

# SIMULACIÓN SOCIAL MULTIAGENTE: CASO RESERVA FORESTAL DE CAPARO, VENEZUELA

Oswaldo Terán, Norelkis Quintero, Magdiel Ablán y Johanna Álvarez

## RESUMEN

Se presenta un modelo de ocupación de la tierra en reservas forestales tomando en cuenta aspectos sociales, inspirado en la Reserva Forestal de Caparo, y utilizando la simulación social multiagente y los autómatas celulares. El modelo pretende ayudar a comprender la dinámica de ocupación de la tierra en diferentes reservas forestales de Venezuela y Latinoamérica, como un caso de manejo de recursos comunes. En una primera versión del modelo se representan los agentes colonos u ocupantes de terreno; el estado, ente controlador de la ocupación de la reserva; y una agrupación de los colonos, un ente motivador de la ocupación del terreno. Entre los factores sociales considerados está la imitación entre los agentes al tomar decisión sobre ocupar terreno y la negociación de terrenos. En una segunda

versión del modelo se agrega a las concesionarias como agentes y se introduce el juego de poder entre los actores. Se muestran resultados de ambas versiones del modelo. De la primera versión se obtiene que la variable tamaño de la tierra acumulada por cada colono presenta un comportamiento exponencial emergente similar al observado en sistemas críticamente auto-organizados. Dicha variable está en relación con la desigualdad material entre los ocupantes de la tierra, similar al índice de Gini, utilizado para medir la distribución de la riqueza en una región. En el segundo modelo se observa que el compromiso institucional del controlador y el cumplimiento del rol por las concesionarias son fundamentales en la lucha contra la ocupación de la tierra en las reservas forestales.

## Introducción

La tasa de deforestación en Venezuela es una de las más altas en Latinoamérica. Según el informe de la situación de los bosques del mundo (FAO, 2007) la tasa de deforestación en los años 1999-2005 fue en promedio de 288000ha al año, a pesar de que buena parte de los bosques está protegido legalmente como parques nacionales, reservas de biodiversidad y reservas forestales. En particular, la mayoría de las reservas forestales situadas al norte del río Orinoco (Ticoporo, Caimital, Caparo, entre otras) han desaparecido o conservan solo una pequeña porción de su área original, debido a procesos de ocupa-

ción y cambio de uso de la tierra a usos agrícolas y pecuarios. Comprender por qué y cómo se da este proceso de ocupación y cambio de uso de la tierra es de fundamental importancia para proteger estos bosques. El presente estudio está orientado a contribuir a la comprensión de los procesos de ocupación de la tierra en las reservas forestales, inspirado en la Reserva Forestal de Caparo (Jaimes, 2004; Álvarez, 2005; Terán *et al.*, 2005, 2007; Quintero, 2007).

Se dice que el modelo está inspirado en la Reserva Forestal de Caparo (RFC) porque no se modelan aspectos que son detalles particulares de esta reserva, sino aspectos

sociales y naturales, muchos de los cuales se espera encontrar de forma muy similar en otras reservas venezolanas y, posiblemente, latinoamericanas. Se trata, en general, de la misma cultura y de una situación geográfica muy parecida, con similares problemas de desigualdad social, corrupción política y administrativa, politiquería, etc., que son caldo de cultivo para la destrucción de los bienes comunes. Cabe destacar que una proporción considerable de los ocupantes de las reservas forestales venezolanas provienen de naciones vecinas, tales como Colombia.

La RFC está localizada en los llanos occidentales venezolanos, en los municipios

Ezequiel Zamora y Pedraza del estado Barinas. Fue creada en 1961 con una superficie de 174370ha., de las que hoy en día solo se conservan 7900ha., las cuales siguen siendo sometidas a amenazas de procesos de invasión y extracción ilegal de madera (Ramírez-Angulo, 2008). La destrucción de los bosques se ha debido esencialmente a la ocupación humana (no indígena), por lo que es un problema socio-cultural, y tiene múltiples causas que requieren ser entendidas. Entre las causas de los altos niveles de deforestación y destrucción de ésta y otras reservas forestales en Latinoamérica, se tienen la desigual distribución de la tierra, la pobreza generalizada en el campo, la

**PALABRAS CLAVE / Manejo de Recursos Comunes / Ocupación de la Tierra / Reserva Forestal / Simulación Social / Sistemas Multiagente /**

Recibido: 25/05/2009. Modificado: 26/07/2010. Aceptado: 28/07/2010.

**Oswaldo Terán.** Ingeniero de Sistemas y Maestría en Estadística Aplicada, Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. Ph.D. en Modelado Computacional, Manchester Metropolitan University, RU. Profesor, ULA, Venezuela.

Dirección: CESIMO, Facultad de Ingeniería, ULA. La Hchicera, Mérida, Venezuela. e-mail: oteran@ula.ve

**Norelkis Quintero.** Ingeniera de Sistemas, ULA, Venezuela. Especialista, Ministerio del Poder Popular para las Relaciones

Interiores y Justicia, Venezuela. e-mail: norelkis@gmail.com

**Magdiel Ablán.** Ingeniera de Sistemas, ULA, Venezuela. Ph.D. en Ciencias del Ambiente, University of North Texas, EEUU. Profesora, ULA, Venezuela. e-mail: mablan@ula.ve

**Johanna Álvarez.** Ingeniera de Sistemas, ULA, Venezuela. Investigadora, CENDITEL, Venezuela. e-mail: jalvarez@cenditel.gob.ve

## MULTIAGENT-BASED SOCIAL SIMULATION: THE CASE OF THE CAPARO FOREST RESERVE, VENEZUELA

Oswaldo Terán, Norelkis Quintero, Magdiel Ablán and Johanna Álvarez

### SUMMARY

*This paper presents a land use/land change model in forest reserves considering social factors and using Multi Agent-based Simulation (MABS) and cell automata. It is inspired by the Caparo Forest Reserve (RFC) in western Venezuela. The model aims at helping to better comprehend the land occupation process at different forest reserves in Venezuela and Latin America, as a case of management of common resources. In a first version of the model the agents represented are the settler or colonist; the state as a "controller" of land occupation; and a colonist's group organization that is a land occupation motivating entity. Amongst social factors considered are inter-agent imitation for land occupation and negotiation. In a second version of the model a new agent is included, the concessionaires, timber companies that have been granted extraction rights*

*under government supervised management plans. Also, politic power interplay between agents is introduced. Results for both versions of the model are offered. From the first version an emergent exponential behavior is obtained, that of critically self organized systems for the variable "Size of Accumulated Land", where each instance of the variable corresponds to a measure of a colonist's accumulated land size. This variable relates to material inequality among colonists, as in the Gini Index used for measuring inequality of wealth distribution in a region. The second version of the model suggests that the controller's institutional commitment and the concessionaires' pledge to legal compromises are key factors in the efforts to reduce land use change at forest reserves.*

## SIMULAÇÃO SOCIAL MULTIAGENTE: CASO RESERVA FLORESTAL DE CAPARO, VENEZUELA

Oswaldo Terán, Norelkis Quintero, Magdiel Ablán e Johanna Álvarez

### RESUMO

*Apresenta-se um modelo de ocupação da terra em reservas florestais considerando aspectos sociais, inspirado na Reserva Florestal de Caparo, e utilizando a simulação social multiagente e os autômatas celulares. O modelo pretende ajudar a compreender a dinâmica de ocupação da terra em diferentes reservas florestais da Venezuela e Latinoamérica, como um caso de manipulação de recursos comuns. Em uma primeira versão do modelo se representam os agentes colonos ou ocupantes de terreno; o estado, ente controlador da ocupação da reserva; e uma agrupação dos colonos, um ente motivador da ocupação do terreno. Entre os fatores sociais considerados está a imitação entre os agentes ao tomar decisão sobre ocupar terreno e a negociação de terrenos. Em uma segun-*

*da versão do modelo se agrega às concessionárias como agentes e se introduz o jogo de poder entre os atores. Mostram-se resultados de ambas versões do modelo. Da primeira versão se obtém que a variável tamanho da terra acumulada por cada colono apresenta um comportamento exponencial emergente similar ao observado em sistemas criticamente auto-organizados. Dita variável está em relação com a desigualdade material entre os ocupantes da terra, similar ao índice de Gini, utilizado para medir a distribuição da riqueza em uma região. No segundo modelo se observa que o compromisso institucional do controlador e o cumprimento do rol pelas concessionárias são fundamentais na luta contra a ocupação da terra nas reservas florestais.*

corrupción político-administrativa, la insuficiencia de recursos y el tardío desarrollo de conocimientos técnicos y científicos del manejo del bosque, aplicados al entorno local. En específico, el proceso de colonización de la RFC, así como de otras reservas forestales, es influenciado por factores tales como presencia de terratenientes, contrabando de madera, intereses a favor de las invasiones, corrupción político-administrativa y manejo de influencias (Sánchez, 1989; Aicher, 2002).

Este tipo de problema puede ser abordado desde diversas perspectivas teóricas. Algunas alternativas tradicionales son las ciencias administrativas y la economía, o la sociología. Una alternativa a los estudios sociales tradi-

cionales lo ofrece el modelado y simulación de sistemas sociales basado en simulación social multiagente y en autômatas celulares (ver <http://cesimo.ing.ula.ve/simsocia> y <http://www.essa.eu.org/>).

La simulación social multiagente da énfasis a la toma de decisiones de los actores o agentes involucrados en el sistema y los representa de manera explícita en su relación con el entorno, por lo que el modelo se basa en la interacción de los agentes, en su constante toma de decisiones. El entorno podría consistir de aspectos sociales y naturales, como ocurre en el modelo presentado en este trabajo. En este caso, el aspecto social presenta a cada colono como un agente en su relación con su entorno social constituido,

entre otros, por agentes de su mismo tipo (otros colonos), un agente que representa al Estado Venezolano, o varios agentes que representan a las concesionarias. A su vez los colonos son parte del entorno social de los otros agentes. Por otra parte, el aspecto natural representa al entorno natural de interés para el modelo elaborado. En este caso se trata de un espacio en dos dimensiones, subdividido en pequeñas áreas o celdas que el agente puede o no ocupar. Estas pequeñas áreas representan pequeños lotes de terreno de la reserva forestal, y podrían tener características como estar o no en situación de bosque, estar o no cultivadas, el tiempo en que han permanecido sembradas, estado de

fertilidad, etc. Los agentes están entonces distribuidos sobre tal espacio, ocupando rejillas. Precisamente a este espacio de rejillas se le representa por medio de un autómata celular, red bidimensional generalmente rectangular subdividida en espacios de igual tamaño en sus dos direcciones, por lo que cada espacio puede identificarse por una dupla (i,j), donde cada espacio, área o cuadrado de la rejilla posee una serie de características representadas por el estado de ciertas variables. El estado de las variables de una rejilla en un momento dado (t) de la simulación, depende de la acción ejercida sobre ella por los agentes, así como por el estado de la rejilla y de algunas de sus vecinas en el momento previo (t-1) de

simulación. En el modelo presentado, el autómatas celular representa al espacio de la reserva simulada, donde los agentes colonos permanecen ocupando terreno. Como ejemplo de variables de interés están la distribución del área acumulada de terreno ocupado por cada agente en un cierto instante de la simulación. En torno a esta variable aparecen comportamientos emergentes (Jaimes, 2004; Álvarez, 2005; Terán *et al.*, 2005, 2007; Quintero, 2007).

En particular, la toma de decisiones de los individuos se modela en base a estudios que han recurrido a la observación directa, en el presente trabajo y en estudios relacionados como los de Terán *et al.* (2005, 2007), considerando los estudios empíricos de Sánchez (1989, 1994), teorías de imitación y comportamiento social (Conte y Paolucci, 2001), teorías del Gobierno de los Comunes (Ostrom, 2000), uso de los niveles de aspiración para representar la toma de decisiones (Simon, 1984), y el estudio de fenómenos emergentes y de auto-criticidad (Bak, 1996; Terán, 2001).

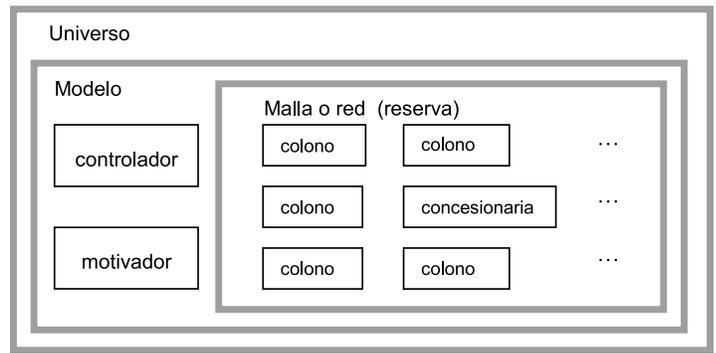
En los estudios de Jaimes (2004), Álvarez (2005) y de Terán *et al.* (2005) la simulación del proceso social en la RFC ha mostrado propiedades emergentes similares a las presentadas por sistemas críticamente autoorganizados. Allí se modelan agentes tales como el gobierno, una especie de organización que agrupa a los colonos para defender sus intereses, y los colonos. Posteriormente el modelo es ampliado para incluir el rol de las concesionarias (Quintero, 2007).

En el ámbito de la simulación social, investigaciones relacionadas incluyen modelos donde se estudian las características de la ocupación y uso de la tierra (Gotts *et al.*, 2003; Izquierdo *et al.*, 2003). Estos trabajos muestran similitudes con la presente investigación, al obtenerse durante la simulación propiedades emergentes similares, como la leptocurtosis en la distribución del tamaño

de la tierra acumulada por los colonos. El proceso simulado por estos investigadores presenta no solo similitudes, sino también diferencias respecto a lo que ocurre en una reserva forestal. Entre las diferencias cabe mencionar que el tiempo que ha tomado el proceso de ocupación de la tierra es mucho más corto en la RFC que en las zonas rurales de Escocia (Terán *et al.*, 2007).

Comparado con un estudio descriptivo de la dinámica social, como el presentado en Sánchez (1989, 1994), la simulación social presenta limitaciones en cuanto a la cantidad de factores que pueden ser incluidos en el estudio, y a las simplificaciones al momento de elaborar el modelo, donde aspectos del comportamiento social son reducidos a las características individuales y grupales de los agentes a ser estudiados, y que se consideran relevantes para generar la dinámica de interés. Sin embargo, la simulación social ofrece la posibilidad de analizar la dinámica modelada a través de la generación de escenarios, a fin de estudiar, entre otros, las condiciones en que aparecen tendencias emergentes, aspecto de sumo interés para las ciencias sociales.

En la siguiente sección se explica la dinámica de la interacción entre los agentes para una primera versión del mode-



lo, elaborado en 2004-2005, y para una segunda versión del mismo que resulta de la ampliación del primero, realizada recientemente para incluir el rol de las concesionarias y el juego de poder en el que éstas y los otros actores están envueltas. Luego se presenta un resumen de los resultados obtenidos al correr cada una de las versiones del modelo, y finalmente se ofrecen algunas conclusiones.

### Modelo de Simulación

El modelo descriptivo se basa en el estudio de la Reserva Forestal de Caparo (RFC) realizado por Sánchez (1989, 1994), donde se explica la dinámica social dentro y en torno a la reserva y se muestra el contraste entre la situación real de la RFC y su deber ser. En teoría, decretar bajo la figura de reserva forestal un bosque debería mantenerlo de manera susten-

table, sin embargo, el nivel de deforestación y de destrucción casi total evidencia que otra es la realidad en la RFC. Algunos factores socio-culturales causantes de los altos niveles de deforestación y destrucción de ésta y otras reservas forestales en Latinoamérica y, en particular, en Venezuela, fueron mencionados arriba.

En Jaimes (2004), Álvarez (2005) y Terán *et al.* (2005, 2007) el modelo representa la interacción de los siguientes tipos de agentes (Figura 1): colono (campesino que ocupa las tierras en la reserva forestal), controlador (el gobierno, que intenta controlar la ocupación de tierras, por ejemplo, mediante el desalojo de los colonos), y motivador (asociaciones de colonos para defender sus intereses). La sugerencia de los agentes motivador y controlador se reduce a invadir, el primero, y no invadir, el segundo. El controlador desaloja a los colonos de una manera sesgada, prefiriendo aquellos que tienen menos espacio de terreno, y así menos poder en la reserva, lo cual se hace en correspondencia a lo que ocurre en la RFC. Tanto en el primer como el segundo modelo, los colonos se ubican en una red, modelada como un espacio celular, donde van ocupando celdas que representan espacios de terreno (Figura 2).

#### Primera decisión del agente colono: ocupación

En cada instante de simulación los agentes toman una primera decisión con dos opciones, invadir o no invadir. Esto se realiza en dos pasos:

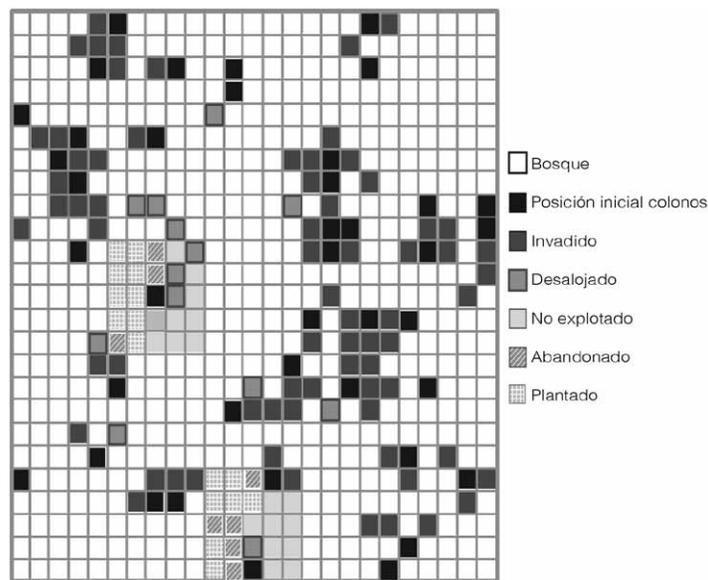


Figura 2. Espacio celular (malla) de distribución de los agentes.

*Paso 1.* El agente decide probabilísticamente entre 1.1: imitar un vecino, 1.2: escuchar al motivador, 1.3: escuchar al controlador, y 1.4: razonar por sí mismo, dependiendo del peso (importancia) que estas tres decisiones tienen para él (la variación de los pesos permite definir grupos y tipos de agentes). A continuación se hace uso de la noción de endosos, en base a la cual se modela la toma de decisiones de los agentes.

El mecanismo de endosos ha sido muy utilizado en simulación social, y ha sido propuesto formalmente en diversas publicaciones (Cohen, 1985; Moss, 1995). Un endoso es una etiqueta para identificar un factor importante a evaluar al momento de tomar una decisión, y que es relevante para seleccionar entre las opciones; es una especie de atributo de las posibles opciones, observados en el tiempo, por lo que son recordados por los agentes. Se le denomina también etiqueta o estampa.

Para explicar mejor este concepto cabe tomar el caso de los distribuidores de un producto, donde las opciones son los posibles distribuidores, un endoso (estampa o etiqueta) podría ser si entregó a tiempo, y otro podría ser si entregó un producto de calidad. Luego, el agente le otorga pesos a estos aspectos; por ejemplo, peso 2 a entrega a tiempo, y el peso 4 a entrega de calidad. Luego de tomar una decisión el agente agrega la estampa correspondiente al distribuidor seleccionado de acuerdo a lo que observa en tal decisión. Así, si la entrega del distribuidor seleccionado fue a tiempo, entonces se le pone la etiqueta correspondiente a este distribuidor, i.e., “entregaATiempo”.

Posteriormente, cuando el agente deba decidir de nuevo, recuerda los endosos de cada opción (de las ya seguidas previamente) y evalúa cada una de acuerdo a los mismos, para luego seleccionar siguiendo los resultados de

la valoración, la cual será explicada con detalle más adelante. Algunas etiquetas pueden tener una valoración negativa, como sería una entrega de mala calidad, si la hubiere. A continuación se explica con más detalle este asunto para el caso que nos ocupa, donde las opciones para los agentes son invadir o no invadir, y donde las estampas tienen que ver con la fuente de donde proviene la sugerencia de invadir o no invadir. Específicamente, un agente puede tener este esquema de endosos:

```
[[imitarVecino 4]
 [razonarPorSiMismo 3]
 [seguirControlador 2]
 [seguirMotivador 1]]
```

en cuyo caso la probabilidad de imitar un vecino sería:

$$\frac{\text{(Valor de la etiqueta imitar)}}{\text{(Suma total valores etiquetas)}} = \frac{4}{(4+3+2+1)} = \frac{4}{10}$$

y de la misma manera se calculan las probabilidades para los otros casos.

Un agente con este esquema de estampas es sesgado a imitar a un vecino, por lo que se le llama imitador, dado que el mayor peso está dado a esta etiqueta (de valor 4). Variando los pesos se tienen agentes sesgados hacia las otras alternativas, apareciendo así los diversos tipos de agentes. Luego de esta selección (la primera para el agente en la simulación) entre las opciones 1.1 a 1.4, en el paso 2 el colono decide si invadir o no, como se explica adelante, asociándole a la decisión una etiqueta de acuerdo al resultado del paso 1.

Así, si un colono dispone imitar a un vecino en el paso 1, y entonces decide invadir en el paso 2, este colono agrega a la base de datos la decisión invadir con la etiqueta “ImitarVecino”, la cual le servirá para tomar decisiones en el futuro, como se explica abajo, a través del mecanismo de endosos. Al final, las acciones invadir y

no invadir tendrán asociado un vector de etiquetas, como resultado de la acumulación de esta asignación de endosos por cada decisión tomada. Esto va a permitir el comportamiento social del agente.

*Paso 2.* Dependiendo de la decisión en el paso 1, se tiene que si ha decidido por 1.1, el colono considerado selecciona un colono en su entorno (conformado por un cierto subgrupo de celdas del espacio celular a una distancia inferior a un número dado, del agente considerado) y realiza la misma acción que el agente seleccionado ejecutó en la iteración anterior. Si el camino seguido es 1.2, entonces el agente invade siguiendo la sugerencia del motivador (quien siempre sugiere invadir). Al seguirse el camino 1.3, entonces el agente no invade, al tomar la sugerencia del controlador (quien siempre sugiere no invadir). Finalmente, si se ha decidido por 1.4 en el paso 1, entonces el colono elige entre las alternativas invadir o no invadir dependiendo de los pesos de cada decisión de acuerdo a la experiencia acumulada, asociada a los pesos que el agente le asigna a las alternativas de la decisión 1, para lo que utiliza el mecanismo de endosos, que se explica a continuación.

Dadas las etiquetas de las decisiones “Invadir” y “noInvadir”, el agente calcula un valor de endoso para cada decisión y toma la que tenga el mayor valor, siguiendo la fórmula

$$E(b, \text{VectorEtiquetas}) = \sum_{\text{val(etiqueta)} \geq 0} b^{\text{val(etiqueta)}} - \sum_{\text{val(etiqueta)} < 0} b^{|\text{val(etiqueta)}|} \quad (1)$$

donde  $b$  es una base que toma valores generalmente entre 1 y 2, **VectorEtiquetas** es el vector que contiene las etiquetas acumuladas por el agente hasta el momento de la decisión actual, y  $\text{val}$  (etiqueta) es una función que genera el valor asociado a cada etiqueta según el esquema de endosos.

Si se asume una base  $b=1,2$ , y si un agente tipo imitador con el esquema de endosos mostrado arriba ha invadido dos veces, etiquetando esta decisión con las estampas “imitarVecino” y “razonarPorSiMismo”, y además el agente no ha invadido una vez, con la estampa “seguirControlador”; entonces el vector de etiquetas para la acción invadir es [imitarVecino, razonarPorSiMismo], mientras que para la acción no invadir será [seguirControlador]. Si  $\text{val}(\text{razonarPorSiMismo})=3$ , las valoraciones serán:

$$\text{Endoso Invadir} = (1,2)^4 + (1,2)^3 = 3,8016$$

$$\text{Endoso NoInvadir} = (1,2)^2 = 1,44$$

Como la valoración de la acción invadir es mayor que la de la acción no invadir, el agente decide invadir. Finalmente, una vez ha elegido invadir siguiendo un razonamiento propio, entonces el agente agrega una nueva etiqueta al vector de etiquetas de la acción invadir, que en este caso sería “razonarPorSiMismo”.

#### *Segunda decisión del agente colono: negociación*

La segunda decisión modelada para el agente colono es la negociación de espacios de terreno. El agente decide si vende o no vende un lote de terreno a un cierto colono con intención de compra (Álvarez, 2005; Terán *et al.*, 2005, 2007). Cualquier colono podrá comprar bienhechurías siempre y cuando su valor del endoso para la acción invadir sea mayor que el valor de su endoso para la acción no invadir. Esto se supone de esta manera dado que el colono, al observar sus acciones pasadas (la acción de invadir o la de no invadir) a través de los endosos, puede evaluar cuan conveniente le resulta obtener más tierras.

El colono que tenga un mayor valor para el endoso de la acción invadir que para la acción no invadir, evalúa el acumulado de terrenos de sus vecinos, si entre sus vecinos hay uno o más que tengan menor terreno que él, selecciona a alguno de ellos y le ofrece comprar uno de los puntos o celdas ocupadas por ese colono seleccionado. Este último, el potencial vendedor, en caso de tener más de una oferta de compra, realiza un proceso de evaluación dirigido a vender a aquel colono que tenga más terreno entre todos los ofertantes, pues este tiene mayor potencial para ofrecer mejores beneficios al venderle, lo que se corresponde con lo que ocurre en la realidad, donde el beneficio podría ser de muchos tipos: dinero, influencias, etc. (lo que algunos llamarían pagos marginales de las negociaciones o de las luchas por poder). Un colono que acumula terreno durante la simulación podría ser llamado terrateniente. Así, los terratenientes no son introducidos de antemano a la simulación, ni son predefinidos como un tipo de agente, sino que emergen de la dinámica del modelo.

*El agente concesionaria y el juego de poder entre los agentes*

Todo lo descrito arriba esta presente en la primera y en la segunda versión del modelo. A continuación se describe lo que está presente solo en la segunda versión del modelo, presentado en mayor detalle en Quintero (2007). El agregado principal consiste en incluir como agentes a las concesionarias (empresas o asociaciones que reciben, de parte del gobierno, tierras bajo su concesión dentro de la reserva forestal para ser aprovechada en la industria maderera de manera sustentable).

Además, se amplía el rol del agente controlador, que no solo se limita a sugerir

no invadir, sino que toma decisiones basadas en el estado de la malla o espacio celular, el nivel de aspiraciones que él mismo posee y la presión (o demanda) ejercida sobre él por otros agentes, desarrollándose así un juego de poder entre los agentes modelados (Sánchez, 1989, 1994).

Algunos de los aspectos incluidos en el nuevo modelo son tomados de la descripción que hace Ostrom (2000) acerca del manejo de recursos de uso común (RUC). Ostrom señala varios factores involucrados en la toma de decisión de los agentes, tales como arraigo a la tierra, niveles de poder y niveles (o metas) de aspiración (las cuales se complementan con las ideas de Simon (1984), acerca de niveles de aspiración).

Entre los agentes podemos distinguir tres niveles en la escala de poder (Figura 3), que luego varían, de acuerdo a las circunstancias presentes en la RFC. En un primer nivel de poder se encuentra el gobierno. Seguidamente, en un segundo nivel, el motivador, terratenientes y concesionarias, y finalmente, los colonos (tomados individualmente) se ubican en el tercer y último nivel. Esta situación cambia de acuerdo al acontecer político del país, como ocurre en época electoral, cuando el poder de los colonos aumenta (por la mayor importancia que les da el Estado; Figura 4).

El juego de poder es modelado utilizando las nociones de niveles de aspiración y satisfacción. Cuando un agente que aspira a obtener un beneficio no se encuentra satisfecho con los resultados obtenidos ejerce presión sobre el agente controlador. Un caso lo representa el agente colono, quien aspira a no ser desalojado de la reserva forestal y ejerce presión sobre el agente controlador cuando existen desalojos. La presión ejercida por el agente colono será proporcional al número de desalojos efectuados por

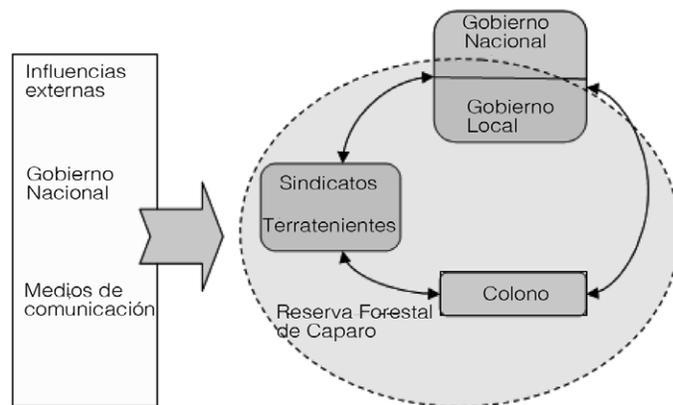


Figura 3. Niveles de poder entre los agentes.

el controlador.

El agente concesionaria aspira a que los colonos sean sacados de la reserva forestal, al menos de aquellos terrenos vírgenes aún no explotados y de los que han sido reforestados por ellas, ejerciendo presión cuando no está satisfecho por estar siendo invadidas las tierras bajo su concesión, presión que será proporcional al número de invasiones a sus tierras.

El agente controlador, por su parte, aspira a que las invasiones a la reserva forestal sean menores o igual a las esperadas (cierto número de espacios o celdas ocupadas en la malla), y a que la recuperación de las áreas explotadas (es decir, la reforestación) sea mayor o igual a la esperada, ejerciendo presión sobre sí mismo, como ente responsable del control de la reserva forestal, cuando sus aspiracio-

nes no sean satisfechas. Esta presión sobre sí mismo es incrementada cuando la reputación del controlador baja (ante la concesionaria o ante los otros agentes). Esta reputación es una función de las decisiones tomadas por la concesionaria en contra de su propio rol institucional.

También se incluye en el modelo la reputación de las concesionarias, una función de las decisiones de las concesionarias de reforestar o abandonar las tierras por ellos explotadas. Cuando el agente controlador o el agente concesionaria actúa de la manera que se considera correcta, de acuerdo a su rol, su reputación aumenta, y con ello se incrementa el peso de la presión que ejerce ante otros actores. Sin embargo, su acción puede generar acción contraria de parte de quienes tienen un objetivo opuesto o diferente. Por caso, si el controlador

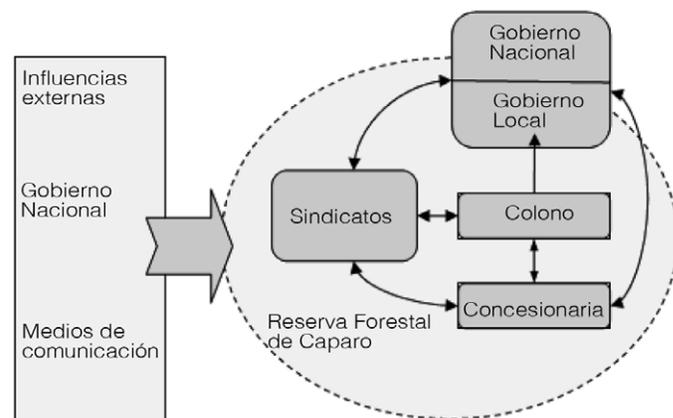


Figura 4. Niveles de poder entre los agentes.

expulsa campesinos o colonos de la reserva, entonces los colonos ejercerán presión ante el controlador. Una descripción más completa de este juego de poder puede encontrarse en Quintero (2007).

## Resultados

### Primera versión del modelo de simulación

El modelo de simulación fue implementado en el lenguaje *strictly declarative modelling language* (CFPM, 2000). Como se dijo antes, en la primera versión del modelo no se incluye el rol de las concesionarias ni el juego de poder. Los resultados de la simulación con este modelo son presentados en varios trabajos (Álvarez, 2005; Terán *et al.*, 2005, 2007). Acá solo se presenta un resumen de los resultados más relevantes obtenidos al experimentar con dicha versión del modelo.

En estos experimentos se analizó la distribución del tamaño de la tierra acumulada (TTA) por cada colono para un cierto instante de la simulación. Este tipo de tendencias como el TTA o el tamaño del mercado tomado por cada distribuidor en modelos (Moss *et al.*, 2000) han mostrado comportamiento leptocúrtico, especialmente exponencial o siguiendo la ley de la potencia. En particular, Gotts y Parker (2004a, b) han encontrado que el TTA en Escocia se distribuye de forma intermedia entre las distribuciones exponencial y la ley de la potencia. Por otra parte, Moss *et al.* (2000) lograron reproducir en un modelo una tendencia observada en los mercados del Reino Unido y Estados Unidos, donde el tamaño de mercado asumido por cada distribuidor en mercados libres tiene una distribución según la ley de la potencia.

Esto llevó a examinar la distribución del TTA en la RFC, a fin de determinar si

hay alguna semejanza con los trabajos mencionados. Es decir, se desea conocer si se dan las siguientes relaciones (utilizando la distribución del rango de la muestra, considerando estadísticas no paramétricas):

Exponencial:

$$\text{Rango(TTA)} = (\text{constante 1}) e^{-TTA} \quad (2)$$

Ley de la potencia:

$$\text{Rango(TTA)} = (\text{constante 2}) \times TTA^{-\tau} \quad (3)$$

Tomando el logaritmo neperiano a ambos lados de estas ecuaciones, tenemos las ecuaciones lineales

Exponencial:

$$\text{Ln}(\text{rango(TTA)}) = TTA + (\text{constante 3}) \quad (4)$$

Ley de la potencia:

$$\text{Ln}(\text{rango(TTA)}) = -\tau \times \text{Ln}(TTA) + (\text{constante 4}) \quad (5)$$

A continuación se explica cómo logró caracterizarse esta tendencia como exponencial a través de la exploración de un conjunto de escenarios. Luego, habiéndose encontrado que la TTA se distribuye según una exponencial, el siguiente paso es ver cuáles factores de la simulación causan esta distribución y cuáles no, lo que se presenta posteriormente. Más detalles de estos experimentos se hallan en Terán *et al.* (2007).

*Caracterizando la tendencia emergente.* Las relaciones exponencial (4) y ley de potencia (5) son analizadas utilizando análisis de regresión, para los tres escenarios siguientes. Primero se consideró el estado de TTA en varios momentos de tiempo (años 15, 30 y 50), seguidamente se consideraron diferentes porcentajes de colonos desalojados de la reserva por parte del controlador (0,01; 0,02 y 0,03%), y finalmente se consideraron diferentes porcentajes de individuos sesgados hacia imitar a otros colonos, seguir la orienta-

ción del motivador (en este caso invadir tierra), o tomar en cuenta la sugerencia del controlador (es decir, no invadir).

Entre los parámetros que fueron mantenidos fijos durante el experimento están el tamaño de la malla simulada (40x40 celdas), el número inicial de colonos (20), el número de nuevos colonos que entran a la reserva cada año (2), la visibilidad de los colonos cuando seleccionan un vecino, o número de celdas que pueden ver en cada dirección (4), y el tiempo de simulación máximo (50 años, el tiempo en que se observa la salida en los dos primeros escenarios, y en un caso del tercer escenario).

Para todos los casos o escenarios mencionados se mostró, a través de corridas repetidas, que la ley exponencial representa mejor la TTA que la ley de la potencia. La primera toma valores de  $R^2 > 0,92$  en todos los casos; mientras que para la segunda  $R^2$  oscila en el intervalo 0,65-0,76. Los valores de  $R^2$  más bajos para el caso exponencial se obtienen cuando el tiempo de simulación es 15, para el caso del primer escenario. Cuando el tiempo de simulación alcanza 50, para todos los escenarios, los valores de  $R^2$  fueron siempre  $> 0,94$ . En todos los escenarios los valores de  $p$  fueron bastante pequeños con  $p < 0,001$ , por lo que los resultados fueron estadísticamente significativos.

*Factores que generan la tendencia emergente.* Esta sección resume el trabajo realizado para determinar cuáles de los siguientes factores del modelo de simulación generan la tendencia emergente (distribución exponencial) para TTA. Los factores fueron F1: los colonos con menos terreno son preferidos por parte del controlador al momento de desalojar colonos, F2: un colono vende un lote o celda de terreno a aquel colono que tenga más terreno ocupado, entre aque-

llos que le hacen la oferta de compra (en caso de empate, se hace la selección de forma aleatoria), y F3: un colono solo puede comprar terreno a otro colono que tenga menos terreno que él.

En un primer análisis se comienza eliminando algunos de estos factores en el siguiente orden, para obtener los modelos enumerados como modelo 1, en que se cancela el factor F1 del modelo original, es decir, el desalojo de colonos de la reserva ahora se hace aleatoriamente; modelo 2, donde además del factor F1 se elimina del modelo el factor F2, lo que significa que al vender terreno un colono selecciona aleatoriamente a su comprador; y modelo 3, en que además de los factores F1 y F2, se cancela el factor F3, lo que significa que cualquier colono puede comprar terreno siempre y cuando tenga, al menos, una celda de terreno ocupada.

Todos estos modelos son analizados para determinar no solo si TTA sigue una distribución exponencial o de la ley de la potencia, como en los tres escenarios contemplados en la sección anterior, sino también para ver si existe una distribución lineal de esta variable, lo que implicaría que no se genera la distribución leptocúrtica.

Así, el cambio de la distribución de la TTA de exponencial a lineal en algunos de los modelos implicaría que el factor cancelado es responsable de la aparición de la tendencia emergente. Al correr los modelos se verificó que esto ocurría solo para el tercer modelo analizado; es decir, que la tendencia no aparece cuando, luego de haber quitado los factores F1 y F2, se quita el factor F3, por lo que se concluye que F3 es fundamental para la aparición de la tendencia emergente.

De estos experimentos no se sabe aún qué ocurre con la influencia de los factores F1 y F2 por separado colocados de forma aisla-

TABLA I  
NÚMERO DE COLONOS  
EN UNA DADA  
CATEGORÍA DE TTA

TTA (ha)	Número de colonos
<50	10
51-500	62
501-950	7
951-1400	2
1401-1850	1
>1850	1

da (cada uno por separado, sin la presencia de los otros dos), por lo que se realizó un segundo ciclo de experimentos, donde al modelo 3 (donde se habían eliminado todos los factores) se le agregan, primero el factor F1 (ahora modelo 4), y luego el factor F2 (ahora modelo 5). Se constata entonces en la simulación que F1 no causa la tendencia emergente, mientras que F2 sí la provoca.

Estos resultados son de utilidad para entender el modelo, pero no son concluyentes para la RFC, dado que el modelo no ha sido completamente validado. Sin embargo, algunos aspectos de la validación son considerados a continuación. Como se indicó arriba, para tener mayor detalle acerca de estos resultados, ver Terán *et al.* (2007). Todos los resultados para  $R^2$  obtenidos en las secciones precedentes fueron altamente significativos estadísticamente con  $p < 0,001$  para todos los casos, excepto tres de ellos, siendo el valor más grande de  $p$  obtenido para estos tres casos de  $3,239e^{-10}$ .

**Validación del modelo.** Generalmente, en Latinoamérica es sumamente difícil conseguir datos para validar modelos, y el modelo aquí presentado no ha sido la excepción. Sin embargo, se hizo un estudio para ver si el modelo contradecía algunos datos existentes (Rojas, 1993; Tabla I). Los datos de la Tabla I corresponden a solo un año, a un cierto sec-

tor de la RFC, y están sumamente agregados, lo cual limita las posibilidades de validación, para responder a la pregunta ¿es la TTA en la RFC similar al observado en la simulación?

Para buscar algunas respuestas limitadas es necesario hacer una suposición en relación a la continuidad de los datos, por lo que se asume que hay linealidad entre las categorías en la Tabla I, suponiendo una distribución uniforme y siguiendo una recomendación común, en caso de que el mínimo y el máximo de un conjunto de valores sean conocidos. Generando datos, entonces, se realizaron análisis para ver si los datos generados se comportaban según la ley de la potencia o según la distribución exponencial, tal como se explicó en las secciones precedentes. La Tabla II muestra un resumen de las métricas obtenidas para  $R^2$  y para  $p$  al repetir el procedimiento cinco veces con los datos disponibles. Los resultados muestran que, en efecto, los patrones observados no contradicen los resultados de la simulación.

#### *Segundo modelo de simulación*

Entre los parámetros variados para generar diversos escenarios están el número de colonos y de concesionarias al inicio de la simulación, el número de nuevos colonos que entran cada periodo de simulación, el nivel de aspiración de los agentes concesionaria, controlador y colono, el poder de las concesionarias, y el área asignada a cada concesionaria.

La simulación permite observar variables del comportamiento de los agentes, tales como presiones ejercidas entre agentes, la reputación del controlador (una función de las decisiones tomadas en contra de su rol institucional), la reputación de las concesionarias, el porcentaje de decisiones del controla-

TABLA II  
RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE CINCO CORRIDAS  
DEL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN APLICADA A  
LOS DATOS REALES

	Exponencial		Ley de la potencia	
	min	max	min	max
$R^2$	0,8206	0,9539	0,5615	0,7836
Pendiente	$-2,66 \times 10^{-3}$	$-2,06 \times 10^{-3}$	-0,56	-0,77

Todos los valores son altamente significativos estadísticamente ( $p < 0,001$ ).

dor a favor de cada agente, y el estado de ocupación de tierras, en general y por cada agente en particular.

Algunos resultados interesantes de las salidas de la simulación son: a) las concesionarias podrían influir de manera importante en la conservación del bosque, si estuviesen comprometidas con este objetivo; b) el poder del controlador no es suficiente para contrarrestar la influencia de los otros actores, siendo necesario el compromiso y un nivel de aspiración alto en la dirección de su rol institucional; c) el controlador puede contribuir indirectamente a la destrucción de la reserva forestal si no existe un elevado compromiso institucional; d) se confirma la tendencia emergente observada en Álvarez (2005) y Terán *et al.* (2005, 2007) y descrita en la subsección previa, de una distribución exponencial en el tamaño de las tierras ocupadas por los colonos; y e) la variable temporal de la cantidad de colonos desalojados cada año se ajusta bastante bien a la Ley exponencial, otro resultado interesante por ser ésta una propiedad que aparece en otros estudios de ocupación de terreno y en modelos de simulación (Gotts *et al.*, 2004a, b).

#### **Conclusión**

Se han presentado los aspectos más resaltantes de un modelo de simulación orientado a comprender mejor el proceso de ocupación de la tierra en una reserva forestal. El modelo permi-

te incluir aspectos de interés para los estudiosos de sistemas sociales de forma diferente a como se hace en los estudios económico-administrativos tradicionales. Se modela la toma de decisiones con base en la imitación social, la negociación, y los niveles de aspiración, tomando en consideración lo observado en el sistema empírico, lográndose introducir el juego de poder entre los actores en la segunda versión del modelo descrito.

El modelo permite observar: a) tendencias emergentes de interés para comprender el sistema bajo estudio, tal como comportamientos ajustados a leyes probabilísticas que se asemejan a los observados en sistemas críticamente auto-organizados; b) la necesidad de ciertas actitudes, tales como el elevado compromiso del gobierno (controlador), a fin de que éste logre realizar de manera efectiva su rol institucional, o la importancia de que las concesionarias cumplan con sus compromisos, a fin de que no contribuyan indirectamente a la ocupación de la reserva forestal por parte de los colonos; c) a través de un diseño de experimentos apropiado es posible examinar cuáles son los factores que hacen que aparezca una tendencia emergente. Así, se descubre que un factor que la hace aparecer es la preferencia de los colonos de vender lotes a los compradores con más tierra acumulada.

A través del modelo multi-agente presentado se hace evidente que la RFC se ha

convertido en un mercado de lotes de terreno y ha dejado de ser una reserva forestal en su definición formal. El cancelar los factores que inhiben la tendencia emergente, implica cancelar el libre juego del mercado, lo cual previene el surgimiento del comportamiento leptocúrtico. Esta conclusión coincide con la sugerencia de Moss *et al.* (2000) en relación a que la prevención de la libre competencia en un mercado de distribución de productos lleva a que no ocurra el comportamiento leptocúrtico en el tamaño del mercado tomado por cada distribuidor. Esto se entiende si se observa que en un libre mercado los agentes con más terreno son los que pueden ofrecer mejores beneficios a quien les venda, y son quienes con más probabilidad comprarán terreno (de forma parecida a como lo establece el factor F2). Si se cancela este tipo de supuestos se está restringiendo y controlando el mercado, permitiendo que las ventas sean aleatorias entre los colonos, lo cual lleva a la desaparición de la tendencia emergente y a que se dé una distribución lineal de la TTA, como muestra la simulación. Como dato adicional, el comportamiento leptocúrtico también aparece en el índice de Gini, que mide la distribución de la riqueza en una cierta región.

Todo ello muestra las potencialidades de la simulación social para ayudar en la comprensión y orientar la toma de decisiones, en relación a fenómenos complejos de interacción humana.

Es importante reconocer que el tipo de interacción social presente actualmente en la RFC, donde sobresale el juego de poder entre los actores, es relativamente reciente, dado que los indígenas no tenían este tipo de comportamiento. Esta situación se trasplanta en Venezuela con la conquista europea, y se ha exacerbado desde mediados del siglo

XX, quizás teniendo relación con la acentuación de algún proceso de transculturización.

Se debe hacer hincapié en el hecho que el modelo no pretende representar fielmente la RFC sino que, más bien, ha sido inspirado en estudios que han descrito la dinámica social en esta reserva. Sin embargo, el ejercicio de validación mostrado no contradice los resultados del modelo.

Este tipo de estudio pudiera contribuir a entender y mejorar el manejo de las reservas forestales con menor grado de intervención en Venezuela (muchas ubicadas al sur del Orinoco), o en Latinoamérica, contribuyendo a prevenir su destrucción. Un análisis de escenarios más detallado, en un modelo como el presentado, puede llevar a la definición de políticas hacia una reserva forestal, al explorar situaciones como por ejemplo el efecto de penalizar a todos los colonos que ocupan terreno, o de penalizar a solo algunos que ocupan cantidades mayores a cierto umbral; el efecto de neutralizar al agente motivador; el efecto de penalizar a aquellos colonos que venden terreno; o, finalmente, el efecto de penalizar al controlador y a las concesionarias, cuando se desvían de su rol formal.

#### REFERENCIAS

Aicher C (2002) El Conocimiento Técnico-Forestal y sus Efectos en la Política Forestal en Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 46: 77-103.

Álvarez J (2005) *Modelo MultiAgente del Proceso de Ocupación de la Reserva Forestal de Caparo*. Proyecto de Grado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. (<http://cesimo.ing.ula.ve/simsocia/index.php/Main/Publicaciones>)

Bak P (1996) *How Nature Works: the Science of Self-Organized Criticality*. Copernicus Press. Nueva York, EEUU. 212 pp.

CFPM (2000) *Strictly Declarative Modelling Language*. Centre

for Policy Modelling. University of Manchester, RU. (<http://cfpm.org/sdml/>).

Cohen P (1985) *Heuristic Reasoning: An Artificial Intelligence Approach*. Pitman. Boston, MA, EEUU. 204 pp.

Conte R, Paolucci M (2001) Intelligent social learning. *J. Artif. Soc. Soc. Simul. Vol. 4 N° 1*. ([www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/1/3.html](http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/1/3.html))

FAO (2007) *La Situación de los Bosques del Mundo 2007*. ([www.fao.org/docrep/009/a0773s/a0773s00.HTM](http://www.fao.org/docrep/009/a0773s/a0773s00.HTM))

Gotts N, Dawn Parker D (2004a) Modelling size distributions of rural land holding in Scotland. *Proc. 2nd Int. Conf. European Social Simulation Association (ESSA' 04)*. Setiembre 16-19. Valladolid, Spain.

Gotts N, Dawn Parker D (2004b) Size distributions of land holding in an agent-based model of rural land use. *Proc. Agent 2004 Conf. on Social Dynamics*. Octubre 7-9. Chicago, IL, EEUU. (<http://agent2004.anl.gov/agenda2004.html>).

Gotts NM, Polhill JG, Law ANR, Izquierdo IR (2003) Dynamics of imitation in a land use simulation. *Proc. AISB '03 Second Int. Symp. on Imitation in Animals and Artifacts*. Abril 7-11. University of Wales, Aberystwyth, RU. pp. 39-46. ([www.macaulay.ac.uk/FEARLUS/FEARLUS-publications.html](http://www.macaulay.ac.uk/FEARLUS/FEARLUS-publications.html)).

Izquierdo IR, Gotts NM, Polhill JG (2003) FEARLUS-W: An agent-based model of river basin land use and water management. En *Framing Land Use Dynamics: Integrating Knowledge on Spatial Dynamics in Socio-Economic and Environmental Systems for Spatial Planning in Western Urbanized Countries*. April 16-18. Utrecht University. Holanda. ([www.macaulay.ac.uk/FEARLUS/FEARLUS-publications.html](http://www.macaulay.ac.uk/FEARLUS/FEARLUS-publications.html)).

Jaimes M (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. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. (<http://cesimo.ing.ula.ve/simsocia/index.php/Main/Publicaciones>).

Moss S (1995) Control metaphors in the modelling of decision-making behaviour. *Comput. Econ.* 8: 283-301.

Moss S, Edmonds B, Wallis S (2000) *The Power Law and Critical Density in Large*

*Multi-Agent Systems*. CPM Report N° 00-71. Manchester Metropolitan University, RU. (<http://cfpm.org/cpmrep71.html>).

Ostrom E (2000) *Gobierno de las Bienes Comunes, La Evolución de las Instituciones de Acción Colectiva*. Fondo de Cultura Económica. México. 394 pp.

Quintero N (2007) *Modelado MultiAgente del Proceso de Ocupación de las Reservas Forestales: Rol de las Concesionarias*. Proyecto de Grado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 173 pp. (<http://cesimo.ing.ula.ve/~oteran/TesisNorelki-Quintero.pdf>)

Ramírez-Angulo H (2008) En riesgo de perderse un esfuerzo sostenido de conservación de bosques de los Llanos Occidentales. *Rev. Forest. Venez.* 52: 5-6.

Rojas López J (1993), *La colonización agraria de las Reservas Forestales: ¿Un proceso sin solución? Cuadernos Geográficos N° 10*. Instituto de Geografía. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

Sánchez M (1989) *Situación Actual del Proceso de Ocupación de la Reserva Forestal en Caparo*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

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

Simon H (1984) *The Science of the Artificial*. MIT Press. Cambridge, MA, EEUU.

Terán O (2001) How nature works: The science of self-organised criticality. *J. Artif. Soc. Soc. Simul. Vol. 7 N° 4*. (<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/4/contents.html>).

Terán O, Álvarez J, Jaimes M, Ablán M (2005) Land occupation and land use change in a forest reserve: A MABS approach. *Proc. CABM-HEMA-SMAGET Joint Int. Conf. on Multi-Agent Modelling for Environment Management*. Marzo 21-25. Bourg Saint Maurice-Les Arcs, Francia.

Terán O, Álvarez J, Ablán M, Jaimes M (2007) Characterising emergence of landowners in a forest reserve. *J. Artif. Soc. Soc. Simul. Vol. 10 N° 3 6*. (<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/3/6.html>).