

# DISEÑO DE UNA SOCIEDAD ARTIFICIAL PARA ESTUDIAR LA MIGRACIÓN FORZADA POR CONFLICTO ARMADO INTERNO EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO

Rafael Ricardo Rentería Ramos<sup>1</sup> y José Adalberto Soto Mejía<sup>2</sup>

Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira– Colombia

## ABSTRACT

This research proposes the development of an artificial society of agents to study the patterns that influence the decision making of forced displaced population by the armed conflict in southwestern Colombia, where Santiago de Cali stands out as the main receiver. The agents, that are part of this society, have incorporated elements of the red harvester ant's colonies in Arizona, who through chemicals substances build migratory routes that maximize the objective of the search. The forced migrant selects the place of arrival that meets the socio-demographic conditions that facilitates its adaptation and minimize its risk at the same time. The design of this artificial society allowed finding the most preferable neighborhoods from a specific ejector, and the convergent areas and distribution of displaced migrants within the municipality, which is conducive to the development of differential repair plans for this population.

**KEYWORDS:** Artificial society, Artificial Agent, Computerized agents, Pheromone, BDI model, Displaced population, MSC 90B99

## RESUMEN

Esta investigación propone el desarrollo de una sociedad artificial de agentes para estudiar los patrones que influyen en la toma de decisión de los desplazados forzados por conflicto armado del suroccidente colombiano, en el cual sobresale el municipio Santiago de Cali como el principal receptor. Los agentes artificiales que integran esta sociedad tienen incorporado elementos de la colonia de hormigas rojas cosechadoras de Arizona, quienes a través de sustancias químicas edifican rutas migratorias que maximizan el objetivo de la búsqueda. El desplazado selecciona el sitio de arribo que cumpla con las condiciones sociodemográficas que faciliten su adaptación y minimicen su riesgo en el momento de su arribo. El diseño de esta sociedad artificial permitió encontrar los barrios con mayor preferencia de arribo desde un expulsor específico, las zonas de convergencia y distribución de los desplazados al interior del municipio, lo cual facilita el desarrollo de planes de reparación diferenciales para esta población.

**PALABRAS CLAVE:** Sociedad Artificial, Agente Artificial, Agentes Computarizados, Feromona, modelos BDI, población Displaced

## 1. INTRODUCCIÓN

Una sociedad artificial es un grupo de agentes computarizados donde se puede modelar técnicas para estudiar los fenómenos sociales como: mercados, migraciones, combates, interacción con el medio ambiente, transmisión cultural, enfermedades, así como otras esferas del comportamiento humano y la evolución de las actividades desde una perspectiva social[13].

La diversidad de los problemas sociales en la actualidad han dinamizado la construcción de herramientas y metodologías que permiten la construcción de comportamientos emergentes de sus interacciones tales como la cooperación, la influencia de las acciones previas, entre otros, que en la mayoría de los casos resulta ser muy

<sup>1</sup>Docente Investigador de Maestría en Investigación Operativa y Estadística, y coordinador de la Línea de Investigación de Sociología Computacional del grupo de investigación de Análisis Envolvente de Datos. E-mail: rafael.renteria@utp.edu.co

<sup>2</sup>Director de Maestría en Investigación de Investigación Operativa y Estadística, y director del grupo de investigación de Análisis Envolvente de Datos. E-mail: jomejia@utp.edu.co

compleja de modelar. Esta necesidad ha propiciado un incremento significativo de entidades virtuales en modelos complejos, conocidos como modelado basado en agentes computacionales, que se ha convertido en uno de los métodos más eficaces para representar la endogénesis del problema. Los modelos basados en agentes no sólo permiten estudiar aspectos del comportamiento de los individuos dentro de una sociedad o comunidad, sino que también ayudan a comprender la evolución y mutación de la conducta humana, por lo tanto, visualizan con gran impacto factores convergentes y divergentes grupales del entorno que influencia la toma de decisiones a través de técnicas de optimización por enjambre de partículas [12]. En este sentido, se destacan algunos trabajos con contribuciones muy importantes en los sectores sociales, económicos y ambientales [20], [24], [32], [35], [38], [42], [46], y como el propuesto por [21] quien construyó un híbrido de modelo basado en agentes y optimización de partículas para estudiar las características endógenas de la población de Panyu en China, y desarrollar políticas de sostenibilidad ambiental mediante la interacción de la población con variables socioeconómicas, sociodemográficas y ambientales. Las contribuciones generadas por estas técnicas de modelado permiten edificar un mejor análisis y comprensión de escenarios hostiles como consecuencia de diferentes conflictos sociales especialmente si estos son armados. Por lo tanto, este artículo propone la construcción de una sociedad artificial basada en agentes computacionales, con el objetivo de estudiar los condicionantes sociodemográficos, y la incidencia de esta información, en el momento de la toma de decisión sobre la ruta migratoria a seguir por parte del desplazado por el conflicto armado interno. Este modelo articula la técnica de optimización por Colonia de Hormigas para emular los procesos de comunicación y de intercambio de información entre los agentes de forma local, lo que posteriormente facilita la emergencia de un comportamiento global en la sociedad.

Este artículo está organizado en cuatro secciones. En la primera sección se presenta la fundamentación teórica del modelado basado en agentes, señalando sus características e impactos en el estudio del comportamiento social, además del marco sociológico de los desplazados por conflicto armado interno en Colombia. Estos estudios, están focalizados en Santiago de Cali (Colombia), ciudad que es la principal receptora de víctimas desplazadas que provienen del suroccidente colombiano. En la segunda sección se realiza un paralelo entre las variables socioeconómicas y sociodemográficas de las víctimas desplazadas con el comportamiento de la colonia de hormigas. En la tercera sección se presenta el espacio geográfico y de interacción social de los agentes, lo cual permite recrear todos los procesos de comunicación endógena que se realizan al interior de esta población a nivel individual y grupal. En la última sección se presentan los resultados obtenidos y éstos se validan con los reportes de la Unidad de Atención y Orientación del Desplazado (UAO) de Santiago de Cali, correspondientes al año 2014.

## **2. CARACTERIZACIÓN SOCIOLOGICA Y COMPORTAMENTAL DE LAS VÍCTIMAS DESPLAZADAS**

El primer elemento que debe ser definido en la sociedad artificial es el de agente. En este artículo el agente que representa a la víctima desplazada es quien reporta su condición en la Unidad de Atención y Orientación del Desplazado (UAO) de Santiago de Cali, y que además debe cumplir con la Ley 1448 del 2011 del Ministerio del Interior y Justicia en el artículo 3:

“... Será considerada una víctima, para el efecto de la presente ley, aquellas personas que individual o colectivamente hayan sufrido algún daño por los acontecimientos ocurridos desde el 1 de enero de 1981, como consecuencia de las infracciones a los derechos humanos internacionales o violaciones graves de las normas internacionales de derechos humanos, ocurrido debido al conflicto armado interno”. Bajo esta referente legal se pueden crear los siguientes tipos de desplazamiento forzado como consecuencia del conflicto armado interno [37]:

1. Desplazamiento de civil, el cual es debido a la presencia de grupos armados ilegales que han generado violencia en todo el territorio colombiano y en cual estos civiles son las principales víctimas.
2. El desplazamiento de civiles residentes en lugares donde el conflicto ha tenido lugar entre grupos ilegales y / o actores armados, con el fin de preservar su integridad física y su bienestar.
3. Los desplazamientos causados por grupos ilegales, los cuales quieren apoderarse de las tierras para cosechar cultivos ilícitos, y debido a amenazas se ven obligados a abandonar sus tierras.

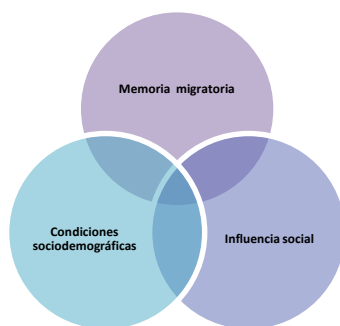
Además de este marco jurídico, se deben articular componentes sociológicos para estudiar con mayor profundidad los programas y políticas de atención para esta población, como lo manifiesta el GFMD (Global Forum Migration Development) y [8], generando así la necesidad de estudiar el comportamiento que enmarca

la decisión de un individuo para desplazarse, como también los elementos mediante los cuales realiza dicha evaluación. Para ello en este artículo se hace uso del modelo de comportamiento humano BDI (Beliefs-Desires-Intentions).

El modelo BDI es una herramienta computacional que fue desarrollada a partir de los estudios de la teoría de Razonamiento Práctico Humano (en inglés “Human Practical Reasoning”) propuesta por [7], para con ello articular varios elementos del comportamiento humano y estudiar el grado de importancia de cada uno de ellos en la toma de decisión, además también ha sido ampliamente utilizado por [34], [26], y [42] en estudios de la dinámica de poblaciones. Los principales componentes de este modelo son:

- Las Creencias: es el conocimiento o memoria interna que tiene el individuo.
- Los Deseos: representa todos los objetivos que este desea alcanzar.
- Las Intenciones: representa el objetivo más importante que primero desea alcanzar.

A partir de estos componentes se pueden caracterizar las variables que son importantes en la toma de decisión del migrante forzado por un conflicto armado y que se ubican en el ámbito de la sociología como lo demandan las nuevas tendencias en el tratamiento de la migración. Aunque muchos autores plantean que el modelo es muy restrictivo para estudiar en todas sus dimensiones el comportamiento humano [29], [43], las decisiones que debe tomar la persona bajo la victimización del actor criminal posee principios y condicionantes similares a los que se esbozan en esta técnica. El esquema del BDI utilizado se presenta en la figura 1 siguiente.



**Figura 1.** Estructura comportamental de la víctima desplazada

## 2.1. Memoria migratoria

La rápida toma de decisiones de la víctima en el momento de elegir su punto de llegada, además de ser involuntaria, toma como primer elemento en su decisión las redes sociales más visibles desde su origen. Estas últimas tienen la siguiente estructura [37].

- Los lazos estructurales en las sociedades de origen que promueven la migración, los cuales aumentan la tasa de captación de nuevos migrantes, y en consecuencia, las densidades de las rutas que conectan los trayectos de origen-destino.
- La probabilidad de la selección de un lugar depende en gran medida de las migraciones anteriores con altos rendimientos, lo que reduce el porcentaje de riesgo y la minimización de los costos involucrados en un nuevo asentamiento.
- Búsqueda de zonas en las cuales se pueda transformar el capital social en otro tipo de capital buscando el bienestar del migrante.

## 2.2. Condiciones sociodemográficas

Unos de los condicionantes importantes en la selección del destino del desplazado forzado por conflicto armado están asociados con variables sociodemográficas que sean similares a las del lugar de origen como lo plantea Rentería y Víale (2015) [37]. La mayor cantidad de víctimas desplazadas son afrodescendientes y la ciudad de Santiago de Cali tiene una de la tasa más altas de concentración de este grupo étnico con un 26.2%.

### 2.3. Influencia social

Es el resultado de las interacciones dentro de la estructura social generada por las víctimas desplazadas que viven en la ciudad de Santiago de Cali y los otros lugares de expulsión. Dentro de esta interacción sobresale la persuasión y el convencimiento como patrones que tienen una gran influencia sobre las víctimas debido a nexos sociales tales como: familiaridad, amistad, entre otros, como está enmarcado en la psicología social definido por [25], [47], [27], [23], [30].

A largo plazo, la influencia social facilita la emergencia de nuevas estructuras de cooperación y coordinación entre expulsor y receptor, y en consecuencia la evolución de rutas migratorias en las que prevalecen la motivación moral y la fuerza cultural [22], [9].

Este resultado que también fue encontrado por Rentería y Vítale (2015) [37] cuando analizó los lugares con mayor nivel de autoridad<sup>3</sup> en la red sociodemográfica de las víctimas desplazadas de Santiago de Cali, y las relaciones internas que configuran la atracción de ciertos expulsores a barrios receptores de Santiago de Cali.

### 3. COLONIA DE HORMIGAS Y LOS ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS DE LAS VÍCTIMAS DESPLAZADAS

La incorporación de las redes tejidas por los procesos de migración forzada en la edificación de programas de atención por parte de los órganos estatales es de vital importancia para entender la conexión entre expulsor – receptor, entre los que el capital social circula, causando transformación social [37]. A pesar de esta importancia, el comportamiento de las víctimas desplazadas ha sido muy poco estudiado por la carencia de información.

Por ello en este artículo se propone la articulación de elementos comportamentales de los insectos sociales (hormigas) y que son de gran utilidad para estudiar rutas migratorias forzadas por el conflicto armado interno colombiano.

En el caso particular de los insectos sociales, estos utilizan sustancias químicas para codificar diferentes tipos de información tales como: alimentos, compañeros, alertas, entre otros [14]. Sin embargo esta sustancia biosintética puede ser tanto costosa como limitada de ser generada, efecto que fue analizado por Evison, S, Fenwinck, J, y Hughes, W (2012) [14], mediante la realización de un experimento con la hormiga *Monomorium pharaonis*, el cual consistió en ubicar ramificaciones de feromona atractiva en diferentes rutas a la inicial que tomó desde el nido, y se encontró que prefería migrar por las rutas en las cuales se encontraba una mayor cantidad de feromona de exploración.

Estas respuestas individuales edifican un consenso grupal entre las hormigas lo cual produce como resultado la auto-organización, conforme al objetivo de la colonia como fue establecido en [5], [32], y [10]. Mientras se edifican estas rutas se transmite información que permite incrementar el número de miembros que se encuentran centrados en los objetivos que requiere la colonia, por lo tanto se crea una realimentación positiva con la información transmitida y cuando se alcanza determinado umbral se toma una decisión [42][32].

Esta articulación se facilita ya que ambos (hormigas y desplazados forzados por el conflicto armado interno) fundamentan su comportamiento en el modelo BDI, (ver figura 1). El insecto social elegido en ésta investigación como referente del comportamiento de los desplazados por el conflicto armado es la hormiga roja cosechadora de Arizona, tipo recolectora (*Pogonomyrmex barbatus*).

A continuación se presenta un paralelo entre los dos sistemas:

- La búsqueda está basada en migraciones previas de rutas que han sido benéficas en exploraciones previas [16], [17]. Efecto similar a la memoria migratoria de las víctimas desplazadas por conflicto armado.
- Una vez las exploradoras arriban al nido, las recolectoras solo lo abandonan si el hidrocarburo es propio de la colonia [18], [19], evitando recibir información errónea de otras colonias o depredadores. De esta forma se crean elementos que son propios al interior de la colonia, similares a los factores sociodemográficos (etnia, cultura entre otros) asociados a los desplazados.
- La interacción de estos componentes (búsqueda basada en migraciones previas de rutas, detección del hidrocarburo) hace surgir la auto-organización lo cual a su vez permite la evolución de las rutas migratorias y mejora la toma de decisiones en la colonia de hormigas. Algo similar se presenta en el

---

<sup>3</sup>Mayor autoridad. en la teoría de las redes sociales, es un lugar donde se concentra el mayor número de víctimas desplazadas.

componente de influencia social por el cual se edifica la cooperación de individuos desplazados y se mejora la toma de decisión, mediante la interacción constante entre la memoria migratoria y los factores sociodemográficos [37].

#### 4. EL ESPACIO GEOGRÁFICO Y SOCIAL DE LAS HORMIGAS ARTIFICIALES.

Esta investigación se modeló con una estructura híbrida “Sugarscape– GIS”, ya que no solo se requiere la ubicación geográfica del agente dentro del municipio, sino también su interacción con las variables sociales y demográficas del individuo, las cuales son importantes en la toma de su decisión [37].

El modelo de *Sugarscape* fue diseñado por Epstein, J. y Axtell, R. (1996) [13] y consiste en la codificación de la información dentro del espacio virtual de interacción social en forma de azúcar en diferentes niveles, en el cual se simulan comportamientos de agentes artificiales. Este modelo utiliza la metáfora del azúcar para describir las diferentes funciones dentro del metabolismo una vez ella es consumida, principalmente por la energía que otorga para realizar funciones tales como: reproducción, creación, crecimiento entre otros y ese es el origen de su nombre. Estas funciones también pueden encontrarse en procesos de interacción social en una comunidad.

El sistema de información geográfico (en inglés GIS) utilizado en la presente investigación está basado en archivos del tipo *shape*, que permiten almacenar la información geométrica de los elementos en capas en formato vectorial y está a su vez articulado a una tabla *dBase* que almacena los atributos o características de cada uno de los barrios de Santiago de Cali, lo cual garantiza que los movimientos de los agentes sean puntos georreferenciados.

El archivo tipo *shape* se configuró en esta investigación con los siguientes atributos:

- Bounding Box: Identifica las celdas del mapa.
- Localidad: Visualiza las comunas que posee Santiago de Cali.
- Latitud: Latitudes de cada uno de los barrios del municipio.
- Longitud: Longitud de cada uno de los barrios del municipio.
- Nombre: Es nombre oficial del barrio establecido por la división administrativa del municipio.

La integración de estas dos estructuras y las características de los desplazados se ilustran en la figura 2.

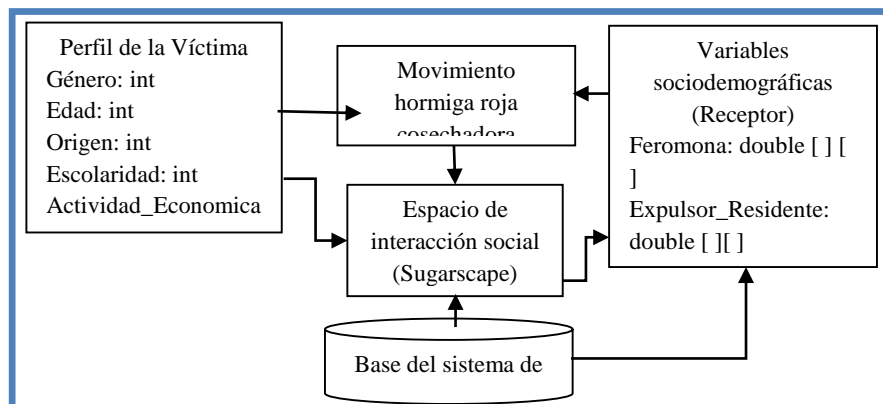


Figura 2. Estructura del espacio geográfico – social de las hormigas artificiales

El sistema de ecuaciones que regula la selección y la interacción de los agentes con objeto de seleccionar el destino están dados en [12]. En la siguiente ecuación (1) se presenta la distancia de Haversine que regula la toma de decisión de los agentes.

$$d_{ij} = 2r \arcsen \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\theta_j - \theta_i}{2} \right) + \cos(\theta_i) \cos(\theta_j) \sin^2 \left( \frac{\vartheta_j - \vartheta_i}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

Dónde:

$d_{ij}$ : Es la distancia geográfica de Haversine desde  $i$  a  $j$ <sup>4</sup>

$r$  : Es el radio de la tierra (Km)

$\phi_i \phi_j$  :Es la latitud de los sitios  $i$  y  $j$

$\vartheta_i \vartheta_j$  : Es la longitud de los sitios  $i$  y  $j$

Para el caso de esta investigación se decidió emplear la distancia geográfica de Haversine  $d_{ij}$  [28], porque el sistema de coordenadas utilizado en esta investigación es el elipsoidal, referenciadas en el elipsoide datum WSG84, puesto que resultan ser más exactas para la representación de patrones de ubicación y movilidad urbana, que las distancias Euclidianas, y otras proyecciones en espacios rectangulares [28]. Además de esta importante diferencia, se debe mencionar que el porcentaje de exactitud de los sistemas de coordenadas rectangulares es inferior a la obtenida cuando se usa la medida de Haversine. En particular, cuando se calcula la distancia entre el centroide de un polígono y el punto más alejado de otro polígono en una misma estructura cartográfica.

El cálculo usando la distancia de Haversine garantiza menores errores de estimación en la ubicación de los agentes en los asentamientos subnormales urbanos (ubicados en los puntos más alejado del polígono) de Santiago de Cali, que son algunos de los principales focos de atracción de desplazados forzados por conflicto armado interno al interior del municipio, y que se encuentran muy cercanos a los barrios legalmente reconocidos en la división administrativa.

Un agente (desplazado) al seleccionar su punto de destino, lo hace en función de la visibilidad de potenciales destinos, la cual está dada por el inverso de la distancia de Haversine, calculada por la ecuación (2).

$$n_{ij}(t) = 1/d_{ij} \quad (2)$$

$n_{ij}(t)$ : Es la visibilidad del agente desde su posición actual. Se calcula como el inverso de distancia de (1) entre los puntos  $i$  a  $j$  en el momento de tiempo  $t$ .

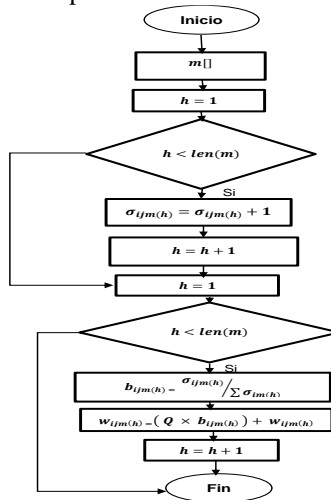


Figura 3. Algoritmo para el cálculo de la feromona de los sitios

<sup>4</sup>Esta distancia geográfica se seleccionó por la pertinencia con la geografía de Santiago de Cali.

La migración del agente está también en función de la cantidad de feromona dejada entre dos puntos  $i$  y  $j$  por otros agentes y el cálculo de una probabilidad de migración entre estos dos puntos, de acuerdo con las ecuaciones (3) y (4).

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)w_{ij}(t) \quad (3)$$

$$P_{ij}^c = \frac{\tau_{ij}(t)n_{ij}(t)}{\sum_{l \in J_i^c} \tau_{il}(t)n_{il}(t)} \quad (4)$$

$\tau_{ij}(t)$ : Es la cantidad total de feromona dejada por los agentes entre los puntos  $i$  y  $j$ , en el momento de tiempo,  $t$ .

$\rho$ : Es la tasa de evaporación del rastro de la feromona [cantidad/unidad de tiempo].

$w_{ij}(t)$  Es la cantidad de feromona anterior al tiempo  $t$ , que se encuentra entre  $i$  y  $j$ .

$P_{ij}^c$ : Probabilidad de migración del sitio  $i$  al  $j$ , donde  $c$ , indica que se tienen en cuenta todos los puntos que son visibles desde  $i$ .

$J_i^c$ : Es la combinación de los sitios que son visibles o alcanzables de la posición  $i$

$b_{ijm}$ , es la proporción de agentes que viene de  $i$  que pertenecen a la familia  $m$  que residen en  $j$

$w_{ij}$ , se ha configurado con tres dimensiones de feromona por tramo: a) para la familia, b) coterráneos y c) etnia.

Las variables que dependan de  $w_{ij}$ , como  $\tau_{ij}$  y  $P_{ij}^c$ , también se configuraron con tres dimensiones. El algoritmo que calcula la cantidad de feromona  $w_{ij}$ , en un tramo, para la dimensión a) familia se presenta en la figura 3.

El cálculo de las otras dos dimensiones de  $w_{ij}$ , coterráneos y etnia, hace uso del mismo algoritmo.

En el algoritmo anterior,  $m$  es una matriz de  $n \times 1$ , donde  $n$  es el número de familias a las cuales se les asigna un identificador numérico por cada familia.

$\sigma_{ijm}$ , Denota la cantidad de miembros de la familia  $m$ , que se trasladan de  $i$  con destino a  $j$ .

$Q$ , Es la cantidad de feromona que depositan las hormigas cuando se desplazan por un tramo.

El siguiente algoritmo (figura 4) describe la selección de los sitios a los cuales se desplaza el agente (el desplazado por el conflicto armado).

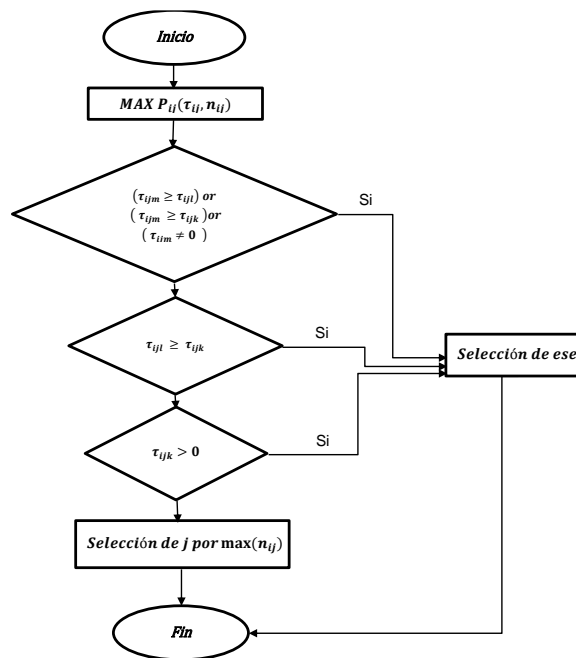


Figura 4. Algoritmo de selección del lugar por parte del agente a partir de la maximización de  $P_{ij}^c$

Se busca detectar, entre los cuatro puntos más visibles desde un origen dado, el mayor valor de la feromona dejada por algún miembro de la familia al desplazarse de  $i$  a  $j$ . Si se encuentra, ello determina la selección del lugar  $j$  de destino. Caso contrario busca algún valor  $\tau_{ijl}$ , correspondiente a algún miembro de los coterráneos (diferente a los de la familia) que tenga un valor mayor al rastro dejado por otros grupos étnicos,  $\tau_{ijk}$ , similares a él, y que no sean ni familiares ni coterráneos. Si no se encuentra ningún punto  $j$  que cumpla con los anteriores criterios, entonces se selecciona el destino  $j$  que contenga un valor de rastro de feromona del mismo grupo étnico con valor mayor a cero. Si la anterior búsqueda no fue satisfactoria entonces selecciona el destino  $j$  más visible,  $n_{ij}$ , desde su posición.

Para lograr establecer conceso entre las decisiones que toman cada uno de los agentes se construyó la función  $U_j(t)$  mediante la maximización del operador de Cruzamiento de los niveles de feromona de la familia, los coterráneos, y los grupos étnicos de los agentes. Lo anterior permite obtener un índice de atracción especial por el lugar  $j$  por parte de algunas de las víctimas del desplazamiento forzado por el conflicto armado.

$$U_j(t) = \text{Max} (\text{Cruzamiento}(\tau_{ijm}, \tau_{ijl}, \tau_{ijk})) \quad (5)$$

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la simulación se utilizaron las tres ciudades expulsoras más importantes que escogen como destino al municipio de Santiago de Cali, las cuales son: Buenaventura, Tumaco, y Santiago de Cali [37]. Estos orígenes generan más del 40% de los arribos de víctimas desplazadas hacia Santiago de Cali [39], [40]. Santiago de Cali es a su vez expulsor de víctimas y receptor en otros barrios de las mismas. Dentro de los elementos más importantes que se analizaron en esta simulación está la incidencia que tienen las variables propuestas (ver figura 1), en la generación de atracción de punto al interior de la ciudad. Con esto se pueden determinar las características endógenas de las comunidades que se forman al interior de los barrios y generar mejores elementos para el desarrollo de programas de atención.

En la configuración inicial de la memoria migratoria (ver figura 1) se utilizaron los reportes de la UAO 2013 [38] y del Departamento de la Prosperidad Social a través del sistema de información de población desplazada SIPOD de Santiago de Cali, consolidados hasta el año 2012 [1]. Esta información de las variables sociodemográficas fue utilizada en el modelo de la estructura del espacio geográfico e interacción social presentada en la figura 2.

Para la asignación de los parámetros de simulación, se seleccionó el valor  $Q$  en función del promedio diario de víctimas desplazadas (15 personas) que recorren las rutas con mayor frecuencia de selección al interior del municipio, tomando como línea de base las migraciones forzadas por conflicto armado interno reportados en los años 2012 y 2013 [1], [44], [39].

El valor de  $Q$ , cantidad de feromona que se deposita en un desplazamiento es multiplicado por un factor de difusión  $\varphi$ , cuyo valor se encuentra entre (0,1), con el objeto de definir el porcentaje de puntos geográficos, dentro de una zona, en los cuales se difunde la feromona dejada por los agentes en cada polígono. Es decir en cada polígono se evalúa el número de conexiones sociales (nivel de familiaridad, origen, grupo étnico), este valor determina el nivel de difusión de la feromona dentro del polígono.

Tabla 1. Configuración de los parámetros de la simulación de la sociedad virtual

Parámetro	Valor
Número de agentes	500 por cada expulsor
El tiempo (t) está dado en días	365 días
Cantidad de expulsores	3
Tasa de evaporación de feromona ( $\rho$ )	0.01 por día
Cantidad de feromona depositada ( $Q$ )	4,5 por víctima desplazada
Cantidad de barrios o vecindarios	350 barrios establecidos por la división administrativa del municipio, y 90 asentamientos subnormales urbanos reconocidos, pero no legalizados.
Cantidad de comunas (Es la agrupación de barrios o vecindarios dentro de un área geográfica)	22 comunas establecidas por la división administrativa del municipio.
Tasa de difusión ( $\varphi$ )	0.3



Para el caso de esta simulación, este valor fluctuó de 0.2 a 0.5, y fue calculado a partir de la cantidad de desplazados provenientes del lugar  $i$  (con el cual se posee un vínculo social, familiar, coterráneo, ó étnico) que se encuentren asentados en las áreas geográficas conformada por el Bounding Box de cada barrio. El valor  $\rho$ , tasa de evaporación del rastro de la feromona, fue calculado como función de la tasa de expulsión promedio diaria por conflicto armado interno de los lugares que hacen parte de las rutas migratorias que concentran algún nivel de feromona, en un periodo particular.

En la tabla 1, se presentan los parámetros de simulación utilizados en el modelo de la sociedad artificial de agentes, modelo que representa a las víctimas desplazadas por el conflicto armado en Colombia, en el año 2013 y que sirvió para estimar la selección de destinos para el año 2014.

En la siguiente figura 5 se presentan los resultados de la simulación.

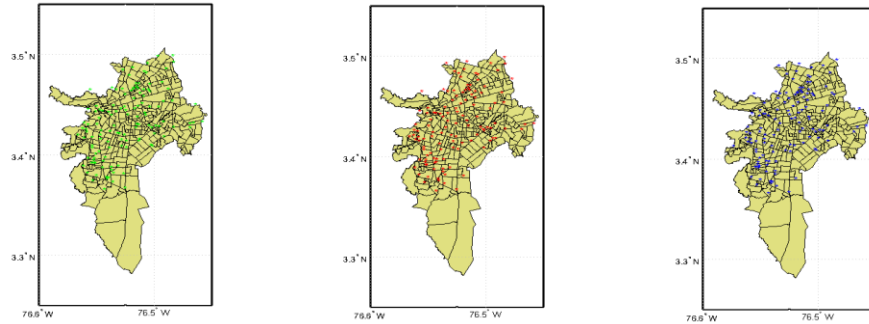


Figura 5. Resultado de la simulación de la distribución de víctimas desplazadas que arribarían en el año 2014 a Santiago de Cali, provenientes de cada uno de las tres ciudades expulsoras: Buenaventura (Izquierda), Tumaco (Centro), Santiago de Cali (Derecha).

Cada punto, en cada una de las figuras, representa las coordenadas del lugar seleccionado por los desplazados, considerando 500 personas por cada ciudad expulsora.

#### 4.1 Análisis diferencial por expulsor

Se analizaron los cinco barrios con el mayor índice de atracción desde un origen específico y la convergencia de estos en algunos barrios, así como las comunas a las cuales pertenecen. La figura 6, corresponde a las víctimas desplazadas desde la ciudad de Buenaventura a los diferentes barrios de la ciudad de Santiago de Cali.

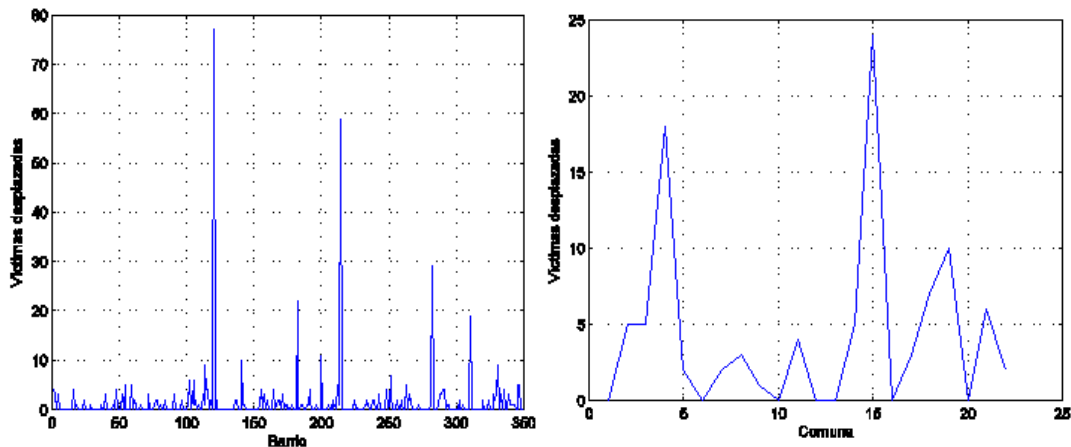


Figura 6. Ubicación por barrios (izquierda) y comunas (derecha) de víctimas desplazadas desde Buenaventura.

En la simulación de las víctimas procedentes de Buenaventura, los cinco barrios con mayor frecuencia de selección (entre paréntesis se encuentra el número de identificación del barrio) fueron: Comuneros I (120), Ciudad Córdoba (282), Decepaz (182), Manuela Beltrán (214) y Bolivariano (310). En lo que respecta a las comunas, la mayor concentración se encuentra en la comuna 15 la cual alberga la mayor parte de los barrios mencionados, seguidos por las comunas 4, 14 y 17.

En las figuras 7 y 8 se presentan los resultados correspondientes a las ciudades expulsoras de Tumaco y Santiago de Cali.

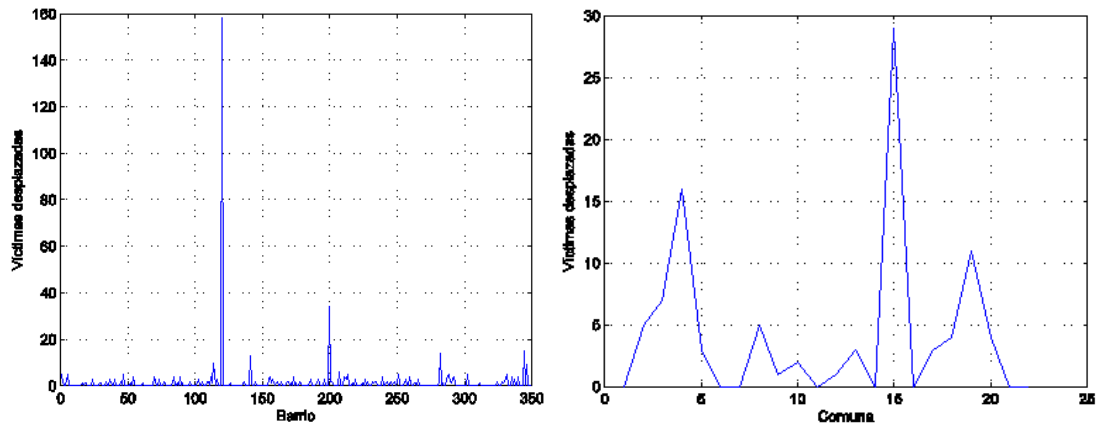


Figura 7. Ubicación por barrios (izquierda) y comunas (derecha) de víctimas desplazadas desde Tumaco.

Las víctimas provenientes de Tumaco seleccionaron los siguientes barrios: Comuneros I (120), Calimio (200), Asentamiento Subnormal Urbano I (182), Ciudad Cordoba (282), Asentamiento Subnormal Urbano<sup>5</sup> II (346). En lo que respecta a las comunas, los resultados son similares a la simulación anterior, la mayor concentración se encuentra de nuevo en la comuna 15, seguido por las comunas 4, 14 y 17.

Con respecto a Santiago de Cali y las decisiones sobre los desplazamientos al interior de la misma ciudad se presentan en la figura 8.

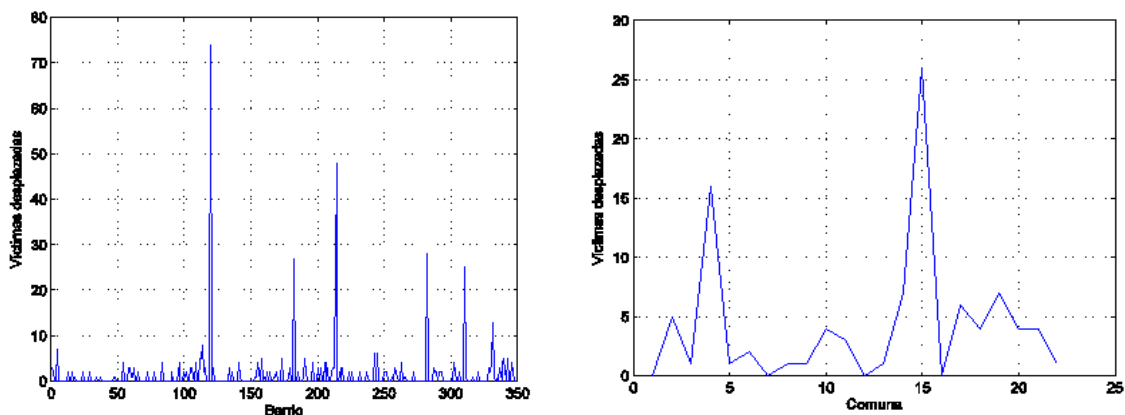


Figura 8. Ubicación por barrios (izquierda) y comunas (derecha) de víctimas desplazadas desde Santiago de Cali para diferentes barrios de la misma ciudad.

Las víctimas desplazadas al interior de Santiago de Cali seleccionaron los siguientes barrios: Comuneros I (120), Manuela Beltrán (214), Decepaz (182), Ciudad Cordoba (282), y Bolivariano (310).

Estos mismos destinos fueron los barrios seleccionados por los desplazados provenientes del municipio de Buenaventura, denotando con ello la convergencia de ambos municipios expulsores en estos receptores. El caso de Tumaco, como ciudad expulsora, presenta destinos de desplazamiento ligeramente diferentes a los de Buenaventura y al mismo Santiago de Cali. En cuanto a la distribución de los barrios con mayor índice de atracción, Comuneros I es quien posee el mayor repositorio de víctimas desplazadas con 310 desplazados de

<sup>5</sup>Son asentamientos ilegales con altos índices de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), y corresponden a los más deprimidos al interior de la ciudad.

los tres expulsores, 77 de Buenaventura, 160 de Tumaco, 73 de Santiago de Cali concentrando aproximadamente el 20,60% del total de agentes en la simulación.

En los reportes de la UAO (2014), Comuneros I recibió de los mismos tres expulsores arriba citados, 1498 desplazados, equivalentes al 8,76 % [40] del total de desplazados, convirtiéndose en el destino más seleccionado por las víctimas provenientes de los tres expulsores citados. En este destino también coinciden los estudio de [39] y [37]. En la simulación, el lugar que presentó menor atracción fue el barrio Bolivariano con 5,10%, resultado que es consistente con el barrio de menor atracción, según los reportes reales de la UAO con 2,56% del total de víctimas desplazadas de Santiago de Cali, Buenaventura y Tumaco. Otros lugares, son muy particulares para las víctimas de acuerdo a las conexiones sociales que subyacen en la memoria migratoria de las víctimas desplazadas por conflicto, entre los que se destacan para las víctimas procedentes de Tumaco los asentamientos subnormales urbanos de agentes de este origen, y para las de Santiago de Cali el barrio Ciudad Córdoba. Los cuales concentran 10.60% de los agentes de la simulación y el 5.76% de las víctimas desplazadas procedentes de estos lugares [40].

Un resultado importante obtenido en la simulación fue la alta similaridad del perfil (escolaridad y actividad económica) de los agentes simulados que llegaron a los barrios de destino con los reportes reales del año 2014 presentado en los informes de la seccional UAO de Santiago de Cali [40].

Además, si se observan los resultados de la simulación por comunas (ver figuras 6, 7, 8) el mayor número de víctimas desplazadas se ubica en la comuna 15, la cual también según las cifras de Departamento Nacional de Estadística de Colombia (DANE) posee entre sus residentes un 50% de etnia afrodescendiente que a su vez es la que mayor número de víctimas desplazadas genera [11], entre los tres expulsores seleccionados en la simulación.

Históricamente, la comuna 15 ha sido un lugar con alto índice de recepción de desplazados del suroccidente colombiano y donde prolifera el mayor número de asentamientos subnormales urbanos, seguido por las comunas 14,13 respectivamente, como fue reportado en [39], [40].

Otro importante resultado que se obtuvo de la simulación, fue que los barrios que hoy reflejan altos índices de atracción de desplazados por conflicto armado, fueron antes asentamientos subnormales urbanos que se legalizaron como fue el caso de los barrios Manuela Beltrán y Decepaz los cuales concentran 15%, 11% de los agentes utilizados para la simulación. Hoy (2014), ellos albergan el 7.33% y 5.48%, de los desplazados provenientes de los lugares seleccionados en la simulación respectivamente. El anterior resultado refleja el hecho de que algunos asentamientos subnormales urbanos (barrios no legalizados por la administración pública) llegan a crecer de tal manera que obligan a la administración pública a su legalización. Se piensa que la legalización de un asentamiento subnormal urbano pudiera desincentivar la llegada de desplazados y la creación de nuevos asentamientos subnormales vecinos, no obstante lo anterior, la simulación evidencia el hecho de que las redes de cooperación que se han tejido antes entre expulsores y receptores no desaparecen por la legalización.

En [37] utilizando el algoritmo de Louvian se hizo un análisis *clúster* de comunidades formadas entre expulsores y receptores, encontrándose coincidencia con la selección de barrios convergentes de los tres expulsores simulados mediante agentes. Los barrios que tiene mayor nivel de autoridad y frecuencia de selección entre las comunidades fueron Comuneros I, Manuela Beltrán y Decepaz. Situación muy similar se observó en la simulación con los barrios y las comunas elegidas.

En cuanto a la densidad de la red (distribución de conexiones de la red), el valor obtenido en [37] mostró un valor bajo, lo que indica que la distribución de las víctimas desplazadas por los barrios dentro de Santiago de Cali no es homogénea. Lo anterior podría deberse a que la selección por parte de las víctimas de su lugar de destino, ha pasado a ser más directa (se hace a zonas específicas), es decir sin pasar por asentamientos intermedios de manera temporal, especialmente hacia la comuna 15 y los barrios limítrofes con las comunas 13,14, decisiones que también fueron tomadas por los agentes en la simulación realizada en esta investigación.

## 5. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos con el diseño de la sociedad artificial de agentes propuesto, confirmó la pertinencia de las variables sociodemográficas seleccionadas y su influencia en la atracción del arribo de las víctimas desplazadas por conflicto armado desde un origen específico.
- El patrón de comunicación de las hormigas rojas cosechadoras, exploradoras y recolectoras, que sirvió de paradigma de referencia para el modelo de agentes de esta investigación, unido al enfoque de comportamiento humano BDI, permitió modelar con éxito, la interacción de los procesos sociodemográficos entre expulsor y receptor que son propios de la migración forzada en Colombia, por conflicto armado interno.

- Como consecuencia de la emergencia de un comportamiento global en esta sociedad, se generan redes de migración tejidas por las víctimas desplazadas que convierten la selección del destino final en un instrumento de aplicación directa, eliminando los asentamientos intermedios temporales.
- Como trabajo de investigación futuro del modelo propuesto, teniendo en cuenta un análisis geoespacial detallado de las condiciones sociodemográficas de las víctimas y los residentes, se exploraran diferentes escenarios con miras a orientar la formulación de nuevas políticas públicas de atención a este tipo de víctimas.

RECEIVED: JULY 2015  
REVISED: MARCH, 2016

## REFERENCIAS

- [1] ACCION SOCIAL (2012): **Sistema de información de población desplazada 2000-2012**. Santiago de Cali: Ministerio de Protección Social.
- [2] BARTHOLOMEW, G., LIGHTON, J. y FEENER, D. (1988): Energetics of trail running, load carriage, and emigration in the column-raiding army ant *Ecitonhamatum*. **Physiological Zoology**, 61, 57-68.
- [3] BASKAN, O. y OZAN, C. (2013): An Ant Colony Optimization Algorithm for Area Traffic Control. En O. a. Baskan, **Ant Colony Optimization - Techniques and Applications**, 88-104. Rijeka: Dejan Grgur.
- [4] BLOOM, D. y EGGLESTON, K. (2014): The economic implications of population ageing in China and India: Introduction to the special issue, **The Journal of the Economics of Ageing**, 4, 1-7.
- [5] BONABEAU, E., THERAULAZ, G., DENEUBOURG, J. L., ARON, S. y CAMAZINE, S. (1997): Self-organization in social insect. **Trends in Ecology & Evolution**, 12, 188-193.
- [6] BOTTOMS, A. y WILES, P (2002): Environmental criminology. En R. M. M. Maguire, **The Oxford Handbook of Criminology**. 621-644. Oxford, Oxford University Press.
- [7] BRATMAN, M. (1987): **Intention, Plans, and Practical Reason**. CSLI Publications.
- [8] CASTLES, S. (2003): Towards a Sociology of Forced Migration and Social Transformation. **Sociology**, 77, 13-34.
- [9] CENDERMAN, L. (2005): Computational models of social forms: advancing generative process theory. **American Journal of Sociology**, 110, 864–893.
- [10] COUZIN, I., KRAUSE, J., FRANKS, N. y LEVIN, S. (2005): Effective leadership and decision-making in animal groups on the move. **Nature**, 433, 513-516.
- [11] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA de COLOMBIA (2012): **¿Cuántos somos?**. Santiago de Cali. Afroamerica XXI. 2012
- [12] DORIGO, M., BONABEU, E. y THERALAUZ, G. (1997): **Swarm Intelligence From Natural of Artificial System**. New York: Oxford University Press.
- [13] EPSTEIN, J. y AXTELL, R. (1996): **"Growing Artificial Societies", Social Science From the Bottom Up**. Washinton DC: The Bronkings Institute.
- [14] EVISON, S., FENWINCK, J., y HUGHES, W. ( 2012): **Better the nest site you know: decision-making during nest migrations by the Pharaoh's ant**. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 66, 711-720.
- [15] FRANKS, N. (2002): Information flow, opinion polling and collective intelligence in house-hunting. **Proceedings of the Royal Society B**. 357, 1567-1583.
- [16] GORDON, D. (1991): Behavioral flexibility and the foraging ecology of seedeating ants. **American Naturalist**. 138, 379–411.
- [17] GORDON, D. (1992): How colony growth affects forager intrusion in neighboring harvester ant colonies. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, 31, 417–427.
- [18] GORDON, D. (2008). The short-term regulation of foraging in harvester ants. **Behavioral Ecology Advance**, 1-4.

- [19] GREEN, M. y GORDON, D. (2007): How Patrollers Set Foraging Direction in Harvester Ants. **Natural History Note**, 6,170, 943-948.
- [20] JORDAN, R., BIRKIN, M y EVANS, A. (2014):An agent-based model of residential mobility: Assessing the impacts of urban regeneration policy in the EASEL district. **Computers, Environment and Urban Systems**, 48, 49-63.
- [21] LIU, X. (2013). Combining system dynamics and hybrid particle swarm optimization for land use allocation. **Ecological Modelling**, 257, 11 - 24.
- [22] MACY, M. y WILLER, R. (2002). From factors to actors: computational sociology and agent - based modelling. **Annual Review of Sociology**, 28, 143–166.
- [23] MARKOVSKI, B y THYE, S. (2001). Social influence on paranormal beliefs.**Sociological Perspectives**, 44, 21–44.
- [24] MITLIN, D. y MOGALADI, J. (2013): Social movements and the struggle for shelter: A case study of eThekweni (Durban). **Progress Planning**, 84, 1-39.
- [25] MOSCOVICI, S. (1985): Social influence and conformity. **Handbook of Social Psychology**, 2, 347–412.
- [26] MULLER, J. (1998): Architectures and applications of intelligent agents: A survey. **The Knowledge Engineering Review**, 13, 252-280.
- [27] PAICHELER, G. (1998):**The Psychology of Social Influence**. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- [28] PLUTCHIK, R. (1994):**The psychology and biology of emotion**. New York: Harper Collins College Publishers.
- [29] PRATKANIS, A. (2007):**The Science of Social Influence. Advances and Future Progresses**. London: Psychology Press.
- [30] PRATT, S., SUMPTER, D., MALLON, E. y FRANKS, N. (2002): Quorum sensing, recruitment, and collective decision-making during colony emigration by the ant *Leptothorax albipennis*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, 52, 117-127.
- [31] PRATT, S., SUMPTER, D., MALLON, E. y FRANKS, N. (2005): An agent-based model of collective nest choice by the ant *Temnothorax albipennis*. **Animal Behaviour**, 70, 1023-1036.
- [32] RANKIN, M. y BURCHSTED, A. (1992): The cost of migration in insects. **Annual Review of Entomology**, 37, 533-559.
- [33] RAO, A. y GEORGEFF, M. (1995): Proceedings of the first international conference on multi-agent systems. **BDI agents: From theory to practice**. San Francisco.
- [34] RASHID, S. y YOON Y. (2011): Assessing the potential impact of Microfinance with agent-based modeling. **Economic Modelling**, 28, 1907-1913.
- [35] REKAYA, R., ROBBINS,M., SPLANGLER,S., SMITH.,H y BETRAND,K. (2013): Ant Colony Algorithm with Applications in the field of Genomics. En R. y. Rekaya, **Ant Colony Optimization - Techniques and Applications**, 177-200. Rijeka: Dejan Grgur.
- [36] RENTERÍA, R. y VITALE, A. (2015): Construcción de una red compleja para el estudio de la selectividad de Santiago de Cali por parte de las víctimas desplazadas del conflicto armado en Colombia,**Investigación Operacional**, 36, 60-69.
- [37] SAQALLI, M., GÉRARD, B., BIELDERS, C y DEFOURNY, P. (2011):.Targeting rural development interventions: Empirical agent-based modeling in Nigerien villages. **Agricultural Systems**, 104, 354-364.
- [38] SÁNCHEZ, M. y RENTERÍA, R. (2013):Informe de víctimas en Santiago de Cali. Santiago de Cali en 2013. Secretaría de Gobierno.
- [39] SÁNCHEZ, M. y RENTERÍA, R.. (2014):Informe de víctimas en Santiago de Cali.Santiago de Cali en 2014. Secretaría de Gobierno.
- [40] SUMPTER, D. &. (2009): Quorum responses and consensus decision making. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, 364, 743-753.

- [41] TAYLOR, G., FREDERIKSEN, R., VANE, R., y WALTZ, E. (2004). Agent-based simulation of geo-political conflict. **16th conference on innovative applications of artificial intelligence**. San Jose: AAAI Press.
- [42] TOASTE, F. (2004). Cognition, motivation, emotion and action: a dynamic and vulnerable interdependence. **Applied Animal Behaviour science**, 86, 173-204.
- [43] UAO (2013). Reporte de declaración de víctimas desplazadas reportadas en Santiago de Cali. Santiago de Calo: Oficina de asesoría de paz.
- [44] WAAL, F. (2005): **Our Inner Ape**. New York: Riverhead Books.
- [45] WALSH, S. (2013): Design of an agent-based model to examine population–environment interactions in Nang Rong District, Thailand. **Applied Geography**, 39, 183-198.
- [46] ZIMBARDO, P y SÁNCHEZ, M. y RENTERÍA, R., M (1991): **The Psychology of Attitude Change and Social Influence 3rd Edition** .New York: McGraw-Hill.