas, California). pp.75-91.

Heylighen F. (1990). “Design of an Interactive Hypermedia Interface Translating between Associative and Formal Problem Representations”. *International Journal of Man-Machine Studies*, 35, pp. 491-495.

Jaimes, Manuel (2004). *Una Representación del Proceso de Ocupación y Uso de la Tierra en la Reserva Forestal de Caparo basada en Sistemas Multiagentes*. Proyecto de Grado presentado para optar al título de Ingeniero de Sistemas. Departamento de Investigación de Operaciones. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. ULA.

Maturana H. y F. Varela (1980), *Autopoiesis and Cognition: the realization of the living*, Reidel, Dordrecht.

Montilla, Leiner (2004). *Modelo Multiagente del Mercado de las Aerolíneas Comerciales de la Ciudad de Mérida*. Proyecto de Grado presentado para optar al título de Ingeniero de Sistemas. Departamento de Investigación de Operaciones. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. ULA.

Moss, Scott (2001). “Game Theory: Limitations and an Alternative”. Centre por Policy Modelling, Manchester Metropolitan University. CPM Report. <http://cfpm.org>.

Moss Scott, Bruce Edmonds y Steve Wallis (2000). “The Power Law and Critical Density in Large Multi Agent Systems”. CPM report CPM-00-71. <http://cfpm.org>.

Moss S., H. Gaylard, S. Wallis y B. Edmonds (1998). “SDML: A Multi-Agent Language for Organizational Modelling”. *Computational Mathematical Organization Theory*, 4(1), pp. 43-69.

Moss S., B. Edmonds y S. Wallis (1997). “Validation and Verification of Computational Models with Multiple Cognitive Agents”. CPM-97-25 (<http://www.cpm.mmu.ac.uk/cpmrep25.html>).

Ochoa, J. (2002), “Simulación y Ciencia Social”. Universidad de los Andes. Venezuela. <http://cesimo.ing.ula.ve/SEMINARIOS/Nacho2.html>. Proyecto GAIA Caso Venezuela: Reserva Forestal de Caparo. http://chue.ing.ula.ve/GAIA/CASES/VEN/español/modelo_caparo.html

Rusell S. y Norving P. (1995). *Artificial Intelligence, A Modern Approach*. Prentice Hall International. New Jersey, EE. UU.

Sánchez, M. (1994). *Escenarios de la Ocupación de la Reserva Forestal de Caparo.* Universidad de los Andes. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Mérida.

Shafritz Jay, y Steven Ott (Eds) (1997). *Classics of Organization Theory.* Cuarta Edición. Harcourt Brace.

Terán, Oswaldo (2002). *Modelado de Organizaciones* (Monografía). Departamento de Investigación de Operaciones. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. ULA.

Terán, Oswaldo (2001). “How Nature Works: The Science of Self-Organised Criticality” (Review Essay). *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Online Journal at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/4/contents.html>. Revisión-Ensayo del libro de Per Bak (1996): *How Nature Works: The Science of Self-Organised Criticality*. New York. NY: Copernicus Press.

Tutorial de SDML: “An Introduction to SDML – a short course for beginners”.
<http://sdml.cfpm.org/intro/>

Van Boven y Thompson L. (2001). “A Look Into the Mind of the Negotiator: Mental Models in Negotiation”. Kellogg Working Paper 211.
<http://www1.kellogg.nwu.edu/wps>SelectDocument.asp?>

Zeigler, B. (1976), *Theory of Modelling and Simulation.* Robert E. Krieger Publishing Company. Malabar, Fl, USA.

APÉNDICE

“Land Occupation and Land Use Change in a Forest Reserve: a MABS Approach”.

Artículo presentado en: *CABM-HEMA-SMAGET Joint International Conference on Multi-Agent Modelling for Environment Management*, Saint Maurice - Les Arcs, Francia, 21 - 25 de marzo de 2005.

www.bdigital.ula.ve

Land Occupation and Land Use Change in a Forest Reserve: a MABS Approach

*Occupation et changement de l'emploi des terres à l'intérieur d'une réserve forestière:
Une approche de simulation multiagent*

Terán O, Alvarez J, Jaimes M

Departamento de Investigación de Operaciones y CESIMO,
Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Los Andes, Mérida - VENEZUELA

Tel. + 58 274 2402988
Fax + 58 274 2402979
E.mail : oteran@ula.ve

Ablan M

Cesimo
Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida - VENEZUELA
Tel. + 58 274 2402988
Fax + 58 274 2402979
E.mail : mablan@ula.ve

Abstract

This paper presents a model of the processes of land occupation and change of land use, at the Caparo Forest Reserve in Venezuela. This reserve has been highly intervened and modified by opportunistic, usually nomad, land-seeking colons. The dynamics is simulated around the colons' decision-making process in a Multi-Agent System. Colons interact in a landscape, represented by cell automata. Social interaction and social learning are driven by imitation, and negotiation processes, implemented by using production rules, problem space and endorsements. Apart from colons, two other important actors in the reserve are simulated: a government representative (controller), which suggests the colons not to occupy land; and, a sort of colon's union (motivator) supported by political parties, which promotes invasions. A colon would either imitate a neighbour colon, follow self reasoning and experience, hear the union's suggestion, or takes the state's recommendation. Land change is allowed by changing properties of cells in the landscape, in accordance to colons activity. Conversely, the state of land is taken into account in the agents' decision making process (as they occupy land). Emerging properties helpful for understanding the real process can be found in the simulation process, such as arising of landowners. This dynamics might present interesting properties, e.g., those shown by critically self-organised system. The idea is not to simulate a model that closely represents (quantitatively) the process at the Caparo reserve, but a model that captures its main properties and be useful for governmental policy making in order to stop this process at the Caparo and other Venezuelan reserves where the same process occurs.

Résumé

L'objectif de ce document est de présenter un modèle du processus d'occupation des terres et de la modification de l'emploi des terres qui en résulte dans la réserve forestière Caparo au Venezuela. On est grandement intervenu sur cette réserve. Elle a été modifiée par des colons opportunistes, principalement nomades, cherchant des terres. Beaucoup de colons ont à maintes reprises occupé des terres et les ont ensuite vendues à d'autres colons. Les colons ayant le plus de succès en achetant des terres deviennent propriétaires terriens et ils accumulent de grands territoires. En revanche, quelques-uns des colons ayant le moins de succès deviennent des travailleurs salariés employés par le propriétaire terrien. Comme les terres inoccupées dans la forêt s'épuisent, quelques colons se déplacent vers d'autres réserves vénézuéliennes, où ce processus est répété.

L'état vénézuélien a joué un rôle très limité dans la prévention de cette situation. Ceci peut être en partie compris en analysant les outils théoriques communément utilisés pour appuyer la prise de décision et par le manque d'une politique appropriée envers la réserve. Habituellement, l'organisation humaine est comprise de façon académique en utilisant des approches normatives théoriques traditionnelles tel que la classique (exemple, Taylor, 1916; Shafritz et al., 1997) ou les théories économiques administratives. Cependant, en pratique, les décisions ordinaires sont appuyées par de l'information empirique et l'expérience ; probablement à cause du manque de validité des conclusions venant de telles approches traditionnelles (pour plus d'information à propos de ce manque de validité voir, par exemple, Moss, 2001). Les approches alternatives ont essayé de mieux comprendre cette situation. En suivant cette approche, plusieurs projets modélisant la forêt Caparo ont été menés au Centre de Simulation et de Modélisation (CESIMO) et à la Faculté de Foresterie de l'Universidad de Los Andes. Premièrement, Sánchez (1989) a élaboré un travail à orientation sociologique caractérisant la dynamique de la réserve. Ce travail identifie les acteurs principaux, ainsi que leurs activités, décisions et quels facteurs ont conduits à ces décisions.

De 1996 à 1998, le CESIMO conjointement avec d'autres institutions européennes a mené le projet GAIA (CESIMO, GAIA, 1998). Un modèle de simulation sous la perspective d'une dynamique de système a été développé. Ce modèle ne représente pas un mécanisme de prise de décision des agents.

Ensuite, depuis 2000, au CESIMO, le projet de la Biocomplexité a été adopté. Il vise à intégrer des modèles de la dynamique humaine et naturelle dans le processus d'occupation à travers une diversité d'échelles et de cultures. Des modèles développés dans le projet Biocomplexité n'ont pas considéré, jusqu'à maintenant, d'importants éléments d'interactions sociales.

Le modèle présenté dans ce document montre une perspective plus orientée vers le social et la conception d'une politique, une alternative aux efforts décrits précédemment. Dans ce modèle, la dynamique est simulée autour du processus de prise de décision des colons, en utilisant un système multiagent. Des colons interagissent dans un paysage représenté par un automate cellulaire, lequel ressemble à la réserve forestière. Mis à part les colons, deux autres acteurs importants dans la réserve sont simulés : un représentant gouvernemental, lequel suggère aux colons de ne pas envahir les terres, et une sorte de syndicat des colons supporté par des partis politiques, lesquels encouragent les invasions. Un colon aura le choix entre suivre son propre raisonnement et son expérience, imiter un colon voisin, écouter les suggestions du syndicat ou suivre les recommandations de l'état. L'imitation est permise par l'utilisation d'adhésions (Moss, 1995; Cohen, 1985). Un agent apprend de son expérience en utilisant un mécanisme d'adhésion. Des agents représentant des colons adhèrent à leurs décisions, qui peuvent être d'une part « envahir » et d'autre part « ne pas envahir », conformément à la source d'une telle décision (eux-mêmes, d'autres agents, l'état ou le syndicat). Ils peuvent avoir certaines tendances dans leurs préférences : quelques-uns d'entre eux peuvent préférer imiter d'autres agents, d'autres écouter l'état, d'autres écouter le syndicat et d'autres encore suivent leur propre expérience. Conformément à cela, le poids de l'adhésion est fixé. Par exemple, si un agent est « influencé » à suivre d'autres

agents et il décide d'imiter un voisin, alors il choisit un agent dans son voisinage. Si le voisin qui a été choisi a envahi des terres l'année précédente, l'agent envahira des terres lui aussi, et l'action du type « envahir » sera adopté avec, disons, l'étiquette d'adhésion "ImiterVoisin" laquelle a un poids supérieur à d'autres étiquettes d'adhésion. Le voisinage, espace par lequel un agent est capable d'observer la décision d'autres agents, est réglé comme un paramètre dans la simulation. La proportion des agents de chaque type est variée d'expérience en expérience afin d'enquêter sur les effets de la préférences des agents dans la dynamique de la simulation.

La dynamique montrera comment l'occupation des terres se répand à partir de différents paramètres du modèle de simulation ; par exemple, pour la proportion des agents préférant imiter d'autres agents, ou eux-mêmes ; ou d'écouter l'état ou l'organisation syndicale. Conformément aux résultats, la politique de l'état vis-à-vis la réserve peut être révisée en visant, par exemple, à changer la prise de décision face aux préférences des colons afin de diminuer la propagation de l'occupation des terres comme première étape pour arrêter définitivement le phénomène.

D'un autre point de vue, dans notre modèle, le changement des terres est possible en variant des propriétés des cellules dans le paysage, en accord avec l'activité des colons. Inversement, l'état des terres est pris en compte dans la décision des agents qui opèrent le processus, au moment où ceux-ci choisissent un espace de terre à occuper. Les nouvelles propriétés, utiles pour comprendre le processus réel, tel que l'apparition de propriétaires terriens, peuvent être décelées dans le processus de simulation. Des résultats préliminaires exposent des propriétés intéressantes, par exemple, des courbes leptocurtiques (une propriété des systèmes qui montre un CAO) pour la relation : nombre de colons (occupant des terres de dimensions X) versus la dimension X des terres occupées. Ce processus montre certaines "observations aberrantes" ou exceptions, correspondant habituellement à des propriétaires terriens accumulant une grande étendue de territoire. Ces derniers sont favorisés dans le processus par des relations de pouvoir. Les terres accumulées par les propriétaires terriens vont au-delà de ce que la courbe leptocurtique, élaborée en utilisant les données des colons plus « normaux », peut prédire (un essai revu du livre de Bak à propos de CAO et des systèmes sociaux, peut être trouvé sur le Web, voir Terán, 2001). Bien qu'elles n'aient pas été prédites par cette courbe, les observations aberrantes peuvent être expliquées et comprises.

Keywords: Social Simulation, MABS applications, Modelling Forest Reserves

Mots-clés : Simulation Sociale, Applications de simulations multiagents, Modélisation de réserves forestières

1 Introduction

The aim of this paper is to present a model of the land occupation process and the consequent land use changes, at the Caparo Forest Reserve (CFR) in western Venezuela (Figure 1). The forests of the CFR are in the transition between dry tropical forest and humid tropical forest. Created in 1961, CFR original purpose was to support the development of the logging industry in the zone, while preserving one of the more productive forests of Venezuela (CESIMO, 1998). It is located southeast of the Barinas State, in the Venezuelan western plains region. Although its former extension was of 176,434 hectares, currently only 7000 ha. of forest remain. Although many factors have contributed to deforestation in the CFR, the main one has been its intervention and modification by opportunistic, mainly nomad, land-seeking colons. By this colonization process, the forest, supposed to

be preserved because of its exceptional ecological value, has become a territory of landowners.

1.1 The problem: land occupation process

Due to its low fertility, few years after been invaded, land can be used only for growing cattle (not for agriculture). Many colons repeatedly occupy land and then sell it to other colons. The more successful colons buying land become landowners, accumulating large areas of land, over time. In contrast; some of the less successful colons turn out to be salaried workers hired by landowners. As non-occupied land in the forest becomes exhausted, also some colons move to other Venezuelan reserves, where this process is repeated.

All this is very dangerous for the Venezuelan forest reserves. The severity of the problem has been augmented and allowed by the low presence of a weak and somewhat disappointingly competent Venezuela state in the area, and by populist political organisations promoting land occupation. The associated social and ecological problem has been poorly understood and managed by the Venezuelan state, allowing the destruction of the forest. State difficulties are sourced in the lack of an appropriate methodology and tools for understanding the situation, and in the inexistence of a clear and consistent policy towards the reserve.

1.2 Drawbacks of traditional approaches for policy making

Because of this, different researchers have been wondering about how to understand the processes in the Venezuelan forest reserves and how to assist the state in his policy making in relation to the reserve. Their aim has been to undertake studies and methodologies that hopefully bring in conclusions useful not only for better understanding a particular modelled situation but also to inform the state, the involved governmental decision makers, about policy making in this and in similar cases. As the situation repeats in different regions in Venezuela, the idea is to model one case, for instance, Caparo Forest, so that drawn conclusions can be extrapolated to similar situations.

The poor role of the Venezuelan state for preventing land occupation at the Caparo reserve might be understood in part analysing the theoretical tools commonly used for supporting decision making. Usually, human organisation is academically understood by using traditional theoretical normative approaches such as the classical (e.g., Taylor, 1916; Shafritz *et al.*, 1997) or the economical administrative theories. However, in practice, commonly decisions are supported by empirical information and experience, probably because of the lack of validity of conclusions coming from such traditional approaches. Lack of validity appears to be strongly linked to the oversimplifications these theories carry with them. Several authors have pointed out examples of such oversimplifications, for instance, Simon (1946, 1984), Moss and Edmonds (see for instance, Moss *et al.*, 2000, and Moss, 2001). Particularly, Moss and Edmonds have pointed out that oversimplifications in game

theory prevents emergence of properties of Self-Organised Systems (SOC) in models of systems that have shown SOC properties.

Lack of validity of traditional approaches for understanding social phenomena contributes to increase uncertainty and doubt in governmental policy makers, regarding a large range of issues from economic to social, including forest reserve management. Such uncertainty has been increased by undesirable consequences following decisions supported by the application of traditional theories. For instance, policies of international entities such as the Monetary International Fund, which have brought in catastrophic consequences in economies of developing countries, such as Argentina, are guided by theoretical normative approaches. It is common that, though sometimes these consequences are foreseen by common sense, they are not observed when using such traditional approaches. Hence that, in practice, Policy makers' decisions became divorced from such approaches, appearing a need for alternative tools and methodologies. Sometimes policy makers look for assistance from domain experts or from more socialised ideologies or methodologies.

1.3 Alternative methods for understanding and policy making

At the Centre for Simulation and Modelling (CESIMO), and at the Forest Faculty, of the Universidad de Los Andes, several projects modelling Caparo forest have been carried out. First, Sánchez (1989) elaborated a sociological oriented work characterising the dynamics of the reserve. This work identifies the main actors, as well as their activities, decisions, and what factors drive these decisions. It also explains the dynamics of the land, after land is transformed from its natural state by colons' activities. For instance, after a colon cultivates a piece of land during five years, land fertility decreases significantly, and its use is constrained to less exigent activities than agriculture, specially for growing cattle.

After this work, from 1996 to 1998, at CESIMO, along with other European Institutions, the GAIA (CESIMO, GAIA, 1998) (A Multi-Media Tool for Natural Resources Management and Environment Education) project was developed. Its aim was to develop tools to promote sustainability and conservation at the Caparo Forest. A simulation model under the perspective of system dynamics was developed. This model did not represent the decision making mechanism of the agents, rather decisions were based in exogenous variables to an actor, as it is usual in system dynamics models.

Afterwards, since 2000, the Biocomplexity project has been assumed. This project is carried on in conjunction with the University of North Texas. It aims at integrating models of the human and natural dynamics in the occupation process through a diversity of scales and cultures. It pretends not only to understand how colons influence the forest but also how the forest affects human activity, especially their decisions, closing the influence cycle. Work to today includes calibrating of a partial model ("gap model", FACET), a model of forest (Ramírez *et al.*, 2004) and a preliminary multi-agent representation (BIOCOPARO) (Quintero *et al.*, 2004).

Models developed in the Biocomplexity project have not considered, until now, important social interaction elements.

The model presented in this paper shows a more social and policy making oriented perspective, alternative to the previous described efforts. It follows the social simulation viewpoint initiated by Simon (1946, 1984), Newell (1990), March and Cyert (1992) and most recently, work of Scott Moss and Bruce Edmonds (Moss et al., 2000; Moss 1995), and Cohen (1985).

In our model, the dynamics is simulated around the colons' decision-making process, by using a Multi-Agent System. Colons interact in a landscape, represented as cellular automata, which resembles the forest reserve. Apart from colons, two other important actors in the reserve are simulated: a government representative, which suggests the colons not to invade the forest; and, a sort of colon's union supported by political parties, which promotes invasions. A colon can either imitate a neighbour colon, follow self-reasoning and experience, hear the union's suggestion, or follow the state's recommendation.

This paper is organised as follows: first, in section 2, the notions of social behaviour, social learning and decision making, as understood in this paper, and how they are modelled from the empirical system, are presented; then, section 3 offers an overall description of the simulation model, including a meta-algorithm; following, section 4, summarises a related work: the Biocomplexity Project; next, in section 5, the experiments and results are examined; and, finally, section 6 depicts some conclusions.

2 Social behaviour, social learning and decision making

The subject of this section is to discuss how the modelling of social behaviour, social learning and decision-making at the reserve is assumed in this paper, following the social simulation perspective. Two main concepts are going to be considered: imitation and negotiation.

2.1 Imitation

Imitation is one of the processes driving the occupation process at the Caparo Reserve. This is clear at the object system: people comes to the reserve from foreign regions, as they perceive other people in the reserve is successful in getting land, and consequently a certain improvement of their livings. Clearly, imitation is driving this behaviour. Imitation is represented in the MABS model following the social simulation perspective, especially Moss *et al.* (1998, 2000, 2001)'s ideas.

To gain clarity about the conception of imitation and its modelling, this section presents a view of imitation and social learning following Conte's work (2001), and relates such ideas to how the social and cognitive processes are modelled in this

paper. The cognitive mechanism is implemented by using endorsements, production rules and the idea of problem space.

In accordance with Conte, imitation is one of the main processes involved in social learning. She argues that the other main process is facilitation. In turn, social learning and contagion are considered as the two main forms for social propagation. These differ in what contagion is not considered cognitive. One example is the spread of paranoid thoughts in a certain population after a disaster – thoughts are a consequence of individuals interpreting an event and considering themselves powerless to protect from such event, without a need for imitation. It is clear that behaviours related with the occupation process at the reserve are strongly based on imitation: individuals move to the reserve from foreign areas, and individuals already settled in the reserve generally decide to take more and more land (or to sell part of it), as they perceive that other individuals succeed in getting a better life (in accordance to their beliefs) doing this. Thus, individuals' behaviour at the reserve has a strong component of imitation.

As said above, according to Conte, social learning is (mainly) constituted for two processes: facilitation and imitation; which she defines as:

- *social learning*: phenomenon by means of which an agent updates its own knowledge (adding or removing information, or modifying an existing representation) by perceiving the positive or negative effects of any given event undergone or actively produced by another agent on a state of the world which the agent has as a goal.
- *facilitation*: mechanism by means of which a given agent updates its knowledge, including social and pragmatic knowledge, by observing others, their features and behaviours, and possibly by inferring their mental states.
- *imitation*: behaviour ruled by the goal that a given agent, say O, be-like or act-like another agent M, as long as M is perceived as a suitable model under a certain circumstance.

As can be seen, facilitation is mainly related with been exposed to a certain behaviour and having certain beliefs that consider such behaviour of interest (bringing in some new knowledge), but there is not intention or goal to be or behave like the other, as it is the case in imitation. Imitation implies that if the observed and imitated behaviour or goal is not suitable anymore (for instance, the circumstance has changed), then the observed behaviour is not imitated any more.

Colons moving to the reserve, say colons O, not only modify their knowledge by perceiving colons already at the reserve, say colons M, but colons O take the goals of colons M (e.g., to invade land) and have changed behaviour to be like colons M. Thus, in accordance to above Conte's definitions, colons have social learning while imitating.

Conte mentions two other aspects of imitation: imitating agents usually trust the source, and the frequency of the perceived phenomena (in this case land occupation) increase imitation likelihood. At the Caparo Forest Reserve, the

frequency of land occupation is high. On the other hand, high frequency of the phenomena increases trust on the source.

Also, Conte points out some aspects usually imitated: behaviours, sometimes along a new meaning and context for it; mental states; skills; standards and criteria.

She describes the following mental representations and processes as necessary for imitation:

- a) Social beliefs. This includes: information about the source agent, his mental states, status; information about the source's credibility, reliability, etc.
- b) Social reasoning. This means capacity to infer the source's goals, beliefs, from the source's behaviour or appearance.
- c) Relativised social goals. Social goals relativised to beliefs. The involved goals are: the goal to be-like and the goal to behave-like the source.

Next, the imitation process as modelled here will be described in terms of Conte's ideas. Some aspects are modelled implicitly (e.g., goals) while others are more explicitly represented (e.g., behaviour, learning in terms of endorsements and problems space).

Mental representation:

- a) Social beliefs. To illustrate how this is modelled here, consider the most important decision a colon takes: i) to invade or ii) not to invade. The colon's decision is related not only with the source's behaviour (options: to invade or not to invade) but also, though indirectly, with his mental state. It is related with the source's mental state, since what is copied by the imitating agent is also copied by the source agent – *i.e.*, sometimes the source also endorses its own decision. Thus both, the imitator and the source, eventually would endorse the same action ("Invade" or "notToInvade"), though evaluating or weighting it differently: in the first case the label would be "imitateNeighbour", while in the second case the label would be "imitateHimself", acknowledging the subjectivity and relativity of each agent. Consequently, when endorsing, an imitator registers not only the decision of the source but also aspects of his behaviour and mental state.

Usually but not always, a colon considers the status of the source as similar to his. However, it is not the case, for instance, when buying land. In this case, a colon takes into account the size of accumulated land other colons have. An agent prefers to sell to the buyer having the high amount of accumulated land, assuming that doing so will produce better returns.

A colon assumes high credibility and reliability of the source – *i.e.*, there is not difference respect to these qualities among different agents. Nevertheless, confidence and trust in relation with an action, for instance, to invade, increases as the colon endorses it in subsequent decisions, either imitating himself (reasoning) or imitating other agents. Thus, also here, the endorsements mechanism helps in representing aspects related with imitation – preference is given to actions endorsed repeatedly.

Given that the options of the colon are usually limited to either selling or buying land, on one hand, and, occupying land, on the other hand; while they do not bother about other issues at the reserve; it is not necessary to model beliefs in much detail. Rather, in social simulation, *emphasis is given to emergent properties of the simulated system, by means of representing the social interaction and decision-making processes appropriately, without making the model too complex and computationally unmanageable.*

- b) Social reasoning. When a colon perceives a source doing a certain action, for instance, occupying land, he implicitly assumes that the source indeed believes it is a good action for living, *i.e.*, that the source thinks he is going to have benefits from that action and acts consistently with his beliefs and goals. The colon does not suppose that the source acts in some way apparently different from its real intention. A similar behaviour has been observed at the Caparo forest reserve. That sort of behaviour is not always the case in social systems, for instance, it would be different when an agent assumes about the beliefs of a source playing cards against him.

Thus, it is assumed that a colon' behaviour is directly related with its goal and beliefs. As said above, if the colon decides to invade, it is because this agent aims to accumulate land, as he believes this is a good action in order to survive, or that it is a better way to get some living than other known manners. The endorsements mechanism captures the source's beliefs as a colon endorses another agent's actions directly from what he perceives, from his appearance, without changing or modifying them in any way.

- c) Relativised social goals. A colon leaves his region and enters into the reserve because he believes the reserve offers an opportunity to improve his living, by occupying land. Obviously, there are some drawbacks of this activity apart from competence among colons (otherwise, colons would be occupying land permanently). A colon believes he will get some benefits after occupying land, as he can either to cultivate it or to grow cattle. These beliefs come from perceiving that colons usually going to the reserve accumulate land and get a better living.

Thus, a colon believes that he will get a good living at the reserve after occupying land, belief that comes from knowing what colons have done at the reserve, making him to set up two relativised goals: to get a better living becoming a colon at the reserve (to be-like others) and to invade land at the reserve (to-behave like others). Both, the beliefs and the relativised goals, are strengthened by the frequency of the phenomena, *i.e.*, if many colons go to the reserve and are successful, then the observing agents will strongly believe and trust it as a good course of action. As Conte says: by imitating, agents solve problems (e.g., how to get a best living) minimising costs and risks accepting others' inputs.

2.2 Negotiation

To complement the understanding of the above processes, *i.e.*, social behaviour, social learning, and decision making, especially this last, the assumed notion and mechanisms of negotiation is going to be explained.

Traditionally in Economics and Administration negotiation is understood theoretically as Game Theory suggests. This theory has many oversimplifications, as it is pointed out by Moss (2001). Among such oversimplifications Moss mentions: agents are usually considered homogeneous (e.g., having similar beliefs), interaction includes only few individuals (2 or 3), agents' motivation is usually modelled by continuous and convex utility functions. Moss argues that important properties of social systems (for instance, leptokurtosis, a property of critically self organised systems) cannot emerge from few interacting agents, which are not meta-stable (rather they are guided by convex and continuous utility functions), and are guided by global tendencies rather than by inter-individuals interaction. Meta-stability, a high level of social embeddedness, and the need of having many interacting agents, are ignored in Game Theory.

Alternative ways to Game Theory are investigated and implemented in social simulation. In this paper, the negotiation process is mainly based on empirically observed interaction at the reserve (Sánchez, 1989), production rules, agents' decision-making implemented by means of problem space and the endorsement mechanism; all realised in a multi-agent system.

Important differences of the present Multi Agent Based simulation model with respect to Game Theoretic approaches are: agents' motivation is based on decision making as they perceive and imitate other agents' actions rather than on convex functions; agents base their decisions on perception of neighbours rather than on general tendencies (they are socially embedded); and the simulation dynamics is based on the interaction of many individuals (other colons).

Edmonds and Hales' (2004) suggest a wider notion of negotiation than those found in the literature. They suggest understanding it as something more than pure haggling about numerical attributes. More over, they define it as "a problem solving enterprise in which negotiators use mental models to guide them towards a solution". Mental models are considered as the mean to represent causal representations from their environment in order to, for instance, understand the environment and solve problems.

These authors conceive negotiation as the search for a solution mutually accepted by the involved agents, based on communication, involving each agent's satisfaction resulting from each agent's beliefs. They consider that such communication not only entails actions interchange but also beliefs and goals interchange among the involved agents.

In this paper, negotiation is widely understood, assuming a viewpoint close to Edmonds and Hales'. Nevertheless, the aspects of negotiation modelled in this paper do not require a detailed representation. Negotiation occurs as agents sell and buy land.

The negotiation mechanism is modelled observing in part what happens at the empirical system and using the endorsements mechanism. For illustrating this,

consider bidding for land. A colon would attempt to buy land (make a bid) if: a) he believes it is a good action to occupy land, b) the size of land he occupies is larger than that of the neighbour selected for bidding. The first part is modelled by using endorsements, and the second has been observed directly at the empirical system. Similarly, an agent sells land if he perceives the buyer has more land than him, and prefers to sell to that buyer having a larger amount of occupied land, as it feels this would generate better returns. This negotiation is restricted to interchange of actions.

Game theory and other oversimplifying approaches are absent in this mechanism. For instance, agents have different beliefs, which are given in part by their endorsement mechanism. Endorsements keep track of part of an agents' experience, making agents' model of his environment different from each other. This differs from the homogeneous agency assumed in Game theory.

3 The MABS model

3.1 Overall description of the model

As said above, the dynamics is simulated around the colons' decision-making process, by using a Multi-Agent System. Colons interact in a landscape, represented as cellular automata, which resembles the forest reserve. Apart from colons, two other important actors in the reserve are simulated: a government representative (*Controller*), which suggests the colons not to invade the forest; and, a sort of colon's union (*Motivator*) supported by political parties, which promotes invasions. A colon can either imitate a neighbour colon, follow self-reasoning and experience, hear the union's suggestion, or follow the state's recommendation.

As said above, emphasis is given to representation of imitation. Social interaction includes agents' copying other agents' behaviour. Such imitation is allowed by the use of endorsements (Moss, 1995; Cohen, 1985). An agent learns from its experience by using an endorsement mechanism. Agents endorse their own decisions, which might be either "to invade" or "not to invade", in accordance to the source of such decision. This source might be either itself, if the agent has decided to "imitate himself" using his past experience; other agent, if the agent has imitated another agent; the state, in case the agent have chosen to hear the state's suggestion; or the union, if the agent has decided to hear the union organisation. Agents might have some tendencies in their preferences: some of them might like better to imitate other agents, other to hear the state, other to listen to the union, and other to follow their own experience. In the simulation, a proportion of agents follow their own decisions and another proportion of agents prefer to listen to (or look at) other agents, the state or the union. In accordance to this, weight of the endorsements is fixed. For instance, if an agent is "biased" to follow other agents, and, in a certain year, it decides to imitate a neighbour, then it chooses one agent in his neighbourhood, and if this chosen neighbour has invaded land last year, the agent will invade land too, and the action of type "Invade" will be endorsed with, let us say, the endorsement label "ImitateNeighbour" which has a stronger weight than other endorsement labels. The neighbourhood, space over which an agent is able

to observe other agents' decisions, is set as a parameter in the simulation. The proportion of agents of each type is varied from experiment to experiment in order to investigate the effect of agents' preferences in the simulation dynamics (being of particular interest the spreading of land occupation).

Conclusions will be useful for policy making. The dynamics will show how land occupation spreads for different set-ups of the simulation model; for instance, for variations in the proportion of agents preferring to imitate other agents, or themselves; or to listen to the state, or to the union organisation. Accordingly to the results, state policy towards the reserve can be revised and modified aiming at, for instance, changing colons' decision making preferences, in order to decrease spreading of land occupation, as a first step towards stopping this definitely. Policy to modify characteristics of the process related with imitation might be modified in favour of decreasing the occupation process.

On the other hand, in our model, land change is allowed by varying properties of cells in the landscape, in accordance to colons activity. Conversely, the state of land is taken into account in the agents' decision making mechanism, when these choose a piece of land to be occupied. Emerging properties helpful for understanding the real process can be found in the simulation, such as arising of landowners. Preliminary results show interesting properties, for instance, "fat-tailed" (leptokurtic) distributions (a property of systems that exhibit SOC) for the relation: *number of colons* (occupying land of size X) vs. *size X of occupied land*. This process shows some "outliers" or exceptions. These exceptions are landowners who accumulate large amounts of land, which go beyond what the fat tailed distribution, elaborated by using the data of the more "normal" colons, could predict (a review essay of Bak's book about SOC, and social systems, can be found in the web, see Terán, 2001). Thought not predicted by this distribution, outliers' behaviour could be explained and understood. These results will be confirmed in the coming experiments.

3.2 Structure of the multi-agent system

The model consists of a Multi-Agent system built in SDML (a Strictly Declarative Simulation Language, Moss *et al.*, 1998). The most external agent is *universe*, an instance of the type *universalAgent*, which is a built-in type of agent. The structure is shown in Figure 1.

The instance *universe* creates (and contains) the agent *Model*, which in turn contains the agents *Motivator*, *Controller*, the *grid* and the *colons*. *Colons* are supposed to be in the *grid*, but this does not happen physically in the simulation. Rather *colons* and the *grid* interact and are modelled in such a way that, in practice, colons are place on the grid. For instance, the grid keeps a record of the relation: (cell- i , agent occupying cell- i), and all colons have access to this information.

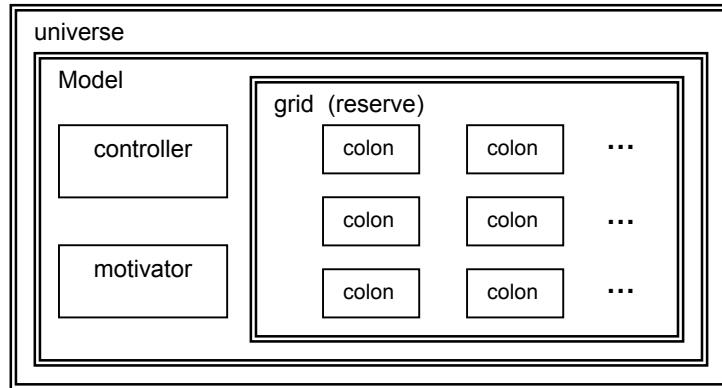


Figure 1: Scheme of the Model (Agents and Landscape: grid)

3.3 Meta-algorithm

Given the above description of the agents, in the following, the simulation mechanism is examined by using a pseudo-algorithm:

1. Set up the simulation parameters (e.g., variables and instances of agents)
 - 1.1 *Model* initialises the overall simulation model (main parameters and variables, e.g., initial number of colons; agent *grid*; agents *colons*; agent *motivator*; and agent *controller*; etc.)
 - 1.2 *Colon* sets up his endorsement scheme
 - 1.3 *Controller* defines its policy (suggest not to invade)
 - 1.4 *Motivator* defines its policy (suggest to invade)
 - 1.5 *Grid* defines parameters for graphical output (e.g., size of each cell at the graphical output)
2. For year i ($i = 1, 2, \dots, n$)
 - 2.1 *Model*
 - 2.1.1 Changes state of land (for instance, after 5 year of been used a piece of land in the state "Agriculture" changes to the state "Farming")

2.1.2 If several colons pretend to occupy the same point, *Model* decides which agent finally occupies this point (usually randomly)

2.1.3 New colons are introduced in the reserve.

2.2 *Colon*

2.2.1 Creates a list of neighbour colons, and b) a list of neighbour empty points which will be used in the following decisions.

2.2.2. Decides if invading or not invading. In the second case puts in *Model* a clause indicating this intention. Endorses its decision

2.2.3 Decides about buying land. In case it decides to buy land, it places a bidding clause in a neighbour indicating this intention

2.2.4 If it has got land biddings, then it chooses a buyer and places a clause at the selected buyer's database.

2.2.5 If the colon does not occupies land, it decides if either still staying at the reserve or leaving it.

2.3 *Controller*

2.3.1 Expulses some colons from the reserve

2.4 *Motivator*

2.4.1 No action is performed

2.5. *Grid*

2.5.1 Actualises occupied points (i.e., relation: (cell point, occupying agent))

2.5.2 Pictures the grid at the monitor (sends a graphical output).

4 An alternative and/or complementary approach: the BIOCOPARO model

Rather than emphasising the social relationships between agents, in the BIOCOPARO model (Moreno et al. 2005) the emphasis is placed in the relationships between agents and their environment. For this reason, the model is spatially explicit with forest secondary succession as the main ecological process simulated as cellular automata model (Hogeweg, 1988).

BIOCOPARO includes three types of agents: settlers or colons government, and lumber concessionaires. As before, colons represent people of limited economic resources that deforest and occupy reserve land to grow crops and eventually claim property rights of this land.

Regarding the government agent, three different behaviours or scenarios were implemented. These behaviours represent possible roles of the government at the CFR, which in fact have been in place during the past years:

- The "hands-off" government: The government neither interacts nor interferes with the activities of the other agents. It does not have any monitoring activity.

- The “pro-forestry” government: The government has a “strong” policy to keep settlers away from protected forest areas: any settler found at the CFR area is evacuated. Furthermore, if the concessionaire agent, on its extraction process, finds a settler in the zone, the government agent receives the settlement’s information from the concessionaire and the indicated settlers will be removed from the CFR area in the next government’s monitoring process
- The “agroforestry” government: Similar to the pro-forestry type but if a settler is found during the monitoring process, he will be relocated to a special area for agricultural activities.

The “pro-forestry” and the “agroforestry” governments evaluate the concessionaire’s exploitation and plantation quotas. The concessionaire permit is revoked for three years in case of failure to comply with the agreed quotas.

The concessionaire extract lumber using management plans approved and monitored by the government. Its implementation assumes a simplified and hypothetical forest management within the reserve: it extracts trees and plants commercially valuable species; furthermore, the concessionaire is in charge of forest plantations monitoring during the first two years after plantation.

The agent model links to a cellular automata simulation of the natural system. The natural succession dynamics is simulated so that a given cell remains in the same state until the required transition time. In absence of agents’ actions, the system path will be that indicated by natural succession. The interaction between the agents and the environment changes this path. For example, a colon agent can settle a farm on a cell that is unoccupied and without monitoring. Certain land-uses are preferred for the initial settlements, and once the colon is established, it will change the land use to adapt it to its agricultural activities. Also, a colon agent can expand its occupation at neighbouring cells that are unoccupied or without surveillance.

Results agree qualitatively well with history of land-use change in the area. Comparing the simulations for the different government types, the spatial pattern is more homogeneous and less fragmented in the pro-forestry government and more heterogeneous and fragmented in the hands-off and agroforestry types. Old-growth forest is replaced by logged and secondary forest but the rate at which this transformation occurs varies by government type. Although many important processes have not been implemented yet, none of the scenarios result in a sustainable use of the forest. This highlights a challenge to design realistic scenarios that do lead to sustainability. In this regard, understanding the cognitive aspects of the problem as in this paper, may prove to be crucial to suggest policies to implement the changes in agent’s behaviours, and in forest management plans needed to promote sustainability of the forest reserve.

As can be seen this model includes additional actors than in this paper, such as the concessionaires, and pretends to simulate in more detail some aspects of the physical and ecological environment. However, agents are not modelled in much detail. For instance, cognition is not based on any theoretical formalism, rather

some normative rules following certain sort of logic based mechanism without a clear correspondence with the real cognitive process is applied. In addition, the model does not analyse important tendencies resembling those observed at the reserve. For instance, emergence of landowners is not considered, rather these are introduced in the simulation (there is a predefined type of agent call landowner). In this sense, social processes and social properties of individuals have not been given to much importance. For example, social embeddedness is quite low, since a colon's reasoning is based on overall tendencies observed in the simulation, rather than on aspects of interaction with his neighbours.

5 Simulation results

5.1 SDML

The simulation is run in SDML (A Strictly Declarative Modelling Language, see Moss, 1998). SDML presents facilities for social simulation, including: a module for representing agents' cognition based on the endorsements scheme, facilitating social interaction as it allows an agent observing and evaluating agents' actions including its own; an agent is allowed to copy clauses from or to place clauses at other agents' rulebase, allowing information transmission and social learning, for instance, learning by imitation.

SDML underlying logic corresponds to the Strongly Grounded Autoepistemic Logic (SGAL) (Moss et al. 1997) described by Kurt Konolige. A rule in SDML has antecedents and consequents. In case the antecedents are true according to the database, then the consequents are also true. Rules can be either forward or backward chaining. Consequents of forward chaining rules are asserted to a database – there is a database corresponding to each such rulebase. Backward-chaining rules are effectively procedures called by the antecedents of forward-chaining rules.

5.2 Experiments

The experiments consisted basically in analysing different configurations for the two factors:

- a) *Percentage of colons taken out by controller each day.* Three cases are examined, each corresponding to a percentage setting: 0.01, 0.02, or 0.03. Each configuration is run several times in order to increase reliability in the results. These results are described in section 5.3.2.
- b) *Percentage of individuals biased to follow either other colons, the controller or the motivator.* Three cases are considered, % biased to listen to [neighbour, motivator, controller], are set to :
case 1: [0.5, 0.2, 0.3]
case 2: [0.3, 0.5, 0.2]
case 3: [0.3, 0.2, 0.5]

For all these cases, the relation *number of colons* (NC) vs. *accumulated land* (AL) is studied. More concretely, the distribution of the number of colons with accumulated land in the intervals $(10i, 10(i+1)]$, for $i = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$ is analysed. That is, we are not interested in examining directly individuals' distributions but rather the accumulated distributions by intervals. The simulation time is set to 70 years. These results are exposed in section 5.3.3.

In addition how this distribution evolves over time is analysed. Percentage of colons taken out the reserve by controller is set to 0.01. In particular, time instants 25, 50 and 70 are considered. Results are shown in section 5.3.1

In order to make easier the analysis of the relation $AL \sim NC^{-\tau}$, or $AL = (\text{constantValue}) * NC^{-\tau}$, the linear relation after taken logarithms at both sides (i.e., the relation $\ln(AL) \sim -\tau * (\ln(NC))$) will be analysed in section 5.3. In the analysis we are not interested about the constant value at the right side in the linear relation: $\ln(AL) = -\tau * (\ln(NC)) + \ln(\text{constantValue})$. I.e., $\ln(\text{constantValue})$ is not of interest in this study.

5.3 Results

As said above the logarithm of the number of colons (NC) versus the logarithm of the size of accumulated land (AL) is going to be analysed.

5.3.1 Evolution of $\ln(AL)$ vs $(-\tau * \ln(NC))$ over time

Figure 2 shows this relation for time instants 25, 50 and 70, all for the base case: 50% colons tend to imitate other colons, 20% tends to imitate controller and 30% tends to imitate motivator. The graphs show that the slope is higher, in absolute value, as the simulation time advances. τ changes from 0.54 at year 25, to 0.56 at year 50, and to 0.58 at year 70. This happens because, at the beginning of the simulation, a high percentage of colons own a small amount of land – there are many colons whose accumulated land is the minimal in the simulation: one piece of land. Over time colons accumulate more and more land, and certain colons' accumulated land overpasses previous records – at the vertical edge, in the relation $AL = (\text{constantValue}) * NC^{-\tau}$, new highest values are reached.

This is helped by the fact that, first, colons with a big amount of land usually buy land from colons with low amounts of land, and, second, colons with low amounts of land are preferred by the controller to be taken out the reserve. As the simulation goes on, the first aspect is more important because of lack of land to occupy, increasing colons' need to buy land from neighbours (this is simulated in a separated rule: when colons do not have land to be occupied around them, they do have to buy if they want to increase the size of accumulated land). Respect to the second aspect, remember that in this experiment only a 1% of colons in the reserve are taken out each year by the controller.

5.3.2 Factor: percentage of colons taken out from the reserve

Figure 3 shows the experiment varying the percentage of colons taken out by the controller for the case base (*i.e.*, leaving the same imitation tendency than in the above experiment). Three cases are analysed: such percentage is set to 1%, 2% and 3%.

When this percentage increases the number of colons taken out affects specially the number of colons with low amount of land – observe that the logarithm of the number of colons with big amount of land is not too different among the different graphs. Thus, the slope of the curve increases, as the number of colons with medium and especially low amount of land decreases. The curve reaches the y-edge at similar points while it reaches the x-edge at smaller values as such percentage decreases. The value of τ changes from 0.58 in the base case (percentage of individuals taken out is equal to 0.01), to 66 when this percentage is set to 0.02, and to 1.15 when such percentage is set to 0.03.

5.3.3 Factor: imitation bias

The third experiment consists in varying the imitation bias (see Figure 4). As said above, percentage of colons tending to either imitate neighbours, listen to controller or listen to motivator are varied from the base case analysed in the previous sections ([0.5, 0.2, 0.3]: biased to imitate neighbours), to:

Biased to listen imitator: [0.3, 0.2, 0.5]

Biased to Listen imitator: [0.3, 0.5, 0.2], respectively. In all this cases, the percentage of colons taken out by the controller is set to 0.03.

This experiment did not show any important difference among the different configurations. For both cases, τ takes values between 0.6 and 0.80. In further work, this analysis will be continued and small differences are expected to appear in a more meticulous study.

The landscape for the case: colons biased to listen the motivator is shown in Figure 5. There: blue colour indicates the cell has been occupied by a colon just when it came (arrived) into the reserve, red colour represents additional cells occupied by a colon, yellow colour indicates free cells after a colon has been taken out by the controller, and grey colour is used to represent cells already not taken by any colon.

This picture shows the space problems in the simulation: when colons find each other and free land is scarce, the need for negotiation appears.

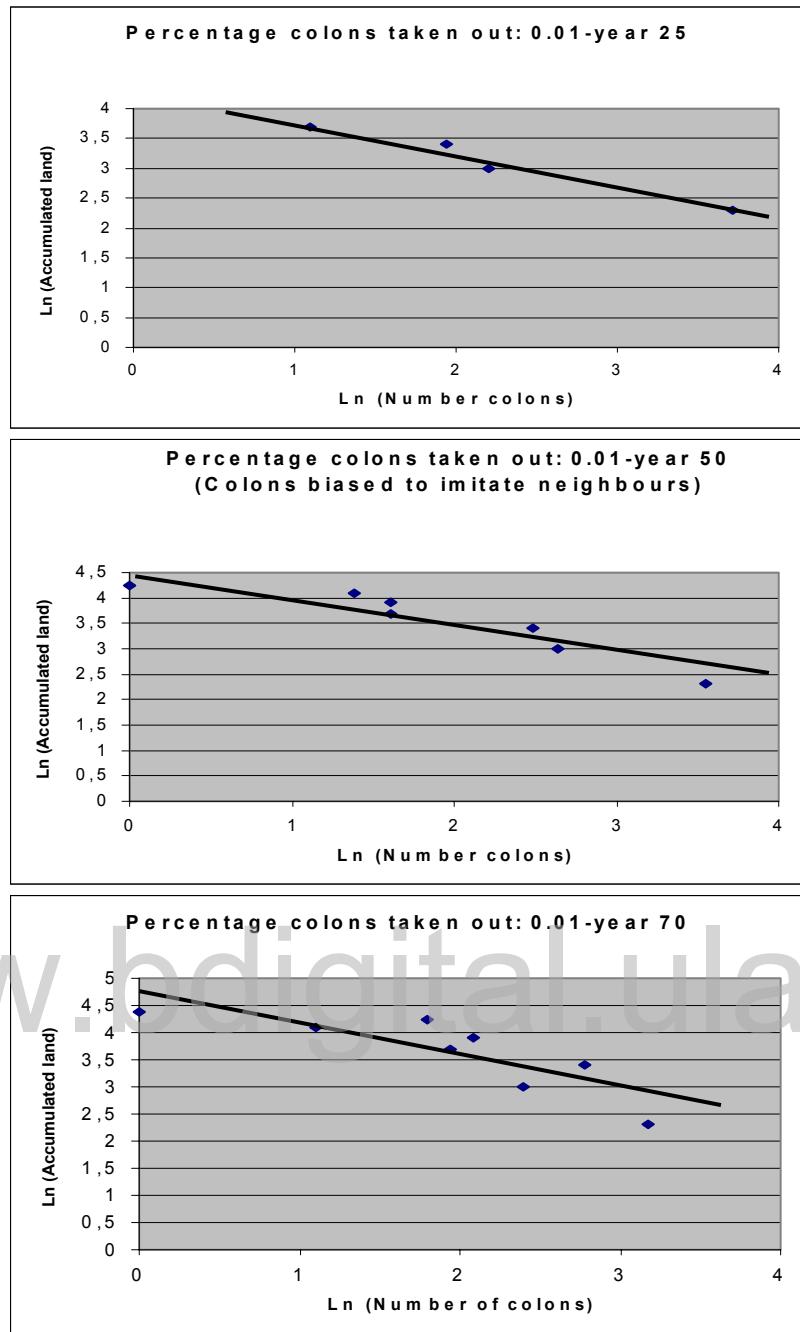


Figure 2 $\ln(\text{NC})$ vs. $\ln(\text{AL})$ over time (agents biased to imitate a neighbour)

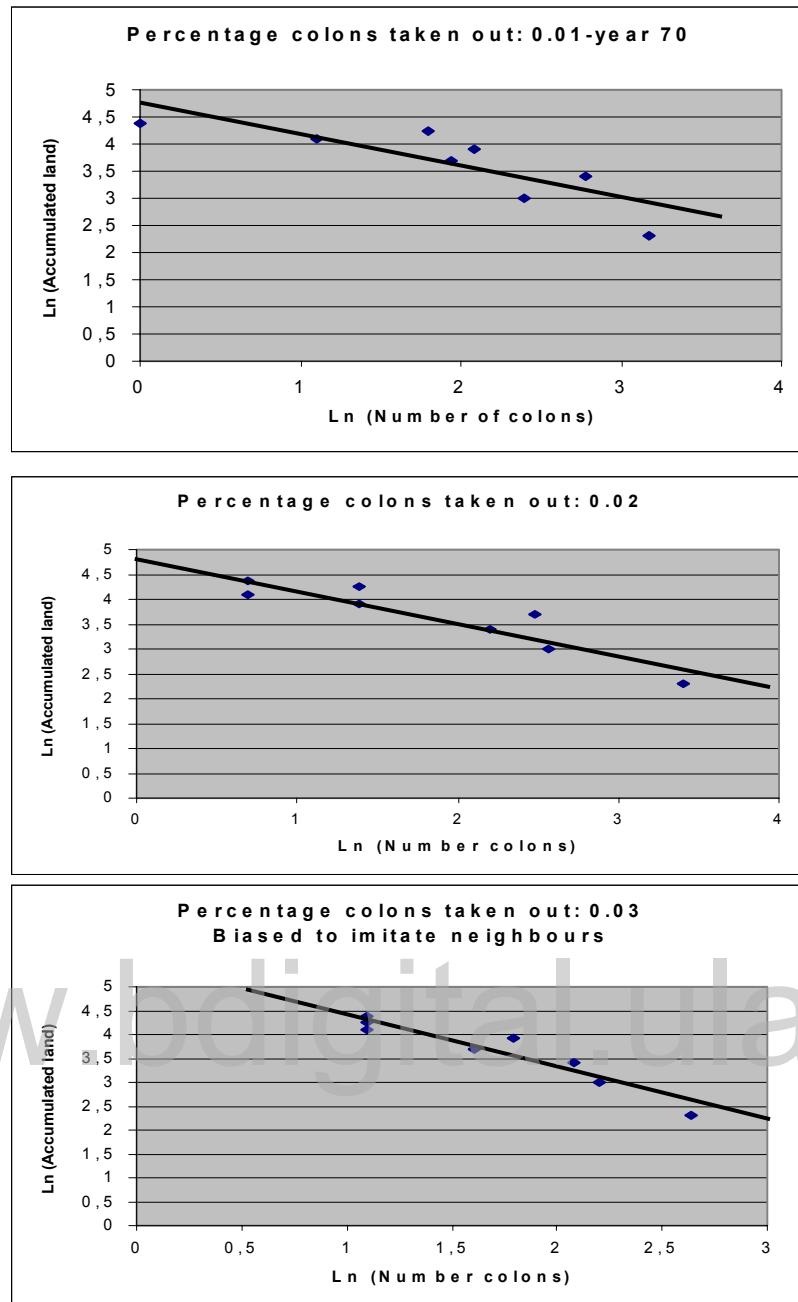


Figure 3 Ln (NC) vs. Ln(AL) over time (Biased to imitate neighbour), varying percentage of colons taken out from the reserve

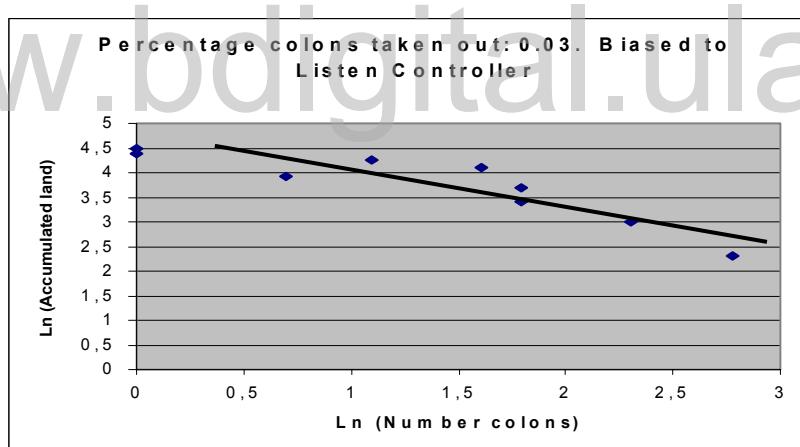
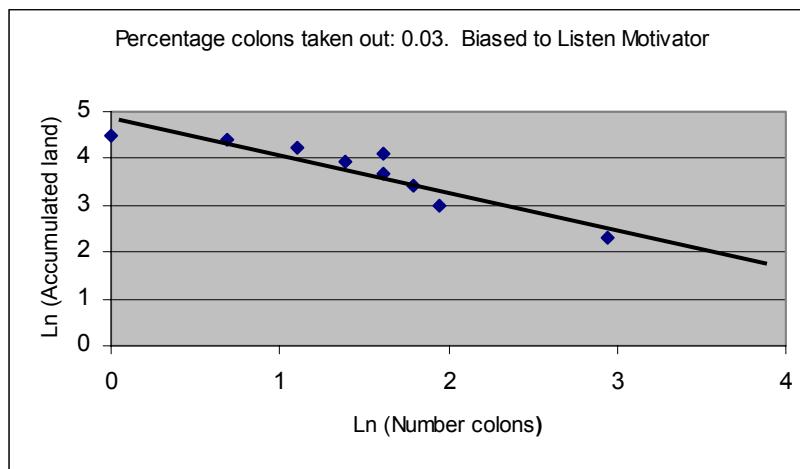
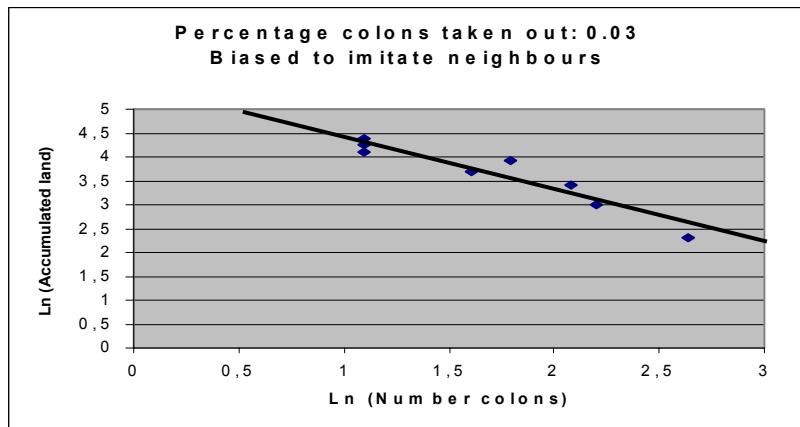


Figure 4 Ln (NC) vs. Ln(AL) over time. Percentage taken out: 0.03. Imitation biased either to imitate neighbour, to listen, controller or to listen motivator

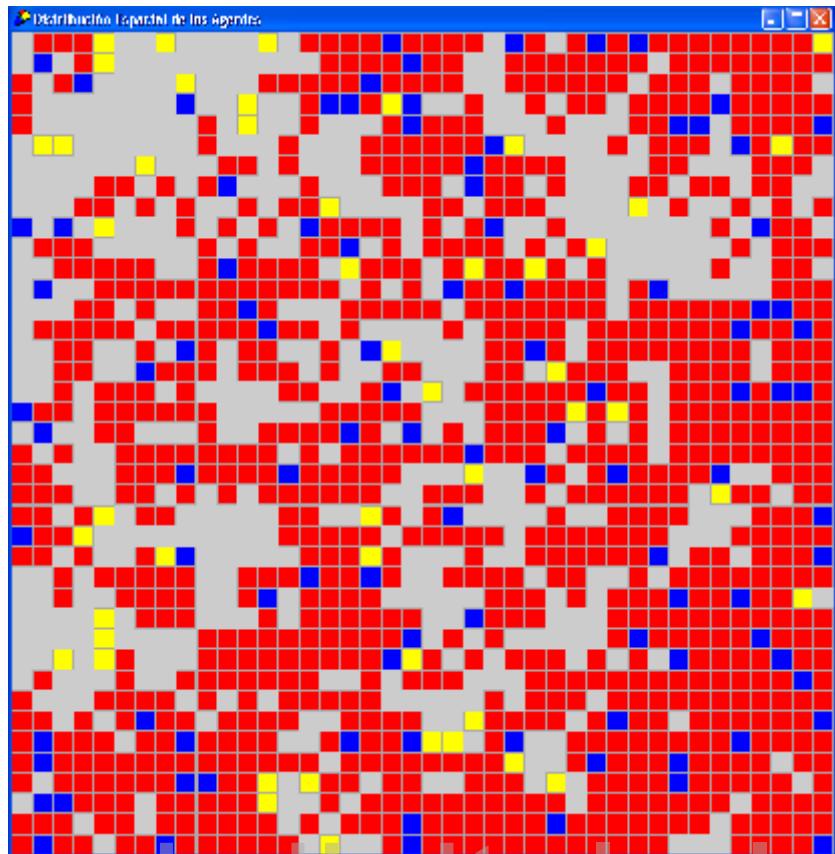


Figure 5. Landscape. Colons biased to listen to motivator, year 70, percentage taken out from controller: 3%

5.3.4 Power law distribution, self-organised criticality, and emergent properties

Experiments reviewed in the previous section show that the relation NC vs. AL is close to the power law distribution, with exponent τ , a property of self-organised systems. This is similar to what Moss (2000) finds in large scale markets. Moss argues that this property seems to be particularly present in free markets.

Small deviations from a power law distribution seem to be due to certain biases which prevent free competence between colons: colons with low amount of land have more propensity to be taken out the reserve or to sell land to neighbour with high amount of land. This predisposes the dynamics in favour of those previously

more favoured colons, somewhat similar to what happens in non-perfect markets such as monopolistic markets. This explains in part, deviations of models of social systems from properties of Self-Organised Systems.

Emergent properties are also observed for the simulated complex system. For instance, the power law distribution described above for the relation NC vs. AL, and emergence of landowners with certain particular characteristics such as: percentage of colons in this state at certain point in time. These emergent properties have not been validated against the empirical system because of the lack of empirical data.

6 Acknowledgments

This research has been supported by the CDCHT of the University of Los Andes, by given partial financial support for the undergraduate thesis of Manuel Jaimes and Johanna Alvarez, and for presentation of this paper at this conference. Also, we would like to thanks Magdiel Ablan providing partial grants for Manuel Jaimes and Johanna Alvarez undergraduate thesis, from funds coming from the US National Science Foundation under Grant CNH BCS-0216722. Any opinions, findings, and conclusions or recommendations expressed in this material are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the National Science Foundation.

7 Conclusions and further work

This paper shows how social behaviour, and especially social learning can be represented by using cognitive models to represent imitation and negotiation; what represents a different approach from those traditionally found in the literature. Other types of social influence will be examined in further work. Also, we hope to bring in a new project along some researchers working in the Biocaparo Project, where advantages and experiences of both research tendencies became conjugated. Thus, it would joint the social perspective orientation of this paper with a broader consideration of physical and ecological factors. In particular, it would include other actors (e.g., concessionaires), and a more explicit and concrete representation of the landscape.

Experiments reviewed in the paper show that the relation NC vs. AL is close to the power law distribution, a property of self-organised systems. This is similar to what Moss (2000) finds in large scale markets. Moss argues that this property seems to be particularly present in free markets. In the case of the forest reserve analysed in this paper, small deviations from a power law distribution seem to be due to certain biases, which prevents free competence between colons. Colons with low amount of land would more probably be taken out the reserve, or would decide to sell land to a neighbour with higher amount of land than him. This predisposes the dynamics in favour of those previously more favoured colons, somewhat similar to what happens in non-perfect markets such as monopolistic markets. This explains in part, small deviations of models of social systems from properties of Self-Organised Systems.

Emergent properties are also observed for the simulated complex system. For instance, the power law distribution described above for the relation NC vs. AL. In addition, emergence of landowners: those colons whose amount of land accumulated is much bigger than that of the majority of colons. This emergence of colons has some characteristics, for instance, percentage of colons in this state at certain point in time. These emergent properties would be validated against the empirical system as soon as we have available data.

A more detailed scenario analysis than that shown in this paper would help in defining policies towards the reserve. For instance: a) the effect of taken out colons from the reserve and punishing them on the imitation process, and the effect of neutralising the motivator agent; or b) the effect of punishing landowners with more than a certain amount of land (a threshold), or punishing the negotiation of land; both represent scenarios useful to be analysed in further work. As we can see, the alternative modelling and studying approach presented in this paper represents a novel and valid method for understanding social phenomena and, in particular, for policy making.

8 References

CESIMO, Gaia, 1998, Caso Venezuela: Deforestación y Políticas de la Propiedad de la Tierra en la Reserva Forestal de Caparo (A Multi-Media Tool for Natural Resources Management and Environment Education). Centro de Simulación y Modelos de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
<http://cesimo.ing.ula.ve/GAIA/CASES/VEN>

Cohen P., 1985, *Heuristic Reasoning: An Artificial Intelligence Approach*, Pitman Advanced Publishing Program, Boston.

Cyert R., and March J. (1992 [1963]), *A behavioral Theory of the Firm*, 2nd edition. Blackwell Publishers, Cambridge, MA.

Edmonds B. and Hales D., 2004, When and Why Does Haggling Occur? -Some suggestions from a qualitative but computational simulation of negotiation, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 7, no. 2, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/2/9.html>.

Hogeweg P. 1988. Cellular automata as a paradigm for ecological modeling. *Applied Math and Computation* 27: 81-100

Jaimez M., 2004, *Una representación del proceso de ocupación y uso de la tierra de la Reserva Forestal de Caparo*, Undergraduate thesis, Universidad de los Andes. Venezuela.

Newell A., 1990, *Unified Theories of Cognition*, Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.

Moreno N., Quintero R., Ablan M., Barros R., Dávila J., Ramírez H., Tonella, G., M. Acevedo. 2005. Biocomplexity of deforestation in the Caparo tropical forest reserve in Venezuela: an integrated multi-agent and cellular automata model. To appear in *Environmental modelling and software*.

Moss S., 1995, Control Metaphors in the Modelling of Decision-Making Behaviour', *Computational Economics*, v.8, pp. 283-301

Moss S., Gaylard H., Wallis S., and Edmonds B., 1998, SDML: A Multi-Agent Language for Organizational Modelling, *Computational Mathematical Organization Theory*, 4(1), pp. 43-69.

Moss, S., Edmonds B., and Wallis S., 1997, Validation and Verification of Computational Models with Multiple Cognitive Agents, CPM-97-25 (accessible at <http://www.cpm.mmu.ac.uk/cpmrep25.html>).

Moss S., Edmonds B. and Wallis S., 2000, The Power Law and Critical Density in Large Multi-Agent Systems, [CPM Report Number 00-71](#), Manchester Metropolitan University, UK.

Moss S., 2001, Game Theory: Limitations and an Alternative, Centre for Policy Modelling Report No. 01-80 (<http://cfpm.org/cpmrep80.html>).

Quintero R., Barros R., Moreno N., Dávila J., Ablan M., Tonella G., 2004, A Model of the Biocomplexity of Deforestation in Tropical Forest: Caparo Case Study. In Pahl, C., Schmidt, S. and Jakeman, T. (eds) iEMSs 2004 International Congress: Complexity and Integrated Resources Management. International Environmental Modelling and Software Society, Osnabruueck, Germany, June.

Ramírez H., Ablan M., Torres A., 2004, Modelo de dinámica de bosques tropicales inundables en los llanos occidentales de Venezuela, Manuscript in preparation.

Sánchez M., 1989, Situación Actual del Proceso de Ocupación de la Reserva Forestal en Caparo, Universidad de los Andes, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida, Venezuela.

Shafritz J., Ott J. (Eds.), 1997, *Classics of Organization Theory*, 4th Edition, Harcourt Brace.

Simon H., 1946, The Proverbs of Administration, Reproduced in Shafritz *et al.*, 1997.

Simon H., 1984, *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, Cambridge, Mass., USA.

Taylor, Frederick, 1916, The Principles of Scientific Management, Paper reproduced in: Shafritz *et al.*, 1997.

Terán Oswaldo (2001), How Nature Works: The Science of Self-Organised Criticality (Review Essay), *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Online Journal at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/4/contents.html>, 2001. Review Essay of Per Bak's Book, *How Nature Works: The Science of Self-Organised Criticality*, New York, NY: Copernicus Press, 1996.

www.bdigital.ula.ve