

# Simulación de un entorno socio-económico de abastecimiento alimentario usando agentes de software y sistemas suaves

## *Simulation of food-supply socioeconomic settings using soft systems and software agents*

Luisa Fernanda Gómez Muñoz  
Grupo de Investigación ARQUISOFT  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia  
lfgomez@correo.udistrital.edu.co

José Daniel Vélez Gutiérrez  
Grupo de Investigación ARQUISOFT  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia  
jdvelezg@correo.udistrital.edu.co

Henry Alberto Diosa  
Grupo de Investigación ARQUISOFT  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia  
hdiosa@udistrital.edu.co

**Abstract**—Food-supply systems at cities are deterministic for the human nutritional well-being around the world. Therefore, their study for implementation or take over is a paramount topic in academical and governmental environments. This paper presents the results of our effort to simulate the behavior of key actors in a supply-demand chain, related to a specific food-supply system. This work features a solution which integrates conceptual and instrumental elements from Soft Systems Modeling (SSM), Social Psychology of Organizations and the application of agent specification technologies using linguistic units, proper for software modeling. We achieved a first prototypical implementation that evidenced some interesting simulated-experimental results.

**Keywords**—Food-supply systems, Soft-Systems Modeling (SSM), organizations' social psychology, Unified Modeling Language(UML), Agents Based Modeling(ABM), supply and demand actors, simulación.

**Resumen**—Los sistemas de abastecimiento alimentario en las ciudades determinan el bienestar humano nutricional en el mundo; por consiguiente, su estudio para implementación o intervención es un tópico necesario en la academia y los gobiernos. En esta publicación se socializan

los resultados de nuestro esfuerzo para simular el comportamiento de actores de la oferta y la demanda relacionados con un sistema de abastecimiento alimentario en un caso de estudio específico. Este trabajo presenta una solución que integra elementos conceptuales e instrumentales de la Metodología de Sistemas Suaves(MSS), Psicología Social de las Organizaciones unido a la aplicación de técnicas de especificación de agentes usando unidades lingüísticas propias del modelado de software. Se obtuvo una primera implementación de un prototipo que evidenció en la ejecución de la simulación algunos resultados experimentales de interés.

**Palabras clave** – Sistemas de abastecimiento alimentario, Modelado de Sistemas de Suaves(MSS), psicología social de las organizaciones, Modelado Basado en Agentes(MBA), Lenguaje de Modelado Unificado(UML), actores de oferta y demanda, simulación.

## I. INTRODUCCIÓN

La comprensión de la complejidad de los sistemas de abastecimiento alimentario es fundamental para el futuro

de la humanidad; organismos internacionales como la FAO<sup>1</sup> han enviado señales al respecto[1] [2]. El modelado de este tipo de sistemas con propósitos de simular algunos de sus aspectos para afrontar con claridad el reto de su gestión, sistematización o automatización es un tema abierto de investigación[3] [4]. Con tal finalidad, se utilizaron modelos elaborados a partir de la metodología de sistemas suaves( MSS, en adelante), la simulación computacional, el modelado basado en agentes con ingredientes metodológicos de modelado de software con UML[5] como medios viables y apropiados para el análisis de la interacción entre oferentes y demandantes en un entorno socio-económico con una caracterización parecida a la del contexto colombiano; lo anterior, dada la efectividad que han tenido las primeras tecnologías mencionadas para el estudio de realidades sociales [6] [7] [8] [9], en donde la observación directa o experimentación real es de alta dificultad.

Bogotá alberga cerca del 16% de la población total del país que lo contiene (Colombia) [10], así como la mayor parte de la industria nacional y de inversión extranjera. Tal concentración genera una demanda significativa de productos agrícolas y suministros que ha sido atendida por una serie de cadenas de abastecimiento [11] operadas por agentes independientes para diferentes tipos de productos desde distintas partes del país y del mundo. Estas actividades comerciales que mantienen el abastecimiento alimentario en Bogotá no se encuentran estructuradas, ni hacen parte de una organización social inducida o planeada, sino que surge desde la práctica individual de un grupo de actores y posee una serie de falencias e ineficiencias que elevan sus costos de operación, los cuales, son transferidos al consumidor final afectando los precios y la seguridad alimentaria de poblaciones vulnerables y/o en condiciones de pobreza.

Con el fin de tomar medidas sobre tal situación, la Alcaldía de Bogota mediante Decreto 315 de 2006, propuso una reestructuración de los actores que participan en el proceso de abastecimiento alimentario; lo anterior, con el fin de abolir las principales falencias del esquema comercial, buscando la reducción y estabilización de los precios de los alimentos al interior de la ciudad. El "Plan Maestro de Abastecimiento y Seguridad Alimentaria para Bogotá" (PMASAB) propuso un sistema de abastecimiento alimentario (conocido al interior del plan como "Sistema de Abastecimiento Alimentario de Bogotá - SAAB") [12], diseñado para incluir oferentes y demandantes tanto individuales como en red, con el

fin de incentivar la participación en igualdad de condiciones de pequeños, medianos y grandes productores así como demandantes empresariales, pequeños y medianos comerciantes (Ver Figura 1).

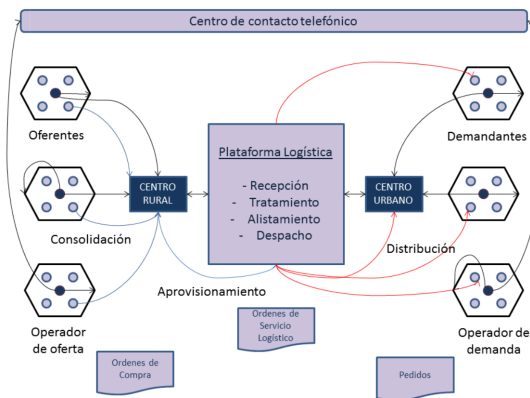


Figura 1: Modelo de red de abastecimiento alimentario. Tomado de [13]

Ante una reestructuración de tal magnitud, se requieren propuestas que viabilicen los análisis de factibilidad y de los comportamientos emergentes que podrían adoptar los actores de oferta y demanda una vez implementado el sistema de abastecimiento. De igual forma, posibilitar datos simulados que permitan identificar los posibles efectos sobre los precios de los alimentos y la seguridad alimentaria de la población.

En esta publicación describimos el enfoque metodológico asumido para el problema asociado al modelado del comportamiento humano inherente a la compra y venta de productos frescos en un sistema de abastecimiento alimentario; se asumió el reto de usar modelos lógicos traducibles a algoritmos computacionales. Para lo anterior fue necesario el uso de metodologías orientadas al estudio organizacional; específicamente, la metodología de sistemas suaves [14] y psicología social de las organizaciones [15] unido a la aplicación de conceptos y técnicas de especificación de agentes junto con unidades lingüísticas usadas en el modelado de software.

Se corroboró la utilidad de la metodología a través de la generación de un modelo de simulación ejecutable que aporta datos sobre posibles comportamientos emergentes de los actores de oferta y demanda, asociados a la cadena de abastecimiento alimentario de la cebolla de

<sup>1</sup>Food and Agriculture Organization of the United Nations.

bulbo producida en diez municipios aledaños a la ciudad de Bogotá.

## II. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en cinco fases: Conceptualización, modelado de agentes, diseño de herramienta basada en software, codificación o construcción de la herramienta, diseño del experimento, ejecución de la simulación y análisis de resultados.

### A. Conceptualización

En el caso de estudio abordado se conceptualizó el subsistema socio-económico de oferta y demanda propio del SAAB de forma que fuese reducible a un sistema de simulación computacional. Los conceptos propuestos por la psicología social de las organizaciones de Katz y Kahn permitieron delimitar el sistema de oferta y demanda de productos agrícolas para una ciudad y así definir roles y actores involucrados en cada subsistema (Ver Figura 2) [15]. El propósito fue encapsular una visión de la realidad que estructurara la formulación y modelado de un sistema pertinente; tal como se plantea en la MSS. Al llevar a cabo los ejercicios de conceptualización propuestos en la MSS fue posible identificar algunos procesos de transformación y caracterizaciones funcionales del esquema de abastecimiento comercial; se identificaron cinco subsistemas:

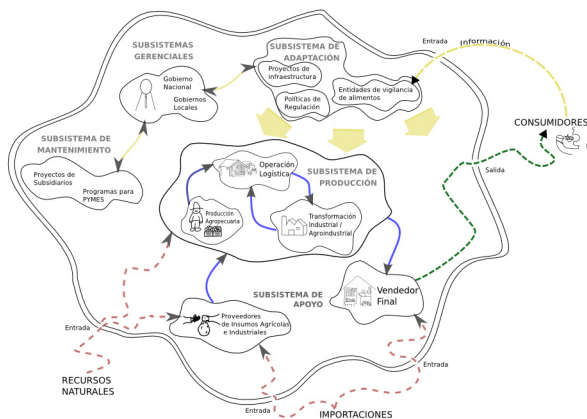


Figura 2: Conceptualización de sistema comercial de abastecimiento alimentario. Fuente: Este trabajo

- 1) *Producción Agropecuaria*. Lo componen las funciones de cultivo, cosecha, transporte y acopio de alimentos, siendo estas actividades primordiales en el proceso de abastecimiento de la ciudad. Los insumos, productos primarios o transformados, son distribuidos para su posterior comercialización.
- 2) *Mantenimiento*. La estabilidad requerida para los actores del sistema es proporcionada a través de proyectos de subsidio y desarrollo, programas de capacitación y apoyo técnico.
- 3) *Apoyo*. Subsistema conformado por productores de materias primas; los encargados del abastecimiento de los insumos necesarios para transporte y procesamiento de alimentos; los entes responsables de la transformación industrial de los productos agropecuarios, que en conjunto con los distribuidores mayoristas se encargan de las transacciones comerciales con otros países y sectores; por último, los distribuidores minoristas, cuya función es la venta de los productos a los consumidores finales. En conjunto aseguran la supervivencia de la organización y mantienen las relaciones con el entorno.
- 4) *Adaptación*. Recibe como insumo la información que proporciona el medio respecto a las condiciones externas y la percepción general del producto entregado. A partir de dicha información son tomadas decisiones relevantes para la subsistencia de la organización que se reflejan en proyectos y políticas de regulación y salubridad, desarrollo de infraestructura y programas de capacitación o apoyo técnico.
- 5) *Gerencial*. Compuesto por las entidades con el poder para decidir el rumbo y crecimiento de la organización, tales como el gobierno nacional y local.

### B. Modelado de agentes

A partir de la conceptualización arriba mencionada, se construyó un modelo orientado a agentes emulando las características y propósitos funcionales inicialmente identificados. Se tuvieron en cuenta los 5 componentes de la metodología de Aguilar et al. [16] y algunos de los cuadros de especificación propuestos.

Se usó el lenguaje UML como unidad lingüística para describir los esquemas propuestos. Se inició con la especificación estática del modelo basado en agentes

mediante un diagrama de componentes estereotipado (Ver Figura 3); las etiquetas de estereotipo apoyaron la especificación de los que podían ser considerados "Agentes" y mediante conectores se modelaron las relaciones entre ellos.

Dado que el comportamiento de un sistema orientado a agentes emerge como resultado de su interacción, el modelado dinámico de sus partes fue diseñado individualmente. Esto se hizo posible mediante diagramas de actividad UML; estos permitieron una descripción suficiente de la secuencia de acciones operada por cada uno.

Otro reto abordado fue que los agentes que representan a los actores de oferta y demanda deben emular acciones humanas porque se requiere evaluar su comportamiento ante la implementación del SAAB, agentes limitados a la compra-venta de productos no cumplirían este propósito. Para esto, fue necesario dotar a los agentes con procesos cognitivos que simularan los de un ser humano. Se ideó un esquema de simulación basado en el modelo básico de "agente humano activo en el mundo", propuesto por P. Checkland y S. Holwell [17], el cual define cinco acciones cíclicas ejecutadas por los agentes inteligentes: (1) Percibir el mundo selectivamente, (2) Formar intenciones, (3) Tomar decisiones, (4) Actuar y (5) Juzgar el mundo según estándares. Este algoritmo del comportamiento humano requirió que algunos de los modelos que definían la simulación fueran diseñados teniendo en cuenta:

1) *Modelo de Tareas*: Describió el grupo de actividades que los agentes podían ejecutar como parte de la simulación. Cada tarea debió ser definida como un *MPA* (Por las siglas en inglés para *Model of Purposeful Activities*)<sup>2</sup>, siguiendo las especificaciones estipuladas en la MSS; logrando así que cada sistema de actividad estuviere relacionado con un propósito, característica importante, pues es el punto de partida en la toma de decisiones de los agentes inteligentes. Haciendo uso del concepto de *MPA* fue posible encapsular tareas complejas con un enfoque sistémico, lo cual permitió describir aspectos complejos de forma estructurada. Adicionalmente, las tareas definieron las restricciones del ambiente (o ambientes) simulados, al enlazar cada *MPA* formulado con los ambientes en los que pueden ser ejecutados. Esta estrategia denominada "*restrictividad inversa de los entornos mediante sistemas de actividad*

<sup>2</sup>Traducido al español por los autores como Modelo de Actividad con Propósito Definido

*predefinidos*", está basada en el hecho de que las restricciones del entorno definen la forma como un "agente" debe actuar en busca de un propósito; esto implica que si fuera posible definir todas las posibles secuencias de actividades realizables en pro de un objetivo específico en un espacio definido, implícitamente se estarían plasmando las restricciones físicas, políticas y culturales del entorno representado. Así entonces, la simulación del entorno puede ser más precisa, entre mayor sea el número de "modelos de actividad con propósito definido (*MPA's*)" viables configurados en el mismo. De esta forma, la "percepción selectiva del mundo" fue realizada por el agente al filtrar de su entorno aquellas actividades relacionadas con su propósito vigente.

2) *Modelo de Agentes*: Caracterizó los agentes incluidos en el modelo. Se pudo partir de tipificaciones ya formuladas en la bibliografía existente; en "Introducción a Sistemas Multi-agente", M. Wooldridge [18] presenta una recopilación inicial que se tomó como punto de partida; sin embargo, cabe anotar que no existe un consenso ampliamente aceptado sobre como debe estar conformado un agente o su tipificación, es materia vigente de investigación buscar nuevos enfoques y adaptaciones según el caso de estudio. Aún así, un factor común en las definiciones de "agente artificial" es la presencia de un objetivo el cual delimita el rol que desempeña. Para el algoritmo propuesto, se definió una relación entre rol, intención y propósito de forma tal que la unión de dos de estos conceptos definirían el tercero. Este esquema le permitiría al agente "formar intenciones" en concordancia con sus objetivos. La "intención" en este escenario, debe ser considerada como los objetivos específicos que componen un objetivo general formulado para el agente.

3) *Modelo de Inteligencia*: Describió los mecanismos de razonamiento y experiencia que dotaron de la noción de inteligencia a los agentes del modelo. El algoritmo propuesto dictó que los agentes inteligentes llevaran un registro de los *MPA's* ejecutados y la utilidad obtenida al finalizar su ejecución. En el modelo de simulación del SAAB, se registró la ganancia económica obtenida por el agente después de la ejecución de un *MPA* como único factor de "utilidad"; sin embargo, es posible considerar otras variables cuantificables para computar dicho valor. Esto fue necesario para la ejecución del procedimiento: "juzgar el mundo según estándares", incluido en el algoritmo (Ver Figura 4), el cual está basado en el ciclo de experiencia-acción planteado por P. Checkland y J. Scholes [19].

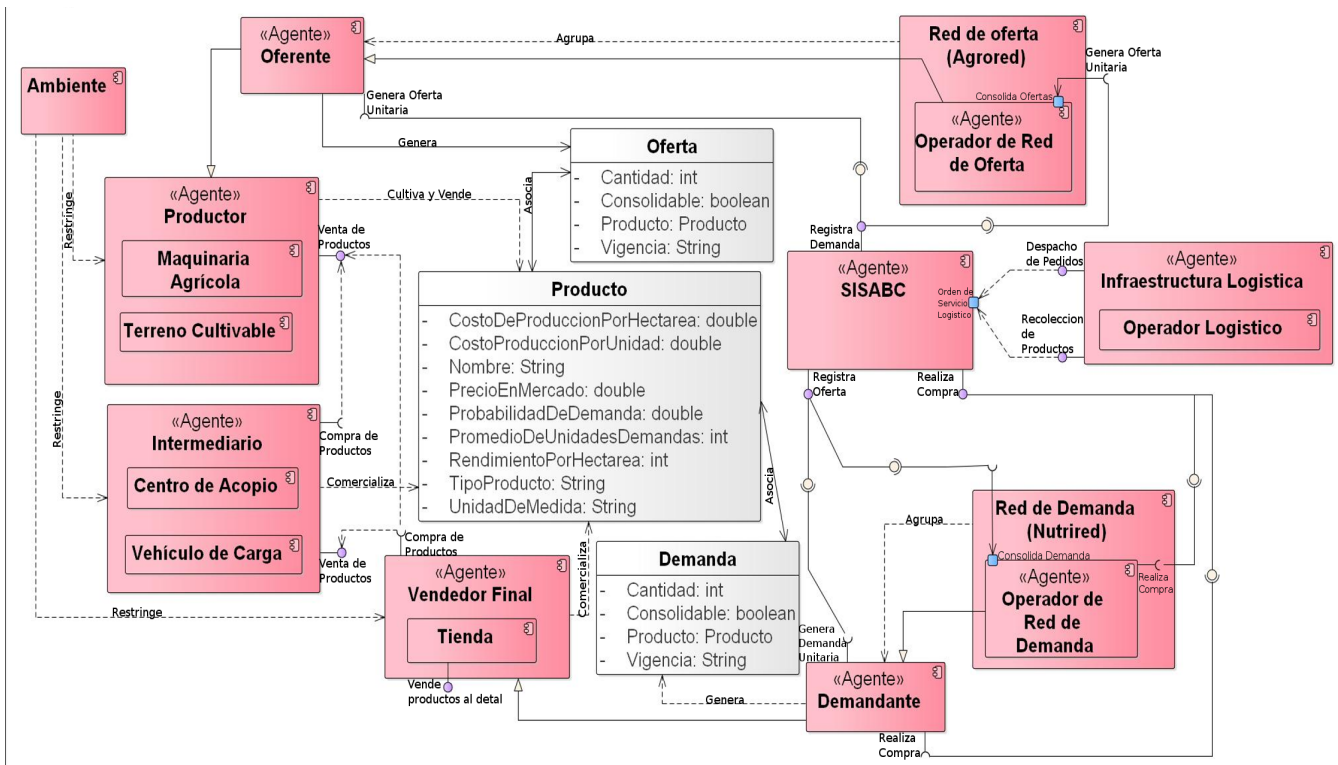


Figura 3: Modelado estático de agentes usando diagramas de componentes estereotipados. Fuente: Este trabajo

Las variables consideradas en el procedimiento fueron:

- $s$ : MPA ejecutado.
- $U_s$ : Utilidad obtenida: Corresponde a la última utilidad obtenida al ejecutar un MPA ' $s$ '. Su valor inicial y mínimo es 0; el máximo:  $\infty$ .
- $M_p$ : Mayor utilidad obtenida: Corresponde a la mayor utilidad obtenida al ejecutar acciones encaminadas a un propósito definido ' $p$ '. Su valor inicial y mínimo es 0; el máximo:  $\infty$ .
- $E_s$ : Cantidad de ejecuciones consideradas exitosas por el agente al ejecutar un MPA ' $s$ '. Su valor mínimo es 0 y el máximo:  $\infty$ .
- $T_s$ : Número total de veces que el agente ha ejecutado un MPA ' $s$ '. Su valor mínimo es 0 y el máximo:  $\infty$ .

Así entonces, en cada iteración se evaluó:

$$T'_s = T_s + 1$$

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

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

De esta forma, cuando el agente comparaba los resultados obtenidos con sus experiencias anteriores, podía determinar si la acción ejecutada fue "buena" o "mala", concepto que es usado posteriormente en la toma de decisiones, completando el ciclo experiencia-acción: "toda acción con propósito definido, derivada del conocimiento basado en experiencia dará en sí por resultado una nueva experiencia" [19, pág. 19].

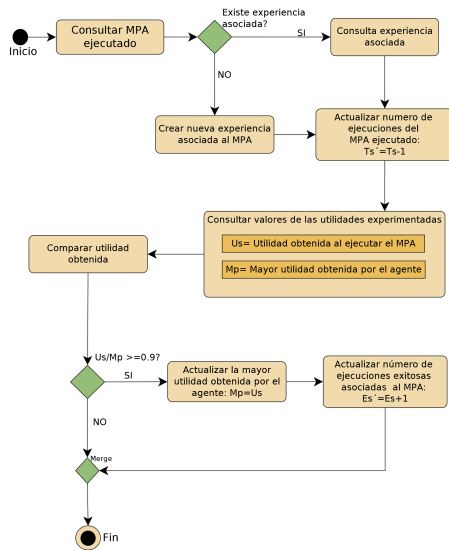


Figura 4: Procedimiento para juzgar el mundo según estándares. Fuente: Basado en el ciclo experiencia-acción propuesto en [19]

El algoritmo de simulación del comportamiento humano también incluyó un procedimiento pre-establecido para la toma de decisiones de los agentes inteligentes (Ver Figura 5). En éste, los agentes deben listar los MPA's disponibles en su entorno que coinciden con su propósito; de existir más de uno son iterados mediante un algoritmo genético [20] para encontrar aquel que más le convenga según su experiencia. En el algoritmo genético usado en este trabajo, un *Gen* representa un MPA ejecutable en el entorno; los *Cromosomas* contienen un solo gen y representan el MPA más conveniente a ejecutar según la experiencia del agente; los MPA's están compuestos de una o más actividades internas, estructuradas en una secuencia lógica consistente; la mutación de un *Gen* se define como la variación de esas actividades en otras igualmente consistentes. Los valores de probabilidad que determinan la posibilidad de selección, cruce y mutación se definen aleatoriamente.

La función de adaptabilidad  $F_s$  usó los valores calculados en el procedimiento para juzgar el mundo según estándares, asegurando así la "toma de decisiones basada en la experiencia":

$$F_s = \left(\frac{E_s}{T_s}\right) * 100 \quad (1)$$

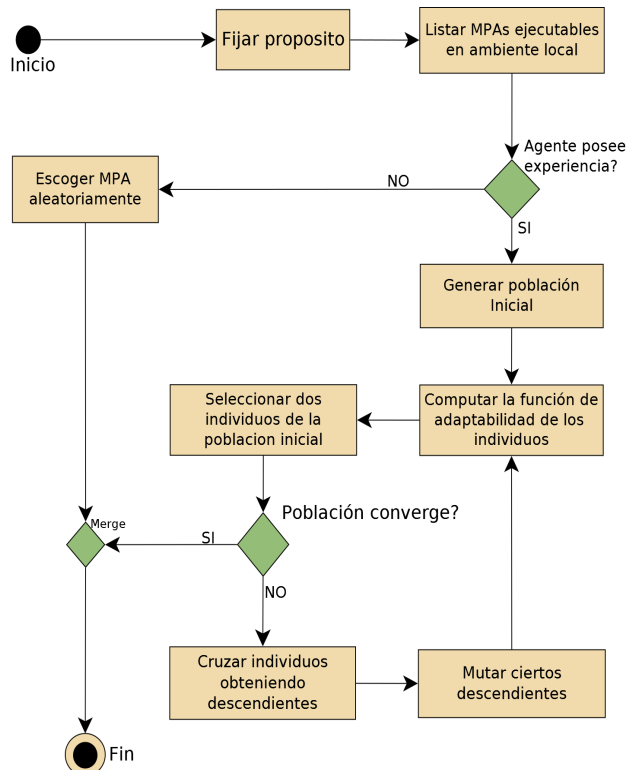


Figura 5: Procedimiento para tomar decisiones. Fuente: Basado en el ciclo experiencia-acción propuesto en [19]

Como se puede observar, la configuración del algoritmo genético implementado podría ser reemplazado por un algoritmo de búsqueda simple o un modelo matemático a ser maximizado por mecanismos convencionales; sin embargo, se incluyó con el fin de hacer el modelo escalable a variaciones más complejas en las que los agentes inteligentes sean capaces de construir la secuencia de actividades a ejecutar, aumentando el número de genes presentes en un cromosoma.

4) *Modelo de Comunicación*: Definió los actos de habla considerados en el modelo. El algoritmo no hace uso de componentes del lenguaje y en el caso de estudio abordado su diseño se basó en el estándar proporcionado por la FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*)[21], la cual proporciona un marco de trabajo que incluye 22 actos comunicativos sobre los cuales se pueden construir modelos de comunicación

con distintos propósitos.

5) *Modelo de Coordinación:* Especificó detalladamente los protocolos de conversación e interacción de los componentes del modelo. Dada la interdependencia tácita de los agentes en el modelo, un esquema de coordinación fue imperativo para definir los tiempos y prioridades en que diferentes actividades concurrentes serían ejecutadas así como el intercambio de información mediante actos comunicativos. A diferencia de otras metodologías de simulación, el tiempo de ejecución de un modelo basado en agentes tiende a ser continuo, donde las propiedades emergentes deseables o esperadas, pueden no ser inmediatas o estáticas. En la simulación implementada se hizo uso de ciclos de tiempo discretos [22] los cuales vienen como mecanismo de coordinación por defecto en el marco de trabajo *Repast Symphony* [23]; no obstante, el algoritmo propuesto no está ligado a la adopción de alguna estrategia de coordinación específica.

### C. Diseño de la herramienta basada en software

Se desarrolló una herramienta de software que automatizara la ejecución del modelo de simulación basado en agentes. Sus componentes posibilitaron la interacción de agentes artificiales, los cuales representaron el comportamiento de los actores presentes en una eventual implementación del PMASAB por parte del gobierno distrital. Se limitaron las funcionalidades del prototipo buscando simplificar su implementación para garantizar un primer ejercicio de validación viable dentro del alcance y los recursos previstos en este trabajo. El diagrama de casos de uso de la Figura 6 resume el alcance funcional de dicha herramienta.

Para el diseño de la herramienta se efectuaron las siguientes actividades:

- 1) Determinación de requerimientos funcionales y no funcionales.
- 2) Especificación funcional basada en casos de uso. El diagrama general de casos de uso (Ver Figura 6) fue acompañado con una especificación detallada de cada una de las funcionalidades.
- 3) Comparación de marcos de trabajo para simulación basada en agentes y escogencia de uno de ellos.

- 4) Diseño arquitectónico prescriptivo con estereotipado de componentes. Este ejercicio generó una propuesta arquitectónica prescriptiva como la presentada en la Figura 7. Como se puede observar, en tiempo de construcción de la herramienta, se requirió codificar una serie de interfaces de módulos para integrarlos al marco de trabajo escogido.
- 5) Modelado estructural de cada módulo.
- 6) Modelado dinámico o comportamental interobjeto.
- 7) Valoración de la posible integración de módulos al marco de trabajo *Repast Symphony* para determinar la técnica más adecuada.

### D. Construcción de la herramienta basada en software

Después de escoger el marco de trabajo de simulación que se utilizó en este trabajo (*Repast Symphony*), se integró a los diversos módulos tal como lo ilustra la arquitectura prescriptiva presentada en la Figura 7. Para este propósito se usó como plataforma de implementación de los modelos basados en agentes y como paquete de librerías vinculables a los módulos del proyecto implementados con el lenguaje de programación Java, sin necesidad de configurar todas las dependencias de la plataforma.

1) *Integración con el módulo de tareas y coordinación:* Siguiendo la línea conceptual definida en el modelo, los MPA's fueron implementados de una interfaz denominada `SistemaActividadHumana`, ésta declara la firma de un método principal denominado `secuenciaPrincipalDeAcciones` que contiene la secuencia de pasos que un agente debe ejecutar para conseguir el propósito perseguido. Una clase denominada `ProcesoAgenteHumano` implementó dicha interfaz y generó la abstracción del comportamiento cíclico de un agente humano activo en el mundo como fue definido por Checkland, P. y Holwell, S. en [17], de la cual cada "Agente Inteligente" posee un ejemplar que se ejecuta bajo el método `step()`. Mediante la anotación de agendamiento `ScheduledMethod`, proporcionada por *Repast Symphony*, se programó la ejecución en diferentes ciclos (según la parametrización que fue definida).

El agendamiento proporcionado por *Repast Symphony* permitió especificar el tipo de agente (clase) y la acción (método) que se debía ejecutar en un determinado ciclo de tiempo (`tick`). Haciendo uso del soporte a anotaciones introducido a partir de Java 5, es posible



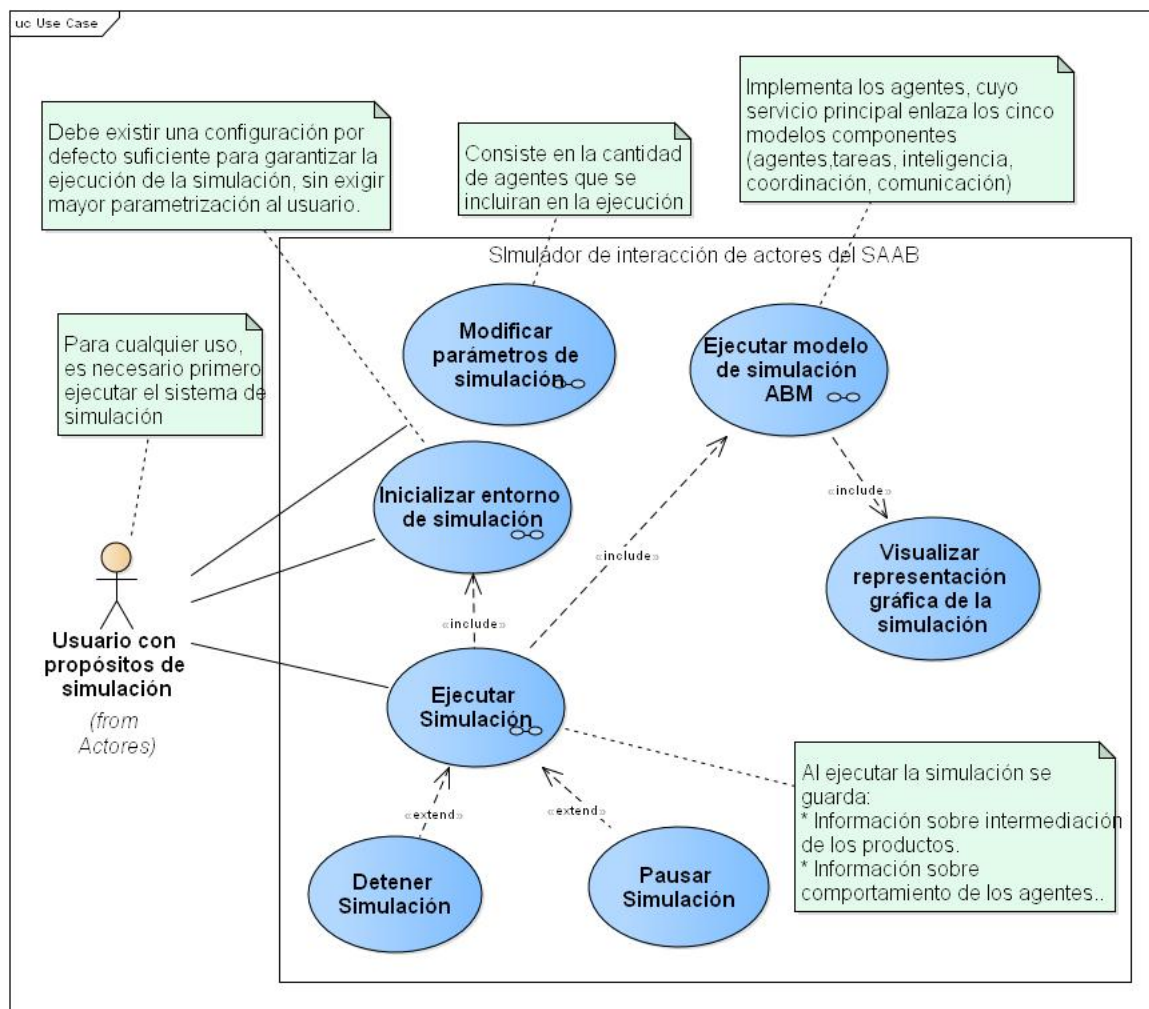


Figura 6: Diagrama general de casos de uso de la herramienta de software. Fuente: Este trabajo

especificarlo de esta forma. El agendador busca los objetos en tiempo de compilación y programa su ejecución según seis elementos de parametrización opcionales: Número límite de ciclos de ejecución( *duration*), periodo de ejecución del procedimiento basado en número de ciclos( *interval*), escogencia de objetos( *pick*), prioridad del procedimiento( *priority*), escogencia de ejecución aleatoria o no ( *shuffle*) y arranque de ciclo ( *start*).

Para tener un mayor control sobre la ejecución de los “sistemas de actividad humana” y a su vez garantizar una visualización didáctica de la simulación,

la secuencia de actividades fue arbitrariamente dividida en un número determinado de pasos mediante un condicional de selección (*switch*). Se usó un atributo denominado Estado para asignar una bandera de validación que garantice la inicialización de los parámetros necesarios para una correcta ejecución y cuando un MPA ha sido terminado. Los posibles estados se definieron en un atributo de tipo enumerador denominado EstadosActividad.

## 2) Integración con el módulo de agentes:

Para los agentes considerados “inteligentes” en la simulación, se definió la interfaz



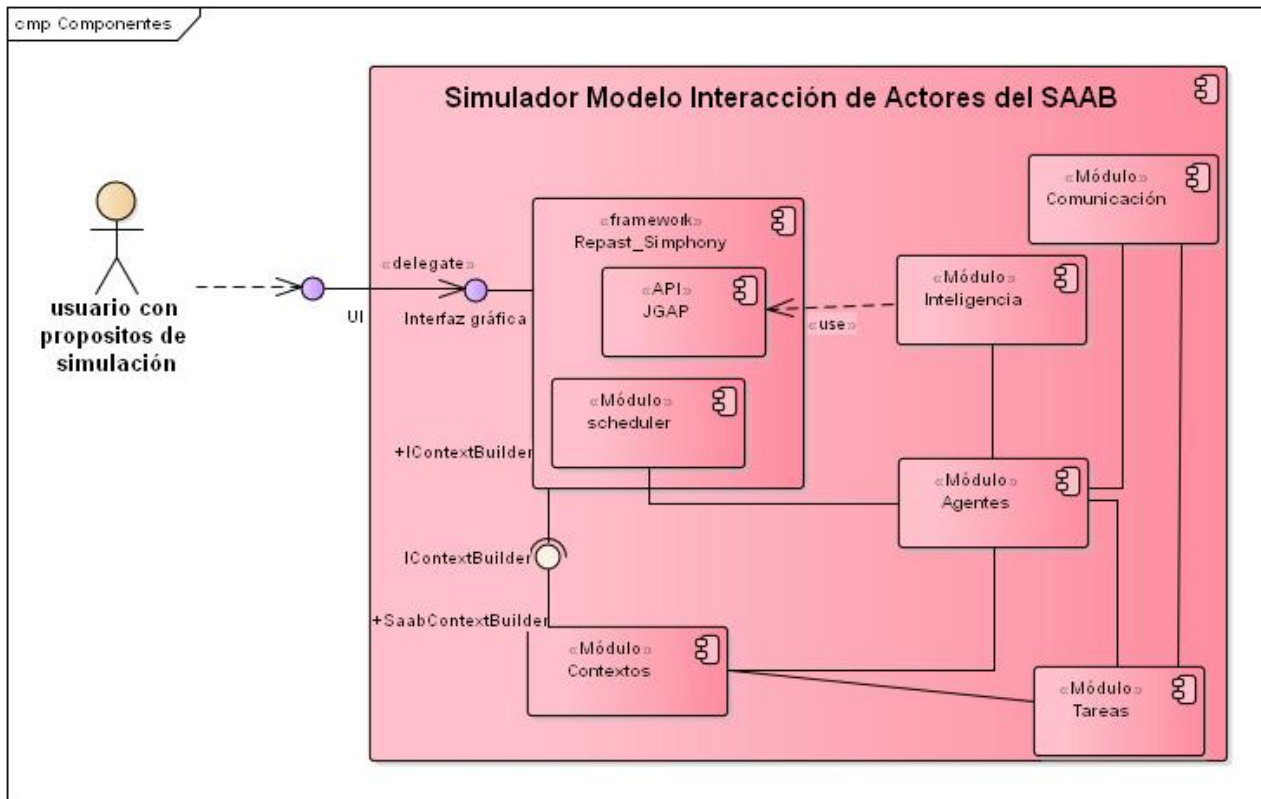


Figura 7: Arquitectura prescriptiva de la herramienta de software. Fuente: Este trabajo

AgenteInteligente, la cual declara los métodos `percibirMundoSelectivamente()`, `formarIntenciones()`, `tomarDecisiones()`, `actuar()`, `juzgarMundoSegunEstandares()`, que deben ser implementados por los agentes de acuerdo al rol que desempeñan. Tales métodos son invocados secuencialmente por la clase `ProcesoAgenteHumano`, cumpliendo de tal forma el esquema de ejecución especificado en el modelo de simulación.

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

El agente SISAAB es implementado en una clase

abstracta con métodos estáticos sincronizables que pueden ser invocados por los agentes del modelo. Los métodos de la clase emulan los servicios prestados por los sistemas de información del SAAB en lo que respecta a los procesos de negocio de oferta, demanda y compra de productos. El comportamiento de los agentes, reactivos e inteligentes tiende a estar encapsulado en clases que implementan la interfaz `SistemaActividadHumana` y para ciertos fines son ejecutados fuera del marco del modelo de proceso para un agente activo en el mundo.

3) *Integración con el módulo de inteligencia:* La clase `Cerebro` implementa los métodos necesarios para la toma de decisiones y evaluar una experiencia al ejecutar un MPA. Los agentes inteligentes poseen un ejemplar de esta clase en la cual delegan el procesamiento de tales procedimientos.

#### 4) Integración con el módulo de comunicación:

Fue definida la interfaz `Concepto` que es implementada por las clases que poseen un significado en la ontología establecida para el modelo de simulación. La comunicación entre los agentes fue posible mediante la invocación del método `recibirMensaje(MensajeACL mssg)`, declarado en la interfaz `AgenteInteligente`, cuya implementación debe encolar los mensajes recibidos para ser atendidos por el agente en algún ciclo de ejecución.

#### E. El experimento

La herramienta de software obtenida implementó un modelo de simulación basado en agentes de un entorno socio-económico agroalimentario usando agentes de software y sistemas suaves. El experimento partió de la ubicación sobre un espacio geográfico (que representa el primer anillo de abastecimiento) cuatro tipos de agentes (productor, intermediario, vendedor final y consumidor) y las estructuras definidas en el SAAB para el abastecimiento alimentario (nodos logísticos, plazas distritales, puntos de oferta y demanda). Los agentes (siguiendo el algoritmo de simulación del comportamiento humano) ejecutan dos tipos de acciones: Las encaminadas al abastecimiento comercial tradicional (referido en esta sección como "Tradicional") y las orientadas al abastecimiento mediado por un sistema informático (llamado de ahora en adelante "SISAAB"). En sus primeras ejecuciones, los agentes escogen los MPA's de forma aleatoria y una vez cuentan con experiencia, se basan en la misma para la toma de decisiones. Se esperaba que a partir de este comportamiento, los agentes reconocieran los beneficios del abastecimiento SISAAB frente a los del Tradicional.

El modelo de simulación quedó definido como un sistema de múltiples agentes con la capacidad para ejecutar actividades relacionadas con dos esquemas de abastecimiento alimentario: el comercial "tradicional" y mediante el SAAB.

Sobre un entorno rural se modelaron agentes "Productores" quienes, una vez cuentan con el producto a comercializar pueden escoger si ofertarlo a través del SAAB (para lo cual deben definir el precio de venta) o desplazarse a la cabecera rural más cercana y ofertarlo a un intermediario (en este escenario debe acomodar el precio hasta que un agente intermediario acepte su oferta). Una vez realizada la transacción el

agente productor evalúa las ganancias obtenidas tras ejecutar la actividad y genera un concepto.

Sobre el entorno urbano se modeló el agente "Tendero", el cual para abastecerse de productos tiene la opción de comprar a través del SAAB o desplazarse a los puntos tradicionales de abastecimiento de la ciudad y adquirirlo al precio de venta, para después ofrecerlo al consumidor final. Al igual que el "productor", al terminar la ejecución de la actividad correspondiente evalúa las ganancias obtenidas y genera un concepto.

Los demás agentes del sistema se comportan de forma limitada y algunos como el SISAAB (Sistema de información del SAAB) se diseñaron como agentes reactivos.

Para que la toma de decisiones de los "agentes inteligentes" definidos en la simulación emulara una situación real, fue necesario idear una estrategia que permitiera inferir de forma similar a como lo haría un ser humano. Para esto se diseñó un algoritmo de cinco pasos (basado en el ciclo experiencia-acción definido en [14] y el modelo de comportamiento de un agente humano activo en el mundo definido en [17]) iterados cíclicamente, que dotan al agente con la capacidad para actuar de acuerdo a sus creencias, experiencias y percepciones del entorno. A continuación se detalla cada uno de los pasos que componen el algoritmo de simulación del comportamiento humano definido en el proyecto.

1) *Percibir mundo selectivamente*: Con el fin de encapsular todas las posibles restricciones ambientales que pueden afectar a un agente, se implementa lo que los autores del proyecto decidieron llamar "*restrictividad inversa de los entornos mediante sistemas de actividad predefinidos*"; se basa en el hecho que las restricciones de un entorno definen la forma como un "agente" debe actuar en busca de un propósito. Esto implica que si fuera posible definir todas las posibles secuencias de actividades realizables en pro de un objetivo específico en un espacio definido, implícitamente se estarían plasmando las restricciones físicas, políticas y culturales del entorno representado. Así entonces, la simulación del entorno será más precisa, entre mayor sea el número de "modelos de actividad con propósito definido viables (MPA's)" configurados en el mismo. En este escenario la "selectividad" la define el propósito del agente, pues solo percibe aquello que es relevante para sus intenciones vigentes.

Los entornos o "ambientes" incluidos en la simu-

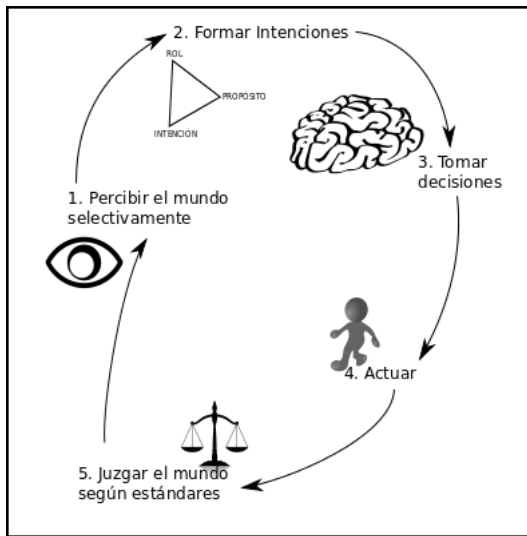


Figura 8: Algoritmo de simulación del comportamiento humano. Fuente: [17]

lación deben entonces contar con un listado de MPA's, visible para el agente, el cual tomara en cuenta solo aquellos que coinciden con su propósito. Esto emula la capacidad humana para sesgar su visión a aspectos relevantes a su interés.

2) *Formar intenciones*: Un factor común en las diferentes definiciones de “agente artificial” [18] es la presencia de un objetivo el cual delimita el rol que desempeña. Al crear una relación entre el rol, intención y propósito de forma tal que la unión de dos de estos conceptos definan el tercero, permite al agente formar su intencionalidad consistentemente con sus objetivos. Al tener un rol definido e intenciones preestablecidas, se pueden determinar propósitos específicos viables para el agente.

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

3) *Tomar decisiones*: Se define como el procedimiento mediante el cual un agente establece la se-

cuencia de acciones que llevará a cabo para cumplir su propósito vigente, evaluando la “conveniencia” de un conjunto de MPA's, al calcular su valor de adaptabilidad mediante un algoritmo genético. Se basa en el esquema de implementación planteado en el *The Procedural Reasoning System (PRS)*, desarrollado en el instituto de investigación de la Universidad de Stanford [18, pág. 82].

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

4) *Actuar*: Consiste en la ejecución del MPA seleccionado mediante las iteraciones de decisión. La complejidad del modelo de simulación resultante es directamente proporcional al número de MPA's incluidos. Esta característica está fundamentada en la definición de sistema social de Allport (citado en [15]): “*estructuración de acontecimientos (o sucedidos)*” el cual “*no tiene una estructura separada de su funcionamiento*”; de esta forma, mediante los MPA's incluidos en el modelo se define en sí el entorno social simulado.

5) *Juzgar el mundo, según estándares*: En este paso el agente fija sus estándares, formulando conceptos de *exitoso* o *no exitoso* y reformulando sus estándares a través de la experiencia. Basado en el ciclo “*ciclo de experiencia-acción*” planteado por [19], cada acción del agente retroalimenta su comportamiento y le permite adaptarse a las condiciones del entorno.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y METODOLOGÍA

Los aportes de este trabajo se consolidan en dos subsecciones: Los resultados obtenidos desde la ejecución del experimento y la propuesta metodológica que integra la MSS[14], los conceptos propuestos por la psicología social de las organizaciones desde el enfoque de Kaz y Kahn[15], la aplicación de conceptos y técnicas de especificación de agentes[16] y el uso de unidades lingüísticas de UML 2.x[5] para apoyar tanto el modelado de agentes como los módulos de software que se integraron al marco de trabajo *Repast Symphony*.

#### A. Las deducciones desde el experimento

Los datos generados por el software de simulación se analizaron desde dos perspectivas; (1) preferencias

de los agentes frente al SAAB como opción de abastecimiento y (2) efectos del SAAB en el precio al consumidor final.

1) *Sobre las preferencias de los agentes:* La Figura 9 representa la toma de decisiones de los agentes en diferentes tiempos de ejecución: El eje X representa los ciclos (*ticks*) en miles (el segmento 0 - 5 equivale a los primeros cinco mil ticks), y el eje Y indica la cantidad de veces que un MPA es ejecutado. Las esferas (en azul) representan los MPA's orientados al *SISAAB* y los cuadros (en rojo) representan los orientados al *Abastecimiento Tradicional*. El tamaño de los polígonos, indica la cantidad de ejecuciones consideradas exitosas por los agentes.

Se observa que las primeras ejecuciones orientadas al *SISAAB* cuentan con una aceptabilidad alta por parte de los agentes (fija los estándares al principio de la simulación), generando dos picos de ejecución (el más alto cerca a los 575 y el segundo más alto alrededor de las 480 ejecuciones); sin embargo tales picos muestran un nivel de éxito (tamaño del polígono) bastante bajo, lo cual altera la percepción de los agentes, quienes terminan optando por el *abastecimiento Tradicional*, el cual muestra un nivel de éxito medianamente constante.

Se concluye que por la complejidad del problema abordado, el alcance limitado del prototipo (al no incluir agentes demandantes mayoristas, grandes superficies, transformadores, plataformas y operadores logísticos, integración con el sector financiero, elementos de mercadeo, entre otros) no genera un ambiente comercial lo suficientemente dinámico para que los agentes encuentren beneficios constantes al ejecutar los MPA's orientados al uso del *SISAAB*, al evaluar únicamente los beneficios económicos obtenidos. Esto podría implicar también, que la implementación del SAAB en la ciudad de Bogotá debería estar enfocado en la prestación de beneficios al sector empresarial inicialmente, como forma de estabilización y se debe esperar que sea complementado gradualmente por la actividad comercial de tenderos y consumidores finales. Es necesario, de cualquier forma, pensar en incluir factores intangibles en el proceso de evaluación de beneficios obtenidos además de los económicos; por ejemplo, el estado de los productos recibidos tras una compra *Tradicional* frente al *SISAAB*, las ventajas competitivas asociadas a la trazabilidad del abastecimiento así como beneficios secundarios a gran escala como efectos en movilidad y manejo de residuos.

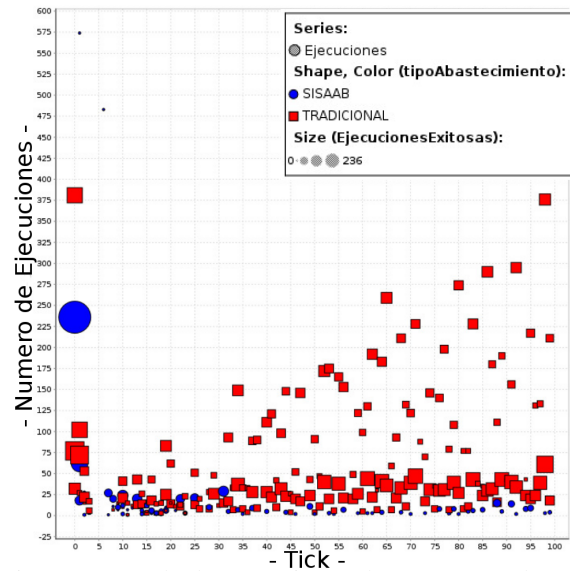


Figura 9: Resultados experimentales respecto a la toma de decisiones por parte de los agentes en un SAA. Fuente: Este trabajo

2) *Sobre la variación de precios:* La Figura 10 muestra la variación de precios de venta del producto según la forma de abastecimiento. Sobre el eje transversal se ubican los tres MPA's principales ejecutados por los agentes "vendedores finales" del modelo de simulación (comprar en Corabastos, comprar por nutired y comprar como demandante individual). El eje de ordenadas indica el precio unitario fijado una vez finalizada tal acción. El color de la esfera diferencia el tipo de abastecimiento al que corresponde el MPA especificado (rojo: *Tradicional*, azul: *SISAAB*).

Se evidencia que la reducción de la intermediación en el proceso de abastecimiento mediante el SAAB, acompañado de un esquema logístico ordenado genera precios de venta factibles más bajos que el abastecimiento tradicional. El Cuadro I muestra la variación de precio obtenida para los dos esquemas de abastecimiento alimentario para el producto fresco bajo estudio (Cebolla de Bulbo).

## B. Consideraciones sobre la metodología aplicada

La Figura 11 resume las fases y actividades ejecutadas con los tiempos dedicados a cada una. Du-

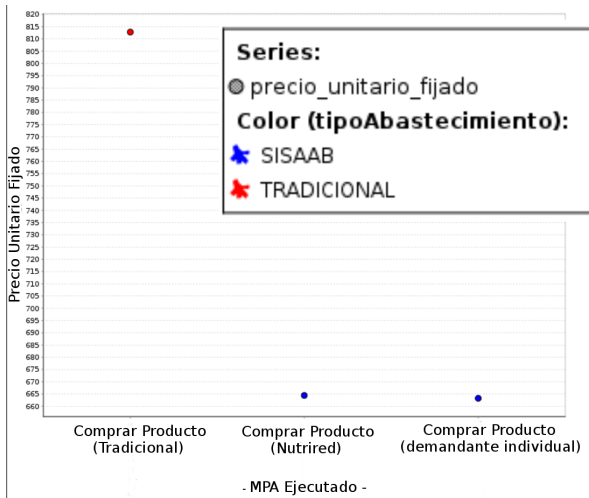


Figura 10: Comparación de precios finales por forma de abastecimiento obtenidas en la simulación. Fuente: Este trabajo

ACTIVIDAD	Tipo abastecimiento	
	Tradicional	Con SISAAB
Productor	\$ 606	\$ 606
Vendedor Final	\$ 813	\$ 664
Variación	34.18%	9.50%

Table I: Variación de precio obtenida en la simulación para cebolla de bulbo). Fuente: Este trabajo

rante la conceptualización, los diagramas enriquecidos planteados en la MSS ayudaron a plasmar de forma focalizada la información disponible sobre el entorno social que comprenden los esquemas de abastecimiento alimentario de Bogotá. Luego, usando el enfoque de Katz y Kahn [15], se encapsularon los roles y funcionalidades útiles para la simulación. Paralelamente, aplicando la MSS se identificaron sistemas de actividad y procesos de transformación en las cadenas de abastecimiento, obteniendo así una conceptualización sustentable del esquema de abastecimiento comercial "tradicional". Adicionalmente, los procedimientos descritos en la formulación del SAAB fueron diagramados mediante BPMN.

La formulación del modelo de simulación basado en agentes se inició con la delimitación del sistema a modelar; haciendo uso de un diagrama de componentes estereotipado, basado en la conceptualización obtenida en la fase anterior, fue posible identificar los

elementos presentes en la conceptualización traducibles en términos de ABM (ver Figura 3). Tomando en cuenta la metodología propuesta por Aguilar et. al. [16] se definieron los modelos de agentes, inteligencia, tareas, comunicación y coordinación, usando diagramas de actividad UML para describir algoritmos y secuencias de comportamiento para los agentes.

A diferencia de lo que se plantea en la metodología de Aguilar et. al., fue necesario separar la conceptualización y modelado del sistema de agentes al de la herramienta computacional que lo implementa, pues se encontraron continuamente discrepancias conceptuales no conciliables con los estándares para modelado de software. Así entonces, a partir del modelo ABM se inició el ciclo de desarrollo de un prototipo de software orientado a objetos. Para la codificación se usó el marco de trabajo *Repast Symphony* al cuál se integró lo construido con el lenguaje de programación JAVA.

1) *Integración de modelos de software con el modelo de simulación*: Los modelos sistémicos de la MSS[14] y la psicología social de las organizaciones[15] permitieron identificar los actores involucrados en el entorno social estudiado, los roles, sus funcionalidades y actividades (como MPA's).

Para crear un puente entre esta interpretación del mundo real con un modelo estructurado orientado a agentes que describiese la simulación requerida, se hizo uso del metamodelo UML como lenguaje de interpretación semántica, respetando el sentido original designado en el estándar. Con tal fin, los componentes físicos y funcionales de los modelos sistémicos fueron representados con diagramas UML de componentes. Se usaron interfaces para representar los "servicios" suministrados y requeridos por estos componentes, describiendo a su vez las relaciones entre ellos mediante relaciones de dependencia, uso y jerarquía.

Usando etiquetas de estereotipado se definieron los componentes a ser considerados como agentes. Esto permitió obtener diagramas suficientemente descriptivos desde los cuales se definió el modelo de simulación, desligado del producto de software requerido para su posterior implementación.

Los MPA's obtenidos mediante la MSS fueron traducidos a diagramas de actividades UML, manteniendo su orden secuencial y agregando estructura a las actividades que infieren alguna toma de decisión o proceder condicional. Estos diagramas UML también fueron utilizados para describir los procesos cognitivos y algo-

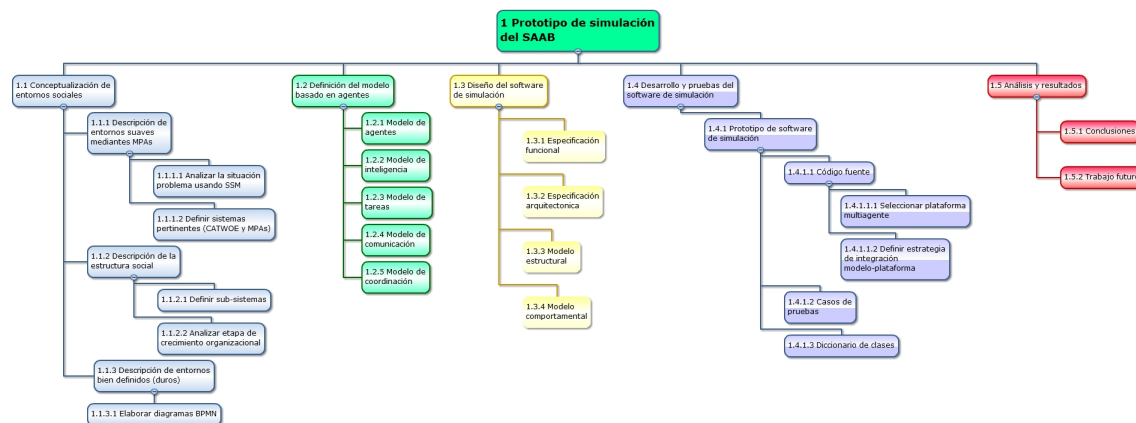


Figura 11: Proceso seguido en el proyecto. Fuente: Este trabajo

ritmos necesarios para la especificación del comportamiento de los agentes.

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados de la simulación arriba descrita inducen a pensar que el uso de un esquema organizado y asistido( Como lo propone el SISAAB) para el abastecimiento alimentario hacia la ciudad de Bogotá reduciría los precios finales a los consumidores. El análisis de la intervención determinó que la implementación del SISAAB permitiría la consolidación de subsistemas gerenciales de apoyo y mantenimiento, llevando su estructura social a una etapa de crecimiento y consolidación organizacional más formal y sostenible.

En este trabajo se corroboró que la propuesta analítica basada en la psicología social de las organizaciones[15] puede ser usada en conjunto con la MSS[14] para obtener un modelo tratable de la interacción entre actores del abastecimiento alimentario de una ciudad.

Otro aspecto que logró este trabajo fue validar la viabilidad de la metodología propuesta por [24], la cual resultó no ser consistente con las reglas de especificación formal de sistemas de ingeniería; por consiguiente, se adoptó un flujo de actividades diferente que separó la definición del modelo basado en agentes(*ABM*) de la especificación del prototipo de software.

Tomando ideas plasmadas por Checkland, P. and Holwell, S. [17], se diseñó un algoritmo orientado a la

simulación del comportamiento humano por un agente artificial, que facilita la transición entre la conceptualización de un entorno social y un modelo basado en agentes.

En la etapa de experimentación con un caso de estudio se corroboró la potencialidad del marco de trabajo *Repast Symphony* en la implementación de modelos basados en agentes orientados a la simulación de entornos complejos.

Para terminar, el reuso del conocimiento solo es posible a través de procesos de investigación reproducibles y con acceso público; por lo anterior y en concordancia con nuestra política de *Open Models and Open Knowledge(OMOK)* se puede acceder a los modelos del proyecto a través de nuestro portal del grupo de investigación ARQUISOFT.

#### V. TRABAJO FUTURO

El modelado de actores socio-económicos o actores de una cadena de abastecimiento alimentario es altamente complejo. La incorporación de otros actores como: operadores y plataformas logísticas intermedias y finales, consumidores mayoristas y cadenas de transformación de alimentos puede lograr un entorno comercial mucho más cercano a la realidad y dinámico en la simulación. Este reto puede abordarse a partir de la extensión de los cimientos que deja este trabajo.

Incorporar el *Modelo de proceso del agente humano activo en el mundo* definido en [17] como base de un es-



quema de comportamiento para los agentes inteligentes, que incluya los efectos de la "discusión" entre individuos sobre sus juicios de valor y toma de decisiones, puede mejorar sustancialmente la representación de la realidad respecto al actuar de los actores de sistemas de abastecimiento alimentario.

Queda trabajo por hacer en el diseño e implementación de mecanismos de validación de la pertinencia de los MPA's incluidos en la simulación; esto dotaría al sistema de características necesarias para ser usada como una herramienta de análisis y construcción de modelos a implementar.

Aspectos de amigabilidad y usabilidad de la herramienta basada en software como el contar con despliegues por pantalla para la visualización de datos y gráficas en tiempo de ejecución de la simulación son objetivos de próximas versiones.

#### REFERENCIAS

- [1] Aragrande, Maurizio y Argenti, Olivio, *Studying food supply and distribution systems to cities in developing countries and countries in transition. Methodological and operational guide (Revised version)*, "Food into Cities" Collection, DT/36-01E ed., Food and Agriculture organization of the United Nations. Rome, 2001.
- [2] FAO: Agriculture and Consumer Protection, "Chapter 1. Food Supply and Distribution Systems to Cities," March 2016. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/003/x6996e/x6996e08.htm>
- [3] A. Ruiz, A. Caicedo, and J. Orjuela, "Integración externa en las cadenas de suministro agroindustriales: Una revisión al estado del arte," *Revista Ingeniería*, vol. 20, no. 2, pp. 167–188, 2015.
- [4] M. Herrera and J. Orjuela, "Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: Un enfoque desde la dinámica de sistemas," *Revista Ingeniería*, vol. 19, no. 2, pp. 63–84, 2014.
- [5] "Unified Modeling Language (OMG-UML)," Specification, Object Management Group, 2013. [Online]. Available: <http://www.uml.org/#UML2.0>
- [6] F. Pereira dos Santos, D. Adamatti, H. Rodrigues, G. Dimuro, E. De Manuel Jerez, and G. Dimuro, "A multiagent-based tool for the simulation of social production and management of urban ecosystems: A case study on san jerónimo vegetable garden - seville, spain," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 19, no. 3, p. 12, 2016. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/19/3/12.html>
- [7] D. Cockburn, S. A. Crabtree, Z. Kobti, T. A. Kohler, and R. K. Bocinsky, "Simulating social and economic specialization in small-scale agricultural societies," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 16, no. 4, p. 4, 2013. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/4.html>
- [8] S. Heckbert, "Mayasim: An agent-based model of the ancient maya social-ecological system," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 16, no. 4, p. 11, 2013. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/11.html>
- [9] J. Demarest, S. Pagsuyoin, G. Learmonth, J. Mellor, and R. Dillingham, "Development of a spatial and temporal agent-based model for studying water and health relationships: The case study of two villages in limpopo, south africa," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 16, no. 4, p. 3, 2013. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/3.html>
- [10] ""series de población"," 2016. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/series-de-poblacion>
- [11] U. E. de Servicios Públicos UESP, "Soporte técnico del plan maestro de abastecimiento y seguridad alimentaria de bogotá," Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos UESP, Bogotá D.C., Tech. Rep. Documento soporte técnico, 2006.
- [12] A. M. de Bogotá, "Decreto 315 de 2006," Aug 2006. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21063>
- [13] UESP, "Soporte técnico del plan maestro de abastecimiento y seguridad alimentaria de bogotá," [CD-ROM], Marzo 2006.
- [14] P. Checkland, *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*, 3rd ed. Limusa, 1993.
- [15] D. Katz and R. Kahn, *Psicología Social de las Organizaciones*, 2nd ed. Willey, 1989.
- [16] J. Aguilar, I. Bessembel, M. Cerrada, F. Hidrobo, and F. Narciso, "Una metodología para el modelado de sistemas de ingeniería orientado a agentes," *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 12, no. 38, pp. 39–60, 2008.
- [17] P. Checkland and S. Holwell, *Information, systems and information systems: Making sense of the field*, 1st ed. Willey, 1998.
- [18] M. J. Wooldridge, *An introduction to multiagent systems*, 2nd ed. Willey, 2002.
- [19] P. Checkland and J. Scholes, *La metodología de sistemas suaves en acción*, 3rd ed. Limusa, 1994.
- [20] D. Goldberg, "Genetic algorithms and machine learning," *Computer*, no. 3, pp. 95–99, 1988. [Online]. Available: [http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/46947/10994\\_2005\\_Article\\_422926.pdf](http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/46947/10994_2005_Article_422926.pdf)
- [21] FIPA, "FIPA Communicative Act Library Specification," [Online], December 2002. [Online]. Available: <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.pdf>
- [22] M. Nordström, "Notes on simulation," <http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/oojjava/st08/assign/simulering-eng.html>, 2002, accessed: 2013-11-30.
- [23] M. North and N. Collier, "Repast reference," PDF, 2010. [Online]. Available: <http://repast.sourceforge.net/docs/RepastReference.pdf>
- [24] J. Aguilar, J. Chacal, M. Cerrada, F. Hidrobo, and C. Bravo, ""specification of a multiagent system for planning and management of the production factors for automation based on the scdia framework and masina methodology"," *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS AND CONTROL*, vol. 3, no. 2, pp. 79–88, 2008. [Online]. Available: <http://www.worldses.org/journals/control/control-2008.htm>