

A model of allocation, negotiation and redistribution of resources, based on intelligent agents

Un modelo de asignación, negociación y redistribución de recursos, basado en agentes inteligentes

Eduardo Véliz Quintero^{1*}, Carlos Jiménez Mosquera¹

¹Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería - El Politécnico. Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá, Quito, Ecuador.

*Autor principal/Corresponding author, e-mail: eduardo@eveliz.com

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 08/07/2014. Aceptado/Accepted: 19/10/2014.

Publicado en línea/Published on Web: 19/12/2014. Impreso/Printed: 19/12/2014.

Abstract

The present work is an application of artificial intelligence, based on intelligent agents, to simulate the allocation, negotiation and redistribution of financial resources by Central Government to autonomous decentralized municipal governments. The goal is to develop a model based on intelligent agents using Netlogo, that allow the distribution of resources to autonomous decentralized municipal governments based on social variables such as deficit of housing, access to services and/or poverty by unsatisfied basic needs.

Keywords. Artificial intelligence, intelligent agents, central government, autonomous decentralized, social variables, deficit of housing, access to services, poverty, unsatisfied basic needs, Netlogo.

Resumen

El presente trabajo es una aplicación de la inteligencia artificial, basado en Agentes Inteligentes, para simular la asignación, negociación y redistribución de recursos económicos por parte del Estado Central hacia los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. El objetivo es desarrollar un modelo basado en Agentes Inteligentes utilizando Netlogo, que permita realizar la distribución de los recursos hacia los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales sustentado en variables sociales tales como déficit de vivienda, acceso a servicios y/o pobreza por necesidades básicas insatisfechas.

Palabras Clave. Inteligencia artificial, agentes inteligentes, estado central, gobiernos autónomos descentralizados, variables sociales, déficit de vivienda, acceso a servicios, pobreza, necesidades básicas insatisfechas, Netlogo.

Introducción

Los Agentes Inteligentes

Un agente es cualquier ente capaz de percibir su medio ambiente mediante sensores y actuar en ese medio mediante actuadores [1], todo agente tiene una función u objetivo. Un agente muestra un alto grado de autonomía, realizando acciones basado en información recibida de su entorno mediante sensores [2]. Un ejemplo sencillo de comprender es un aire acondicionado automático que se enciende cuando sus sensores detectan que la temperatura ambiente es menor o mayor a la temperatura deseada.

Un agente inteligente es una entidad con una estructura interna especializada y una conducta flexible e indepen-

diente que podemos calificar como inteligente. Inicialmente, los agentes perciben su ambiente mediante sensores, cuentan con un “estado interno” que les permite recordar y relacionar lo percibido con ideas preconcebidas o conocimientos adquiridos, y toman decisiones y actúan sobre el ambiente, por medio de efectores (acciones) [1]. En muchas ocasiones, sus acciones están basadas en sus metas u objetivos, en función de los cuales tomara la “decisión más adecuada” dependiendo del conjunto de percepciones del ambiente.

Las acciones que puede tomar el agente se ven afectadas por las diferentes propiedades del ambiente, pudiendo ser este accesible, estático o dinámico, determinista, discreto o continuo, episódico. Los agentes poseen diversas propiedades según el propósito que deban alcan-

zar [3]:

- **Reactivo:** Responde inmediatamente a cambios en el ambiente.
- **Pro-Activo:** Debe ser capaz de intentar cumplir sus propios planes y objetivos a pesar de cambios en el ambiente.
- **Autónomo:** Tiene control sobre sus acciones, posee inteligencia para la toma de decisiones. Sus acciones son Orientadas al cumplimiento de metas y no actúa en respuesta al ambiente, sino que sigue un plan para alcanzar su propósito.
- **Comunicativo:** Tienen la habilidad de trabajar socialmente con otros agentes sociables para alcanzar un objetivo en común mucho más complejo.
- **Adaptativo:** Si puede cambiar su comportamiento basado en ese aprendizaje y a sus experiencias.
- **Flexible:** Sus acciones no están determinadas de ante mano.
- **Cooperativo:** Está dispuesto a colaborar con otros agentes si esto no entra en conflicto con sus propios objetivos.
- **Racional:** Siempre realiza lo “correcto” a partir de los datos que le llegan de su entorno.
- **Veracidad:** Agente que no comunica información falsa a propósito.

Según su clase, los agentes inteligentes pueden ser clasificados como [1]:

- **Agentes colaborativos:** Este tipo de agentes se enfatiza en la autonomía y las habilidades sociales con otros agentes para ejecutar las tareas de sus usuarios. Son capaces de actuar racionalmente y autónomamente en ambientes multiagente y con restricciones de recursos. A su vez, poseen habilidades sociales, son proactivos, benévolo, estáticos y veraces.
- **Agentes de Interface:** Los agentes de interfaz se enfatizan en la autonomía y la adaptabilidad para realizar tareas a sus usuarios. Este tipo de agentes básicamente presta soporte y asistencia a un usuario que está aprendiendo una nueva aplicación o nuevos conceptos.
- **Agentes móviles:** Estos agentes se enfatizan en las habilidades sociales y la autonomía, a diferencia de los agentes cooperativos, estos son móviles. Algunas de las ventajas que se pueden obtener al usar agentes móviles son la reducción del costo de comunicación, facilidad de coordinación, reducción de los recursos locales, etc.

- **Agentes de información:** Los agentes de información nacieron debido a la gran cantidad de herramientas que surgieron para el manejo y recuperación de información. Tienen los roles de manejar, manipular, e integrar información de muchas fuentes de datos distribuidas.

Los Sistemas Multiagentes

Los Sistemas Multiagentes cooperativos son una combinación de sistemas distribuidos e inteligencia artificial, y se conocen también como inteligencia artificial distribuida (IAD). Se divide en dos áreas que son los problemas de solución distribuida y los sistemas multiagentes (SMA). Los Sistemas Multiagentes (SMA) intentan lograr la cooperación de un conjunto de agentes autónomos para la realización de una tarea, la cual depende de las interacciones entre los agentes e incorpora tres elementos: la colaboración, la coordinación y la resolución de conflictos. En un entorno multiagente hay más de un agente interactuando entre ellos cumpliendo las reglas, y no necesariamente un agente conoce el estado interno de otro agente [2].

Se definen 3 tipos de aprendizaje [2]:

- **Supervisado:** El control provee el aprendizaje correcto.
- **Sin supervisión:** Se realiza sin contar con retroalimentación.
- **Basado en el reconocimiento:** El control provee la calidad.

En el aprendizaje en equipo, hay un solo estudiante, pero éste va descubriendo un conjunto de comportamientos para un equipo de agentes, en lugar de un solo agente. Esta noción es a menudo denominada complejidad emergente del sistema multiagente.

El aprendizaje en equipo es un método fácil de aprendizaje multiagente, ya que su único aprendiz puede utilizar técnicas de aprendizaje automático. Esto deja de lado las dificultades derivadas de la coadaptación de varios aprendices que más tarde se encontrarán en enfoques de aprendizaje concurrentes.

Otra ventaja es su preocupación por el rendimiento de todo el equipo, y no con la de los agentes individuales. Por esta razón, los enfoques de aprendizaje en equipo pueden pasar por alto en la asignación de beneficios a los agentes, que suele ser difícil de calcular.

Un problema del aprendizaje en equipo son los grandes tiempos para el proceso de aprendizaje y una segunda desventaja es la centralización del algoritmo de aprendizaje: todos los recursos tienen que estar disponibles en el lugar único que se realizan todos los cálculos.

Este aprendizaje en equipo se puede dividir en tres categorías [1]:

- **Aprendizaje Homogéneo en Equipo.-** Todos los agentes tienen comportamientos idénticos, a pesar de no ser idénticos, es decir diferentes agentes pueden tomar una cantidad diferente de tiempo para completar la misma tarea. Debido a que todos los agentes tienen el mismo comportamiento, el espacio de búsqueda para el proceso de aprendizaje se reduce drásticamente. La idoneidad de aprendizaje homogéneo depende del problema: algunos problemas no requieren agentes especializados para lograr un buen rendimiento.
- **Aprendizaje Heterogéneo en Equipo.-** En el aprendizaje heterogéneo en equipo, el equipo se compone de agentes con diferentes comportamientos, con un solo aprendiz tratando de mejorar el equipo en su conjunto. Este enfoque permite una mayor diversidad en el equipo y aumentar el espacio de búsqueda. Para dominios de problemas que tienen un gran número de agentes como enjambres, la búsqueda del espacio es demasiado grande para utilizar el aprendizaje heterogéneo, aunque la heterogeneidad en última instancia permite obtener los mejores resultados.
- **Aprendizaje Híbrido en Equipo.-** En el aprendizaje híbrido del equipo, el conjunto de los agentes se divide en varias escuadras, con cada agente perteneciendo a un solo equipo. Todo agente de un escuadrón tiene el mismo comportamiento. Un extremo es tener un solo equipo, lo cual es equivalente a utilizar un aprendizaje en equipo homogéneo, mientras que el otro extremo es tener un agente por cada equipo, que es equivalente a utilizar aprendizaje en equipo heterogéneo. El aprendizaje híbrido del equipo permite lograr algunas de las ventajas de cada método.

Aprendizaje concurrente

La alternativa más común de equipo de aprendizaje en sistemas multiagentes cooperativos es el aprendizaje simultáneo, donde múltiples procesos de aprendizaje intentan mejorar partes del equipo. Por lo general cada agente tiene su propio proceso único de aprendizaje para modificar su comportamiento. Tanto el aprendizaje concurrente como el aprendizaje en equipo tienen sus ventajas y desventajas [1, 2].

La ventaja principal es que el problema se puede descomponer para permitir comportamientos de agentes individuales relativamente disjuntos, entonces puede resultar en una reducción dramática del espacio de búsqueda y en la complejidad computacional. Una segunda ventaja, es la ruptura del proceso de aprendizaje en pedazos más pequeños que permiten una mayor flexibilidad en el uso de recursos computacionales para aprender cada proceso, ya que aprende independientemente uno de otro.

El desafío central para el aprendizaje concurrente es que cada alumno adaptan sus comportamientos en el contexto del otro, coadaptando los alumnos sobre los que no tiene control.

Asignación de Prestigio

Cuando se trabaja con múltiples aprendices, se debe repartir la recompensa de prestigio o beneficios a través de las acciones conjuntas. La solución más sencilla es dividir la recompensa por igual entre cada uno de los aprendices. Este enfoque de asignación de crédito por lo general se denomina recompensa global [2].

Sin embargo hay situaciones en las que podría ser deseable asignar prestigio de una manera diferente, ya que es más útil recompensar especialmente a aquellos aprendices que realizaron la tarea o cumplieron sus acciones, y castigar a otros por pereza.

Un escenario completamente cooperativo emplea un programa de beneficios global para repartir en partes iguales entre todos los agentes. Después de cada interacción, cada agente puede recibir alguna recompensa o castigo. Los refuerzos para las interacciones son independientes de cualquier interacción anterior.

La asignación de incentivos compartidos de manera desigual puede resultar distinto del incentivo de aumento de la recompensa de todos sus compañeros de equipo, y puede crear escenarios no cooperativos.

El modelado de compañero de equipo consiste en aprender acerca de otros agentes del entorno, a fin de hacer buenas conjeturas de su comportamiento esperado, y actuar en consecuencia.

La dinámica del aprendizaje

Al aplicar experimentos con aprendizaje de un solo agente para entornos estacionarios, los agentes con diferentes comportamientos esperan descubrir un comportamiento óptimo a nivel general. En entornos dinámicos, el agente trata de mantenerse actualizado a los cambios y en constante seguimiento del comportamiento óptimo [2].

Es más complicado en los sistemas multiagente, donde los agentes pueden cambiar de forma adaptativa los entornos de aprendizaje de los demás. La gama de herramientas para modelar y analizar la dinámica de los aprendices concurrentes es muy limitada, muchas son especializadas solo para algunos métodos de aprendizaje, y sólo unas pocas ofrecen un marco común para múltiples técnicas de aprendizaje.

Aprendizaje y comunicación

Para algunos problemas la comunicación es una necesidad, mientras que para otros la comunicación puede aumentar el rendimiento del agente. Definimos la comunicación como la alteración de la situación del entorno tal que otros agentes puedan percibir la modificación y decodificar la información.



Figura 1: Agente Inteligente del Estado Central



Figura 2: Agente Inteligente de los Municipios

Entre otras razones, los agentes se comunican con el fin de coordinar de forma más efectiva y para aprender soluciones parciales el uno del otro.

- **Comunicación Directa.-** Muchas de las técnicas emplean comunicación entre los agentes, lo cual permite compartir información entre sí [2]. La comunicación directa consiste en la emisión de mensajes entre los agentes que son entendibles para ambos en un mismo protocolo, y puede estar limitada en términos de rendimiento, latencia, localidad, clase de agente.
- **Comunicación Indirecta.-** Definimos métodos de comunicación indirectos como los que implican la transferencia implícita de información entre agentes a través de la modificación del entorno. La comunicación indirecta incluye: huellas en la nieve, rastro de migas, feromonas y sugerencias a través de la colocación de objetos en el entorno[2].

El trabajo conjunto de los agentes multiagentes en una tarea grande que puede ser abrumadora. Una manera de hacer frente a esto es usar el conocimiento del dominio para simplificar el espacio de estados, a menudo proporcionando un conjunto más pequeño de acciones más

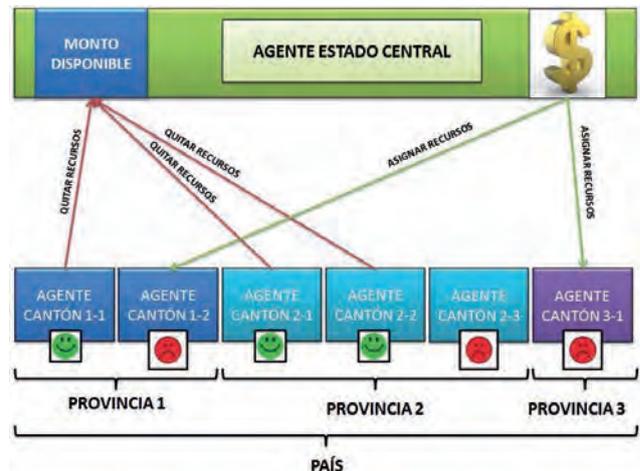


Figura 3: Relación entre el Agente Estado y los Agentes Municipios

poderosos hechas a medida para el dominio del problema.

Aplicaciones de los agentes inteligentes

- **Agentes con cuerpo.-** Búsqueda de alimento, robots para movimiento de cajas, fútbol robótico, navegación cooperativa, observación cooperativa del destino, reunión de robots [1, 4].
- **Entornos de teoría de juegos.-** Juegos de coordinación, dilemas sociales.
- **Aplicaciones del mundo real.-** Monitoreo distribuido de vehículos, control de tráfico aéreo, administración de redes y rutas, administración de distribución de energía eléctrica, supervisión médica, asistencia financiera, cadenas productivas, problemas de jerarquía de sistemas multiagentes, modelos de interacción social, asignación de horarios y tareas.

Aplicaciones

Para aplicar la teoría de agentes inteligentes en la asignación, negociación y redistribución de los recursos que el Estado Central otorga a los gobiernos municipales, debemos definir adecuadamente los dos tipos de agentes involucrados: agente Estado Central y agentes Gobiernos Municipales. La figura 1 muestra la estructura del agente Estado Central, mientras que la figura 2 muestra la estructura de los agentes Gobiernos Municipales:

Adicionalmente es necesario explicar la interacción entre los Gobiernos Municipales y el Estado Central, así como la relación que existe entre ellos. La figura 3 muestra la relación e interacción entre el agente Gobierno Central y los agentes Gobiernos Municipales.

El Aplicativo en NetLogo

El Aplicativo está desarrollado en el lenguaje NetLogo [4], el mismo que contiene un mapa del Ecuador, donde se muestra el estado de cada municipio. En la parte izquierda se encuentran los botones que dan paso al

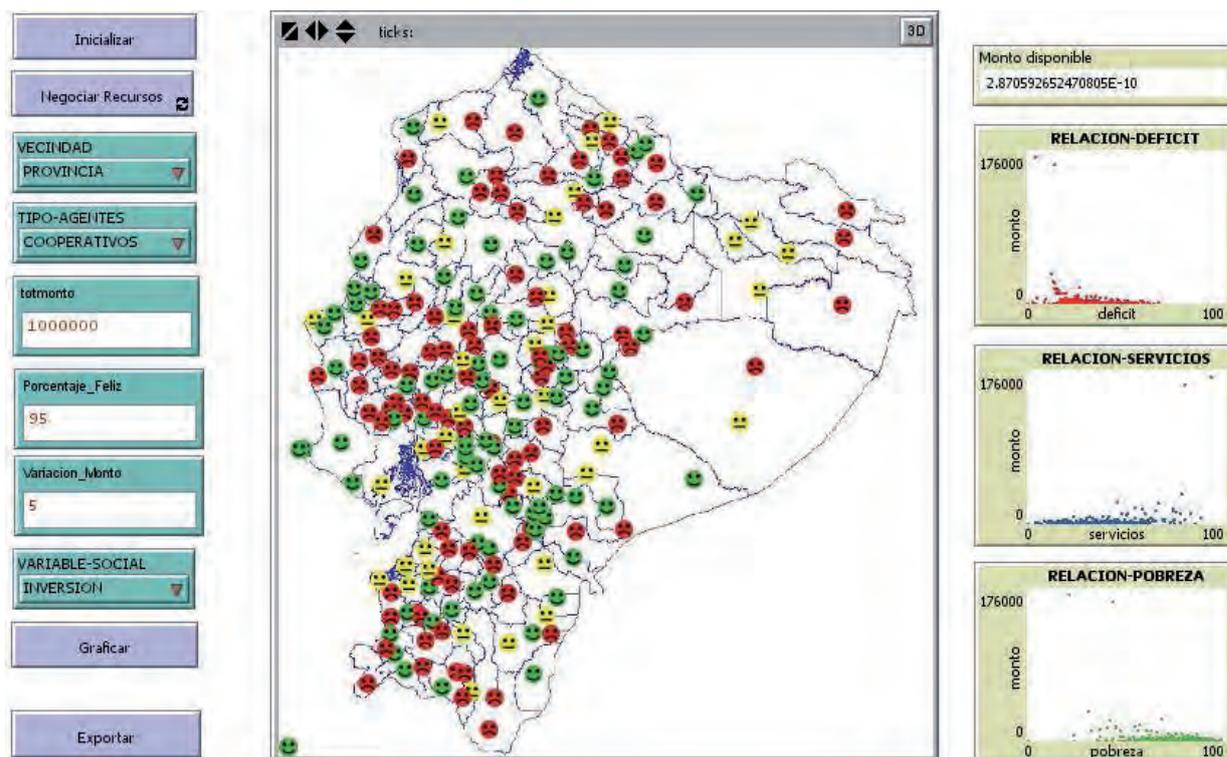


Figura 4: Ambiente de Simulación

llamado de las funciones: inicializar, negociar recursos, graficar y exportar los datos.

Adicionalmente se encuentran como selectores: La vecindad y el tipo de agentes. Finalmente se encuentran tres cuadros de ingreso de texto, donde se incluyen los recursos que se asignarán, el porcentaje de municipios que deben estar satisfechos para que converja, y el porcentaje que se retira a los municipios felices para volver a repartir a los que no están felices.

Del lado derecho, encontramos un monitor de texto que muestra el monto disponible, luego encontramos 3 gráficos pequeños que muestran la relación entre el monto asignado y las variables sociales utilizadas. Además un gráfico más grande que muestra las series del número de cantones según su estado. Es fácil visualizar que este gráfico mantiene correspondencia con los colores del mapa. (Ver Figura 4).

Lo primero que haremos es plantear un nuevo agente denominado cantón, y hacemos que el grupo de todos los agentes se denomine cantones. A estos cantones los dotamos de características internas propias: pobreza, déficit de vivienda, acceso a servicios, número de viviendas.

Entonces, puesto que deseamos que la simulación realizada nos ofrezca la información necesaria para tomar decisiones, basamos la simulación en cifras obtenidas del Censo de Población y Vivienda 2010 a nivel de cantones.

Se plantea que se ingrese el monto de recursos económicos que se asignarán, se selecciona el tipo de vecindad entre provincia y país, y se plantea que se elija si los agentes son de tipo competitivo o cooperativo.

Si se elige que la vecindad sea el país, cada agente se comparará de acuerdo a las variables sociales con los demás del país, mientras que si se elige provincia, la comparación se realizará entre cantones de la misma provincia.

Si los agentes son de tipo competitivo, cada agente desea su propio bienestar, mientras que los agentes de tipo cooperativo manifiestan su inconformidad si considera que se le han asignado más recursos que lo que cree que se merece.

Adicionalmente el aplicativo muestra el diagrama de puntos de las variables de pobreza vs. monto asignado, déficit de vivienda vs. monto asignado, acceso a servicios vs. monto asignado, y grafica la serie del número de cantones que están satisfechos o insatisfechos. En el mapa también es posible observar la distribución territorial de las variables sociales, considerando tres categorías o estados que toman los agentes.

Los Estados de los Agentes

Los Estados que toman los agentes inteligentes dependen de las comparaciones que el agente realiza [1], acerca de cómo se percibe así mismo y cómo percibe sus vecinos, con respecto a alguna variable en particular. Para ello comparamos el valor que posee dicho agente, con el valor promedio de acuerdo con la vecindad elegida. En el caso particular en que se grafican los estados de las variables sociales utilizadas por sí mismas, se utilizan las categorías mostradas en la tabla 1.

Al llevar a cabo la simulación deseada, el agente que representa el Gobierno Autónomo Descentralizado Muni-

Variable	Estado	Inferior	Superior
Déficit de Vivienda	Contento	0	30
	Neutral	30	50
	Descontento	50	100
Acceso a Servicios	Contento	70	100
	Neutral	40	70
	Descontento	0	40
Necesidades Básicas Insatisfechas	Contento	0	40
	Neutral	40	70
	Descontento	70	100

Tabla 1: Rangos de los Estados (categorías) de las variables sociales utilizadas.

principal, utiliza una variable social (aunque podría tomarse un conjunto de variables en una función o modelo), la cual es utilizada para compararse con sus vecinos (otros cantones o municipios). En este caso, una vez que se ha elegido la vecindad que se utilizará (a nivel nacional o provincial), aunque podría ser una vecindad zonal o regional, o simplemente mediante vecinos geográficos, sin importar si pertenecen o no a la misma provincia.

De este modo, las variables sociales juegan un rol muy importante en la simulación de agentes planteada[5], y que identifican a un municipio asignándole un valor que permitirá su comparación con otros agentes.

Es importante señalar que el estado del agente cambia de acuerdo con las reglas, y posteriormente influye en la redistribución de los recursos si considera que se le quitarán recursos a los agentes con estado contento y se asignarán entre los agentes con estado descontento [6].

Los tres estados utilizados son: Contento, Descontento y Neutral. Cuando el tipo de agentes que se utiliza son competitivos, aparecen solamente dos estados: Contento - Si el agente está satisfecho con los recursos recibidos, y Descontento - Si el agente considera que no está satisfecho con los recursos que le fueron asignados.

De la misma manera al utilizar los agentes de tipo cooperativo, pero aparece un tercer estado, en el cual cada agente puede considerar que los recursos que se le han asignado son más que los necesarios, y que hay otros agentes que necesitan más recursos.

Las Reglas de comparación y transición

Las principales reglas que se utilizan en la presente simulación a fin de lograr una transición de los estados de todos los agentes son las siguientes:

Sea M_i : El monto de recursos económicos asignado al agente (cantón) i .

Sea X_i : El valor que toma la variable social del agente (cantón) i .

Sea \bar{M} : El monto de recursos económicos que tiene en promedio de la vecindad.

Sea \bar{X} : El valor promedio que toma la variable social en la vecindad.

Si $X_i < \bar{X}$ y $M_i < \bar{M} \Rightarrow E_i = -1$ (Descontento).

Si $X_i < \bar{X}$ y $M_i \geq \bar{M} \Rightarrow E_i = +1$ (Contento).

Si $X_i \geq \bar{X}$ y $M_i \geq \bar{M} \Rightarrow E_i = 0$ (Neutral).

Se observan 3 reglas básicas que de manera clara permiten tomar decisiones a los agentes acerca de su estado de ánimo. Para el caso particular de nuestra simulación estas 3 reglas son aplicadas a cada una de las variables sociales utilizadas: Pobreza, Déficit de Vivienda, Acceso a Servicios de Agua y Alcantarillado. De este modo tenemos un total de 9 reglas de transición para los agentes.

Para el modelo de simulación utilizado, cada agente se aferra a una de las variables sociales, sin embargo, podrían establecerse dos variantes en la simulación: la primera variante consiste en utilizar una combinación de las variables sociales en lugar de una sola variable, y la segunda variante es que el agente no se aferra a dicha variable, sino que en cada iteración pueda cambiar la variable mediante la cual realiza sus comparaciones, o pueda elegir otra combinación de las mismas.

Algoritmo

El algoritmo básico que se ejecuta en un sistema Multiagentes con aprendizaje supervisado para la presente negociación, mientras no haya convergencia o un punto de parada, considera para cada agente:

- El análisis de la percepción que éste tiene sobre su entorno y de otros agentes y sobre sí mismo.
- La comparación de sí mismo con otros agentes.
- El estado de ánimo del agente luego de compararse.

En este sentido, se ha considerado el siguiente algoritmo:

```

Sea Monto: el Monto total Disponible.
Sea n: el número de cantones.
Sea m: el número de variables.
Sea  $C_i$ : el  $i$ -ésimo Cantón.
Sea  $E_i$ : el Estado anímico del Cantón  $i$ .
Sea P: la población total del País.
Sea  $P_i$ : la población del Cantón  $C_i$ .
Sea  $C_{ij}$ : el valor que toma  $j$ -ésima variable en el  $i$ -ésimo Cantón
Sea  $M_i$ : el monto asignado al Cantón  $i$ .
Sea  $r$ : la variable a la que se aferra el Cantón  $C_i$ 
La  $j$ -ésima variable es una variable social, o la DPA o los montos iniciales asignados.
INICIALIZAR LOS CANTONES
Para  $i \leftarrow 1$  a  $n$ 
  Para  $j \leftarrow 1$  a  $m$ 
     $C_{ij} \leftarrow CPV2010_{(i,j)}$  // Valor del Censo 2010
  Fin_para
   $M_i \leftarrow Monto * P_i / P$  // La asignación inicial se realiza por el tamaño de la población
   $Monto \leftarrow Monto - M_i$ 
   $r \leftarrow j / \min(C_{ij})$  // Se aferra a la variable que más lo representa.
Fin_Para
CONVERGENCIA
CALCULAR SI EXISTE CONVERGENCIA
 $cont \leftarrow 0$ 
Para  $k \leftarrow 1$  a  $n$ 
  Si  $(E_k = 1)$  entonces // Estado contento es 1
     $cont \leftarrow cont + 1$ 
  Fin_Si
Fin_Para
Si  $(cont/n \geq 0,95)$  entonces
   $Converge \leftarrow Verdadero$ 
Sino
   $Converge \leftarrow Falso$ 
Fin_si

```

COMPARA SI HA CONVERGIDO Y REALIZA LAS ACCIONES

Mientras (Converge = Falso) hacer

COMPARARSE CON OTROS CANTONES RESPECTO A LA VARIABLE Y AL MONTO ASIGNADOPara $i \leftarrow 1an$ **DESCONTO SI EL AGENTE PERCIBE QUE HA RECIBIDO****POCO**Si $(C_{ij} < \bar{C}_r) \wedge (M_i < \bar{M})$ entonces $E_i \leftarrow -1$ //Estado descontento

Fin_Si

CONTENTO SI EL AGENTE PERCIBE QUE HA RECIBIDO**SUFICIENTE** Si $(C_{ij} < \bar{C}_r) \wedge (M_i \geq \bar{M})$ entonces $E_i \leftarrow +1$ //Estado contento

Fin_Si

NEUTRAL SI EL AGENTE PERCIBE QUE OTRO DEBÍA RECIBIR**MÁS AUNQUE PARA SÍ MISMO ES SUFICIENTE**Si $(C_{ij} > \bar{C}_r) \wedge (M_i \geq \bar{M})$ entonces $E_i \leftarrow 0$ //Estado neutral

Fin_Si

Fin_Para

QUITAR RECURSOS A LOS CONTENTOS Para $i \leftarrow 1an$ Si $(E_i \neq -1)$ entonces $Monto \leftarrow Monto + 0,01 * M_i$ $M_i \leftarrow M_i - 0,01 * M_i$ //0,01 es un porcentaje que podría variar

Fin_Si

Fin_Para

REDISTRIBUIR LOS RECURSOS A LOS DESCONTENTOS Para $i \leftarrow 1an$ Si $(E_i = -1)$ entonces $M_i \leftarrow M_i + Monto * C_{ir}/C_r$ $Monto \leftarrow Monto - Monto * C_{ir}/C_r$

Fin_Si

Fin_Para

Fin_Mientras

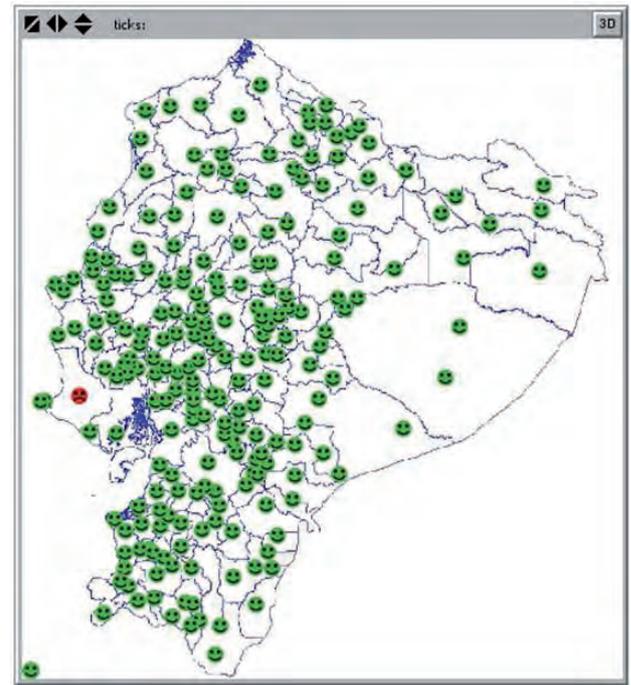


Figura 5: Resultados de una corrida del escenario 1

- Simulación con el Escenario 1: Vecindad Provincia y Agentes Competitivos.
- Simulación con el Escenario 2: Vecindad Provincia y Agentes Cooperativos

La negociación se da al compararse con otros cantones mostrando su descontento, y posteriormente al redistribuirse los recursos. Es importante destacar que al compararse afecta el hecho que la vecindad elegida sean todos los cantones del país o sean los cantones de la provincia.

Adicionalmente se debe destacar que cuando se elige el tipo de agentes cooperativos, el algoritmo se modifica con un estado adicional, este estado adicional indica que al cantón se le ha entregado más recursos de los que el agente considera que merece.

Resultados

Consideraciones Generales

Para todas las simulaciones que se realizan en el presente documento, se asigna desde el Estado Central hacia los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 1 millón de dólares. Se considera una convergencia de al menos 95 % de municipios satisfechos, y el monto asignado a los municipios satisfechos se disminuye en un 5 % para volver a asignarlo a los municipios que no están satisfechos.

Para cada simulación se realiza el ejercicio 5 veces con cada escenario o configuración de los parámetros, y luego de ello se muestra una tabulación de los promedios de los resultados obtenidos:

- Simulación con el Escenario 1: Vecindad País y Agentes Competitivos.
- Simulación con el Escenario 2: Vecindad País y Agentes Cooperativos

Simulación con el Escenario 1: Vecindad País y Agentes Competitivos

Como se observa en la figura 5, al final de la simulación se observa que casi todos los municipios se encuentran contentos o satisfechos.

La figura 6 muestra que la simulación se realizó en 15 iteraciones hasta obtener la convergencia.

Como se observa en la figura 7, Los montos mayores de asignación se asignan en los municipios que tienen



Figura 6: Curva de convergencia hacia la satisfacción con el escenario 1

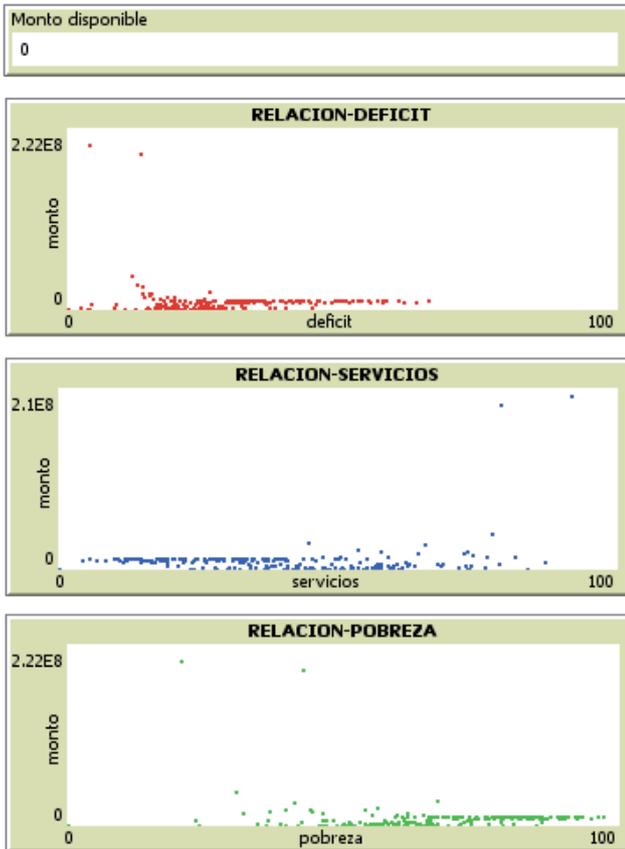


Figura 7: Relación de la asignación de recursos con las variables sociales

menor acceso a servicios, mayor déficit y mayor pobreza. Se observa también que dos municipios reciben una cantidad mayor de recursos de manera atípica, alrededor de 85.000.

Resumen de las corridas del escenario 1

Luego de haber realizado cinco corridas del escenario 1: vecindad País con agentes competitivos, se comprueba la aleatoriedad en las simulaciones de negociación realizadas, en este punto es necesario recordar que el agente eligió aleatoriamente una de las variables sociales, con la que se siente identificado, y a partir de dicha variable realizó las negociaciones.

Es importante observar que en el escenario 1 siempre hubo convergencia, el número de iteraciones realizadas hasta lograr la convergencia mostro como mínimo 13 y como máximo 15 iteraciones. Obsérvese también que los recursos asignados en todos los casos están correlacionados con todas las variables sociales, a pesar que cada municipio se aferra únicamente a una de las variables sociales, lo que significa que las variables sociales están altamente correlacionadas.

El número de municipios descontentos en cada una de las corridas fue de: 1, 10, 2, 2, 11 respectivamente. Dando en promedio 5.6 municipios descontentos. Lo que en promedio nos da un 2.3 % de municipios descontentos.

En general los recursos comienzan a repartirse de manera equitativa con respecto a las variables sociales asociadas, pero en dos municipios con alto nivel de población

predomina la misma, incluso antes que las variables sociales. Se asigna alrededor de un 10 % de los recursos a Guayaquil, un 8 % a Quito y el 82 % es repartido entre el resto del País.

Simulación con el Escenario 2: Vecindad País y Agentes Cooperativos

Como se observa en la figura 8, al final de la simulación casi todos los municipios se encuentran contentos o satisfechos, excepto un 5 %.

La figura 9 muestra que la simulación se realizó en 11 iteraciones hasta obtener la convergencia.

Adicionalmente, la figura 10 muestra que los montos mayores de asignación se asignan en los municipios que tienen mayor déficit de vivienda y mayor pobreza. Se observa también que dos municipios reciben una cantidad mayor de recursos de manera atípica, alrededor de 100.000.

Resumen de las corridas del escenario 2

Luego de haber realizado cinco corridas del escenario 2: vecindad País con agentes cooperativos, se comprueba la aleatoriedad en las simulaciones de negociación realizadas, en este punto es necesario recordar que el agente eligió aleatoriamente una de las variables sociales con la cual se siente identificado y a partir de dicha variable realizó las negociaciones. Adicionalmente, los agentes que consideran haber recibido de más están dispuestos a dar recursos a otros.

Es importante observar que en el escenario 2 siempre hubo convergencia, el número mínimo de iteraciones realizadas fue 10 y el máximo fue 14 iteraciones. Obsérvese también que los recursos asignados en todos los

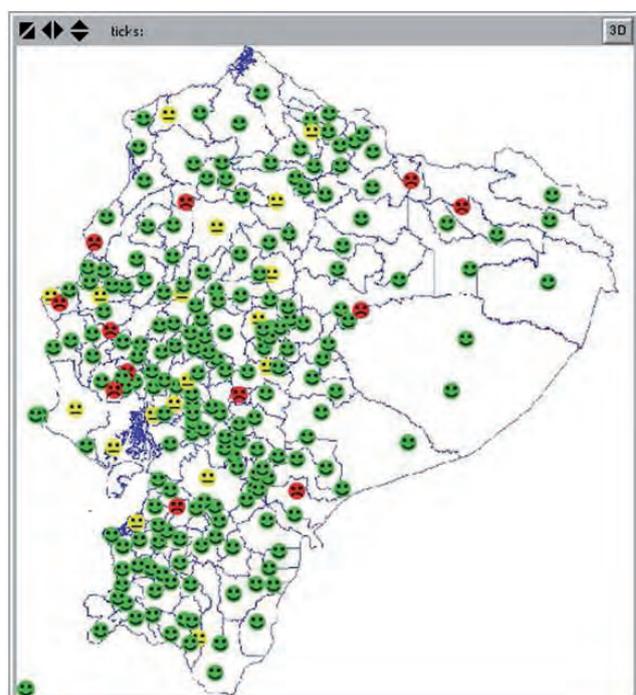


Figura 8: Resultados de una corrida del escenario 2



Figura 9: Curva de convergencia hacia la satisfacción con el escenario 2

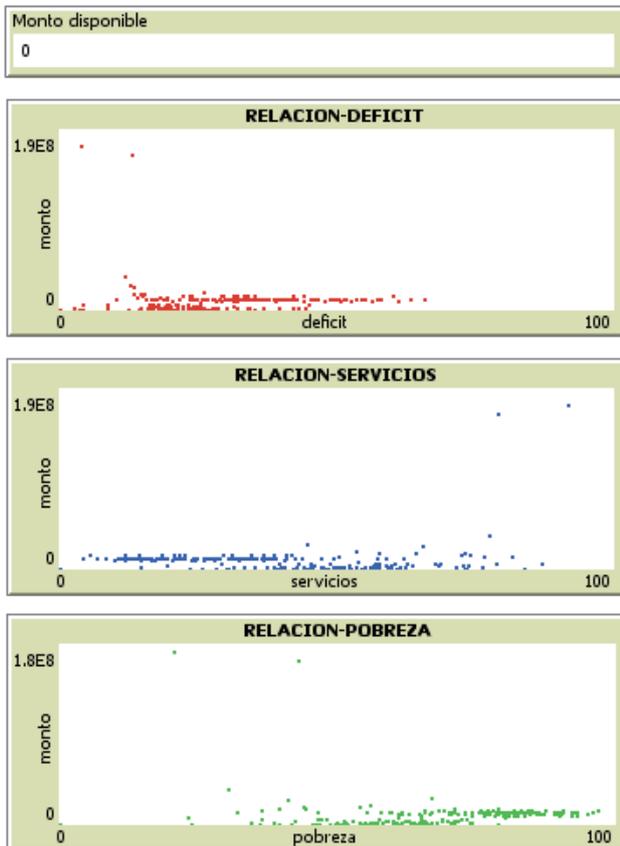


Figura 10: Relación de la asignación de recursos con las variables sociales

casos están altamente correlacionados con todas las variables sociales, a pesar que cada municipio se aferra únicamente a una de las variables sociales, lo que significa que las variables sociales están altamente correlacionadas.

El número de municipios descontentos en cada una de las corridas fue de: 5, 0, 2, 10 y 5 respectivamente. Dando en promedio 4.4 municipios descontentos. Lo que en promedio nos da un 1.9 % de municipios descontentos. Aspecto que mejora con relación a lo sucedido en el escenario 1.

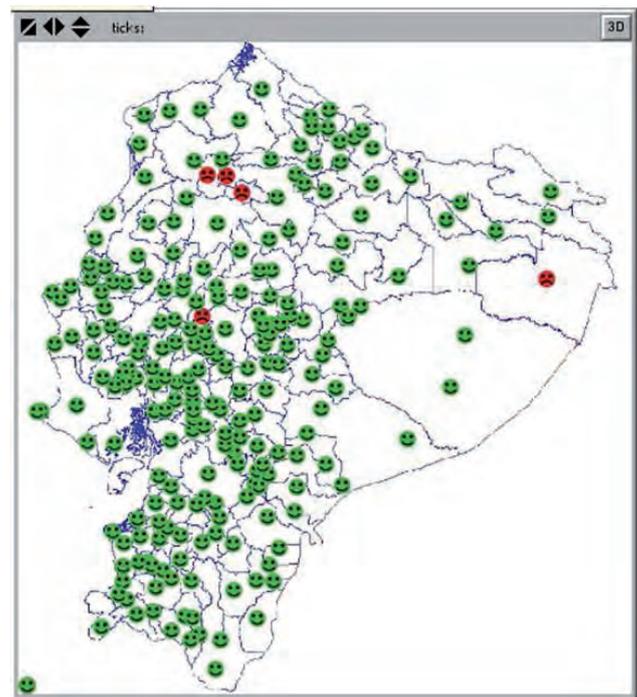


Figura 11: Resultados de una corrida del escenario 3

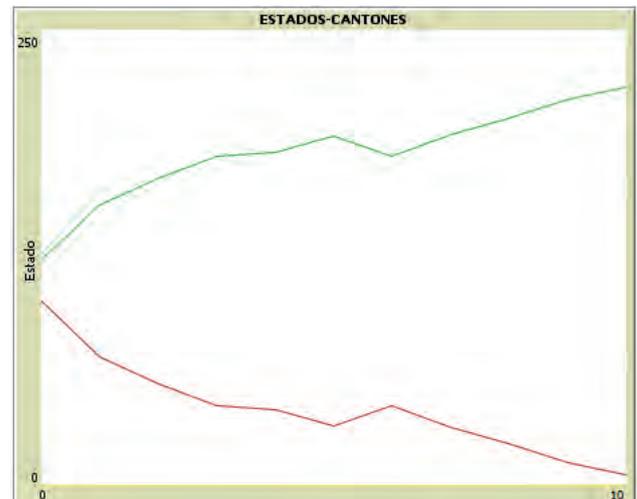


Figura 12: Curva de convergencia hacia la satisfacción con el escenario 3

Simulación con el Escenario 3: Vecindad Provincia y Agentes Competitivos

Como se observa en la figura 11, al final de la simulación casi todos los municipios se encuentran contentos o satisfechos, excepto 5 municipios.

La figura 12 muestra que la simulación se realizó en 10 iteraciones hasta obtener la convergencia.

Adicionalmente, la figura 13 muestra que los montos mayores de asignación se asignan en los municipios que tienen menor acceso a servicios y mayor pobreza. Se observa también que dos municipios reciben una cantidad mayor de recursos de manera atípica, alrededor de 75.000.

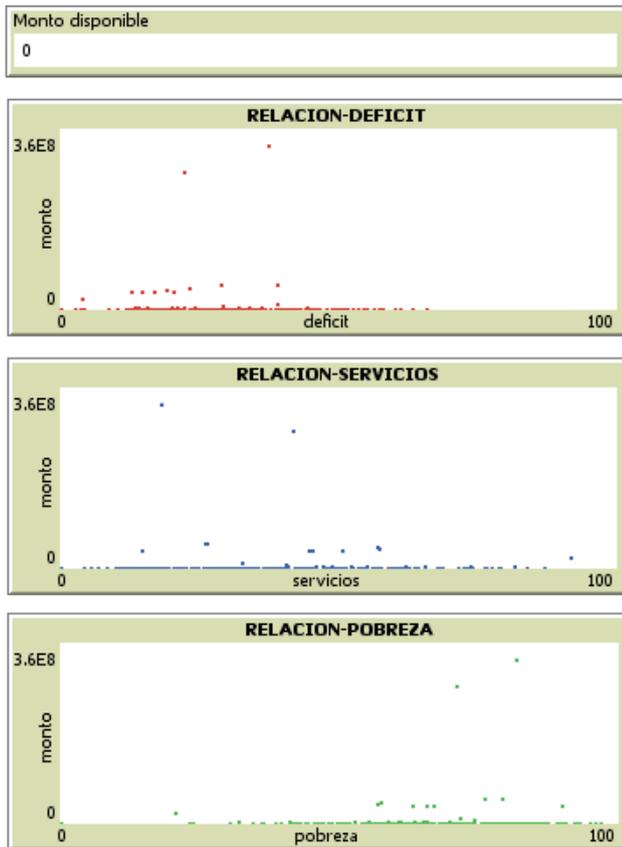


Figura 13: Relación de la asignación de recursos con las variables sociales

Resumen de las corridas del escenario 3

Luego de haber realizado cinco corridas del escenario 3: vecindad Provincia con agentes competitivos, se comprueba la aleatoriedad en las simulaciones de negociación realizadas, en este punto es necesario recordar que el agente eligió aleatoriamente una de las variables sociales con la cual se siente identificado y a partir de dicha variable realizó las negociaciones. Adicionalmente, los agentes se comparan solamente con los cantones ubicados dentro de su misma provincia.

Es importante observar que en el escenario 3 siempre hubo convergencia, el número mínimo de iteraciones realizadas fue 10 y el máximo fue 15 iteraciones. Obsérvese también que los recursos asignados en todos los casos están altamente corelacionados con todas las variables sociales, a pesar que cada municipio se aferra únicamente a una de las variables sociales, lo que significa que las variables sociales están altamente corelacionadas.

El número de municipios descontentos en cada una de las corridas fue de: 5, 10, 12, 11 y 10 respectivamente. Dando en promedio 9.6 municipios descontentos, lo que en promedio nos da un 4.2 % de municipios descontentos. Que se encuentra por debajo del 5 % planteado.

Simulación con el Escenario 4: Vecindad Provincia y Agentes Cooperativos

Como se observa en la figura 14, al final de la simulación casi todos los municipios se encuentran contentos

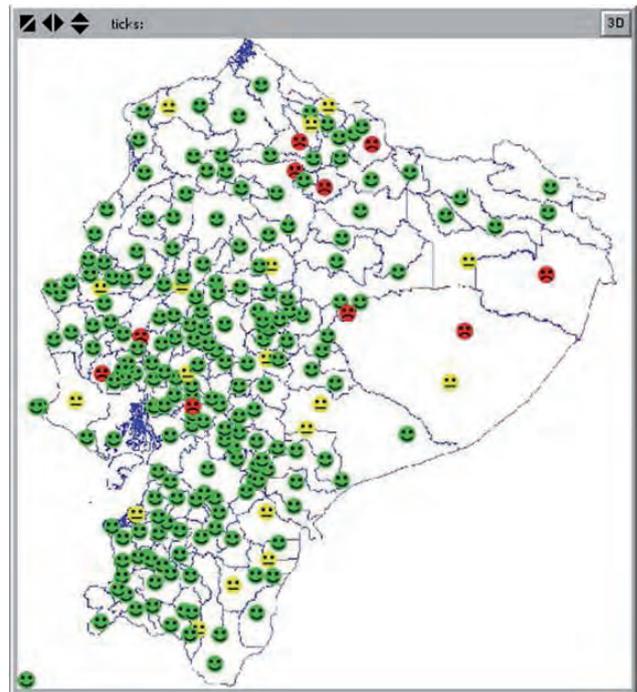


Figura 14: Resultados de una corrida del escenario 4

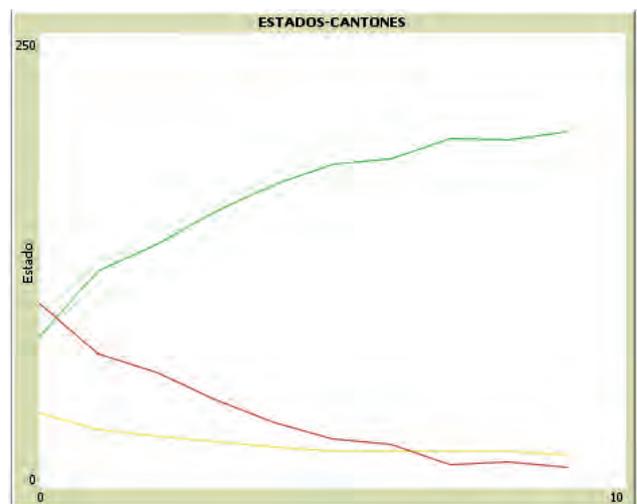


Figura 15: Curva de convergencia hacia la satisfacción con el escenario 4

o satisfechos, excepto un 5 %.

La figura 15 muestra que la simulación se realizó en 9 iteraciones hasta obtener la convergencia.

Adicionalmente, la figura 16 muestra que los montos mayores de asignación se asignan en los municipios que tienen menor acceso a servicios y mayor pobreza. Se observa también que dos municipios reciben una cantidad mayor de recursos de manera atípica, alrededor de 25.000.

Resumen de las corridas del escenario 4

Luego de haber realizado cinco corridas del escenario 4: vecindad Provincia con agentes cooperativos, se comprueba la aleatoriedad en las simulaciones de negociación realizadas, en este punto es necesario recordar que

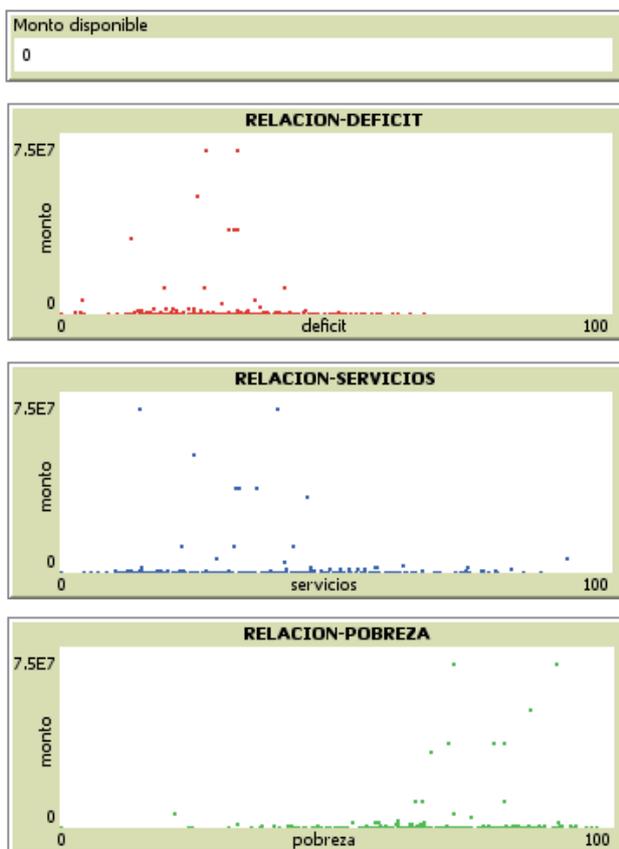


Figura 16: Relación de la asignación de recursos con las variables sociales

el agente eligió aleatoriamente una de las variables sociales, con la que se siente identificado, y a partir de dicha variable realizó las negociaciones.

Adicionalmente en este escenario las comparaciones se hicieron con los municipios de la misma provincia, y los agentes que consideraban que habían recibido más recursos que los que necesitaban manifestaron su descontento neutral.

Es importante observar que en el escenario 4 siempre hubo convergencia, el número de iteraciones realizadas hasta lograr la convergencia mostro como mínimo 8 y como máximo 16 iteraciones. Obsérvese también que los recursos asignados en todos los casos están correlacionados con al menos una de las variables sociales.

El número de municipios descontentos en cada una de las corridas fue de: 10, 10, 11, 11, 11 respectivamente. Dando en promedio 10.6 municipios descontentos, lo que en promedio nos da un 4.7 % de municipios descontentos.

Utilizando estos parámetros, la simulación utiliza la población de la provincia para asignar los recursos, y luego se reparten entre los municipios de dicha provincia con respecto a las necesidades expresadas en las variables sociales.

Conclusiones

- La asignación de recursos con equidad y satisfacción de todos los involucrados puede lograrse me-

diante la aplicación de una simulación con agentes inteligentes que tengan metas definidas, intereses comunes y capacidad de negociación.

- El lenguaje NetLogo presenta un ambiente apropiado de programación orientada a agentes inteligentes, permitiendo simular agentes que pueden tomar decisiones a partir de lo que perciben en otros agentes y en el mundo que se desarrolla la simulación.
- Se observa que la vecindad elegida para comparaciones y negociaciones afecta en los resultados obtenidos tanto en cantidad de iteraciones como en número de municipios descontentos en promedio, los tiempos de convergencia y la asignación de recursos.
- El tipo de agentes utilizados en la simulación (cooperativos o competitivos) también afecta en los resultados obtenidos, pero se observa que el estado descontento neutral, decrece rápidamente (amarillo) a pesar que considera que recibe más recursos de los esperados, ya que en todas las simulaciones se reduce a menos del 10 % (18 en promedio).
- La distribución de los recursos asignados al inicio de la simulación guarda relación con los el tamaño de la población, pero luego de las iteraciones hay una adaptación dirigida hacia las variables sociales, tal como se muestra en cada una de las corridas realizadas en los diferentes escenarios de simulación.
- La distribución de recursos más adecuada según la teoría se realizaría con vecindad provincial y con agentes de tipo cooperativos, pues, se observa que con esta definición de parámetros, los valores atípicos decrecen de forma notable, lo que significa que hubo mayor equidad en la distribución de los recursos.

Referencias

- [1] Mas, A. 2005. "Agentes software y sistemas multiagente: conceptos, arquitecturas y aplicaciones". *Prentice-Hall. 1a. Edición. Madrid-España.*
- [2] Panait, L.; Luke, S. 2005. "Cooperative multi-agent learning: The state of the art". *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. Kluwer Academic Publishers, 11(3):387-434.*
- [3] Gilbert, N.; Troitzsch, K. 2014. "Simulation For The Social Scientist". *Open University Press. 2a. Edición. Berkshire-Inglaterra.*
- [4] Russell, J.; Cohn, R. 2012. "Netlogo". *Book on Demand. 1a. Edición. Madrid-España.*
- [5] Lahoz-Beltra, R. 2004. "Simulación, vida artificial e inteligencia artificial". *Ediciones Díaz de Santos. 1a. Edición. Madrid-España.*

- [6] Toffoli, T.; Margolus, N. 1987. “Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling (Scientific Computation)”. *The MIT Press. 1a. Edición. Massachusetts.*