

Desarrollo y simulación de un sistema multiagente para la comunicación de semáforos para encontrar la ruta óptima mediante grafos.

Robert Loarte^a, Bolívar Quizhpe^a, Henry Paz-Arias^b

^a Área de la Energía, Universidad Nacional de Loja, Ciudadela Universitaria Guillermo Falconí Espinosa La Argelia. Loja, Ecuador
robert.loarte@gmail.com , boloqv.88@gmail.com

^b Facultad de Ingeniería en Sistemas, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-25 y Andalucía.
henry.paz@epn.edu.ec

Resumen. En el presente artículo trata sobre el desarrollo y simulación de un sistema multiagentes que serán representados por semáforos con el objetivo de que estos se comuniquen a través de un lenguaje establecido y logren tomar decisiones de manera autónoma, esto desarrollado a través de una arquitectura denominada BDI (Beliefs: Creencias, Desires: Deseos, Intentions: Intenciones) y a través de JADE (Framework para el desarrollo de agentes en Java) con FIPA-ACL que soporta la coordinación de múltiples agentes y proporciona un lenguaje estándar de comunicación entre ellos. Los semáforos se comunican cuando se haya producido un evento, por ejemplo: Accidente, aglomeración y cuando exista un nuevo agente, se comunican los semáforos más cercanos al semáforo donde se produjo el evento. Cada vez que exista un accidente o aglomeración, estos semáforos se marcaran en el mapa, dando la posibilidad al usuario de evitar esos semáforos y trazándose una ruta hacia su lugar de destino.

Palabras Clave: Sistemas Multiagentes, Jade, FIPA-ACL, Ruta Optima.

1 Introducción

El incremento [1] del parque automotriz que se produce cada año en el país, hace que la parte céntrica de las ciudades del país se produzca congestiones y con ellos posibles accidentes, al mismo tiempo la contaminación que produce al medio ambiente. El desarrollo de sistemas inteligentes para el control de tráfico automotriz, permite controlar el tráfico más eficaz y eficientemente, se controla en tiempo real detectando accidentes, verificando si existe aglomeración de vehículos o de personas y ayudando a los conductores a elegir rutas alternas para poder llegar a su destino evitando contratiempos, permitiendo el ahorro de combustible, control de tiempo por parte del conductor y mayor fluidez en el tráfico vehicular y peatonal.

En la actualidad los semáforos son sistemas temporizados para cambiar de un estado a otro y siguen un patrón de secuencia fija, ya que carece de inteligencia para tomar decisiones; esto presenta una gran desventaja en las horas pico. Para ayudar a solventar el tráfico de manera más eficaz se propone utilizar semáforos inteligentes ya que de acuerdo al grado de congestión que presente alguna vía de una intersección prolongue

un poco más el paso de los automóviles para así descongestionar las principales arterias viales.

Actualmente los semáforos en la ciudad en Loja [2], la mayoría de ellos son temporizados y algunos mecánicos, por esa razón se sincronizan en un tiempo específico para cambiar de estado “Rojo, verde, amarillo”.

Datos otorgados por la unidad municipal de transporte terrestre de la ciudad Loja a diciembre del 2014 actualmente existen 117 semáforos que se distribuyen alrededor de la ciudad de Loja.

38 semáforos con tecnología LED.

79 semáforos Incandescentes.

Al existir semáforos mecánicos y semáforos temporizados mezclados, estos no pueden sincronizarse, ni tampoco pueden comunicarse entre sí, imposibilitando que estos semáforos se adapten a las condiciones de tráfico en tiempo real, dando en ocasiones prioridad a calles vacías sin tráfico que calles que se encuentran saturadas.

El objetivo primordial de este proyecto es crear una arquitectura multiagente representado por semáforos que permitan comunicarse entre sí, desarrollado a través de un Framework denominado JADE y con estándares de comunicación FIPA-ACL, simulando accidentes o aglomeraciones los semáforos podrán tomar decisiones por sí mismos e informar a sus semáforos más cercanos sobre un evento que se ha producido en su intersección.

El sistema multiagente también está diseñado para que el usuario evite pasar por los accidentes o aglomeraciones que existan, el usuario elige el punto de origen y el destino y se trazara una ruta evitando dicho eventos, ayudando a descongestionar las vías y haciendo el tráfico más fluido.

2 Características de las herramientas de software.

Para desarrollar el sistema multiagente para la comunicación de semáforos se utilizó el framework JADE desarrollado en Java.

JADE [3] (Java Agent DEvelopment Framework): Es una plataforma de código abierto para aplicaciones de agentes basados en peer-to-peer.

JADE está desarrollado en java, esto simplifica significativamente el desarrollo de sistema multiagentes y que cumple con las especificaciones FIPA [4]. Un sistema basado en JADE puede ser distribuido a través de una red de computadoras independientemente del sistema operativo y se puede controlar a través de una interfaz de usuario remotamente. JADE se implementa por completo en Lenguaje java y la exigencia mínima es la versión 5 de java en adelante.

La arquitectura basada para el desarrollo del sistema Multiagente es la BDI (Beliefs, Desires, Intentions), en esta arquitectura el agente es visto como un agente autónomo racional, capaz de tomar decisiones por sí mismos a través de las creencias y deseos almacenados en una base de datos e intenciones.

- Las creencias son información que contiene al agente de su entorno, en este caso el entorno puede ser una aglomeración, accidente o cuando se crea un nuevo agente.

- Los agentes poseen un conjunto de deseos, el cual los agentes los toma como prioridades o como objetivos principales, por ejemplo: Informar que se ha producido un accidente a los semáforos más cercanos o informar de qué existe un nuevo agente.
- Las intenciones son los deseos elegidos y dicho agente informara a los agentes más cercanos sobre el deseo elegido que se encuentra almacenado en una base de datos.

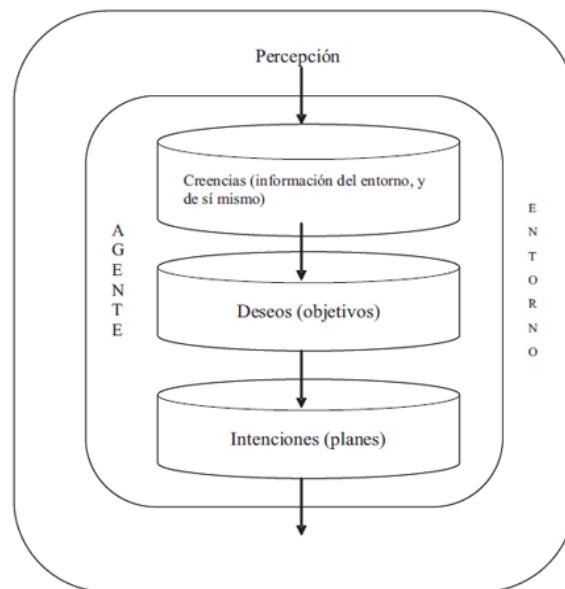


Figura 1. Arquitectura BDI básica.

FIPA-ACL permite que los agentes se comuniquen a través del intercambio de mensajes, que representan actos de habla, codificados en un lenguaje de comunicación de agentes, así mismo FIPA-ACL brinda el soporte para el transporte de mensajes y servicio de directorios.

El servicio de transporte de mensajes que provee FIPA-ACL es confiable ya que dicho mensaje llega sin alteraciones a su destino, así mismo fiable ya que dicho mensaje se recibe tal y como se envía.

La condición que se necesita para que exista comunicación entre agentes es que dicho agentes deben tener un ID único que les diferencie de todos los demás y un localizador que describen el tipo de transporte y la dirección de transporte específico para cada agente.

En la figura 2 se puede observar un extracto de comunicación de agentes con sus respectivos ID's y Localizadores.

```
(request
  :sender (agent-identifier
    :name Mind@localap)
  :receiver (agent-identifier
    :name Body@localap)
  :content
    "Tactic=
    IncreaseStudentSelfEfficacy"
  :language "BodyAgent"
  :protocol fipa-request
)
```

Figura 2. Comunicación de agentes.

El sistema puede trazar una ruta evitando los accidentes/aglomeraciones que existan en la parte céntrica de la ciudad de Loja, el punto de origen y destino son dados por el usuario en este caso el conductor. Para lograr trazar una ruta, se diseñó un algoritmo basándose en grafos donde cada nodo es un semáforo.

3 Metodología de desarrollo de software.

Para el desarrollo del sistema Multiagente se hizo uso de la metodología **GAIA** [5] **GAIA** es una metodología enfocada al análisis y diseño de sistemas de software basados en agentes inteligentes, define al sistema multiagentes como un conjunto de roles y organizaciones que posee un agente.

- Fase de Análisis. En esta fase se define los roles principales que tendrá cada agente y establecer las relaciones entre cada agente. Los modelos de interacción define los protocolos a usar, así como los agentes que iniciaran una iteración y los receptores y el procesamiento de información.
- Fase de diseño: Es el diseño concreto donde existen los modelos de agentes y el modelo de comunicación representados por el diagrama de secuencia.

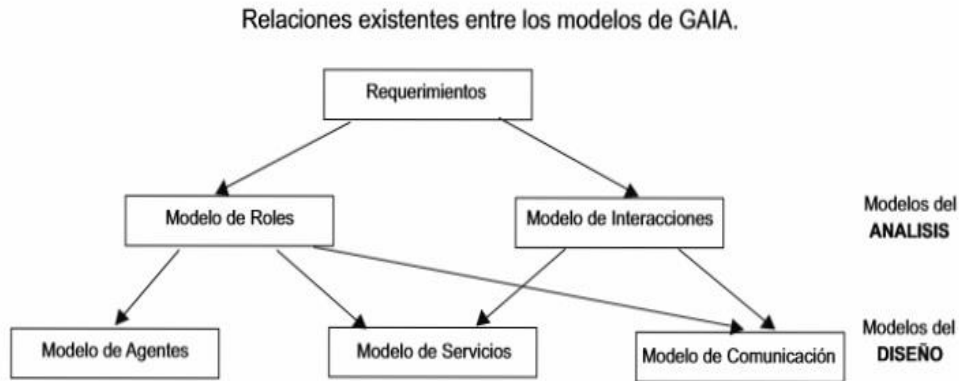


Figura 3. Metodología GAIA.

4 Resultados.

Para el desarrollo del siguiente sistema multiagente, se ha utilizado diversas herramientas, dando como resultado el sistema de comunicación de semáforos y trazado de ruta para evitar accidentes que se describen a continuación.

Análisis, diseño y desarrollo de agentes inteligentes y su comunicación entre sí.

A continuación se detalla el proceso para el desarrollo de los agentes inteligentes y su comunicación a partir del análisis y diseño usando la metodología GAIA.

4.1 Análisis del sistema:

De acuerdo a la metodología GAIA en la fase de análisis se definen los roles del sistema y el modelo de interacciones.

Después de un análisis profundo se establecieron las creencias y los deseos que poseerá cada agente y los roles que cumplirá cada uno y como interactuarán entre, teniendo en cuenta que los agentes son emisores y receptores.

- Creencias:
 - Hay comunicación.
 - No hay comunicación.
 - Hay accidente.
 - No hay accidente.
 - Nuevo agente.
 - No existe un agente.
 - Hay congestión.
 - No hay congestión.
- Deseos:
 - Informar accidentes.

- Informar congestiónamiento.
- Existe un nuevo agente.

4.1.1 Modelos de roles.

Roles de los agentes:

- Establecer comunicación entre agentes.
- Informar aglomeración.
- Informar accidente.

Tabla 1. Establecer comunicación

Esquema del Rol:	Establecer comunicación
Descripción.	Se encarga de establecer la comunicación entre los agentes existentes y nuevos agentes.
Actividades y protocolos.	. El nuevo agente envía mensajes a agentes cercanos. . Envío de mensajes entre agentes existentes. . Recepción de mensaje de disponibilidad del agente vecino.
Permisos:	Lectura: mensaje de disponibilidad. Cambio: Genera: respuesta si el agente está disponible.
Responsabilidades:	Dinámicos: Seguridad.

Tabla N° 2 Informar congestiónamiento.

Esquema del Rol:	Informar congestiónamiento.
Descripción.	Se encarga de informar a los semáforos vecinos sobre un congestiónamiento.
Actividades y protocolos.	Establecer comunicación con los agentes vecinos más cercanos. Enviar información que ha existido un congestiónamiento. Confirmar recepción de mensaje de ubicación
Permisos	Lectura: Mensaje de información de ubicación del accidente. Cambio: Semáforo vecino cambia de estado (Rojo)

Genera:
Responsabilidades: Dinámicos. Cambio el estado de los semáforos. Seguridad. Ninguno

Tabla N°3 Informar accidente

Esquema del Rol Informar accidente
Descripción. Informar a los semáforos vecinos sobre un accidente.
Actividades y protocolos. Establecer comunicación con los agentes vecinos más cercanos. Envía mensaje de información de accidente. Confirma recepción de mensaje de accidente.
Permisos: Lectura: mensaje de información de accidente Cambio: Genera:
Responsabilidades: Dinámicos. Seguridad.

4.1.2 Modelo de Interacciones

El modelo de interacciones define los protocolos a usar, cual es el objetivo de la interacción y especificar los objetivos del emisor y receptor.
Ejemplo:

Tabla N°4 Establecer la comunicación entre agentes

Protocolo	Establecer comunicación entre agentes.
Objetivo.	Se encarga de establecer la comunicación entre los agentes existentes y nuevos agentes.
Iniciador.	Agente emisor.
Receptor.	Agentes receptores.
Entradas.	Mensaje del agente emisor

Salidas.	Respuesta de los agentes receptores.
Procesamiento.	El agente iniciador envía un mensaje para saber si el agente se encuentra disponible, el receptor responde el mensaje para informar su disponibilidad.

Tabla N°5 Informar congestionamiento.

Protocolo	Informar congestionamiento.
Objetivo.	Se encarga de informar a los semáforos vecinos sobre un congestionamiento.
Iniciador.	Agente emisor.
Receptor.	Agentes receptores.
Entradas.	Los agentes receptores reciben información sobre un congestionamiento.
Salidas.	Agente cambia de estado bloqueando el acceso a los vehículos al lugar del congestionamiento.
Procesamiento.	El agente emisor, envía mensaje de información sobre congestionamiento a los agentes más cercanos, los agentes receptores envían mensaje de confirmación y cambian el estado del semáforo.

Tabla N°6 Informa accidente.

Protocolo	Informar accidente
Objetivo.	Se encarga de informar a los semáforos vecinos sobre un accidente.
Iniciador.	Agente emisor.
Receptor.	Agentes receptor.
Entradas.	Los agentes receptores reciben información sobre un accidente.
Salidas.	Agente cambia de estado bloqueando el acceso a los vehículos al lugar del accidente.

Procesamiento.	El agente emisor, envía mensaje de información sobre accidente a los agentes más cercanos, los agentes receptores envían mensaje de confirmación y cambian el estado del semáforo.
----------------	--

4.1.3 Diseño del sistema

Se diseñó el diagrama de clases, el modelo de agentes y el modelo de comunicaciones.

- **Diagrama de clases.**

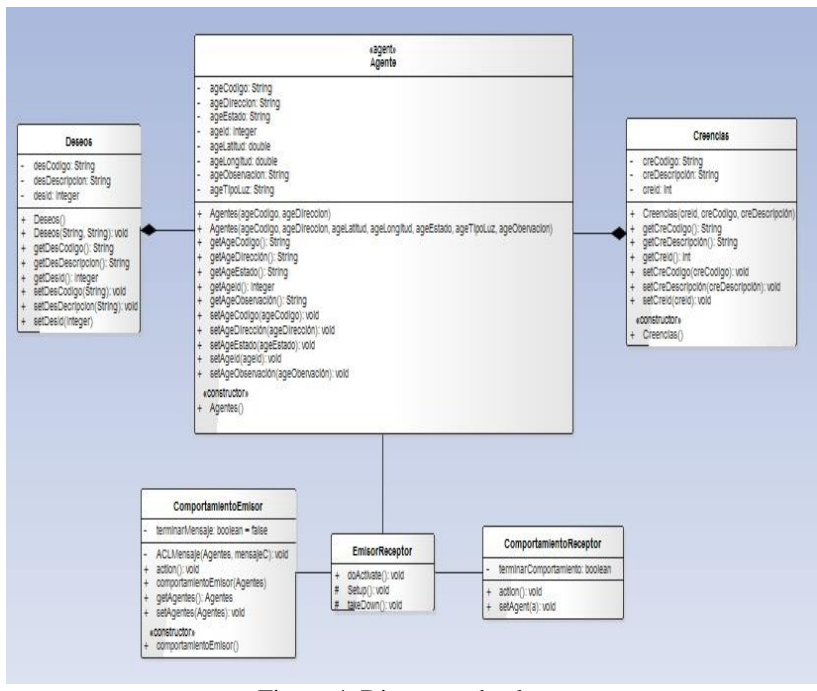


Figura 4. Diagrama de clases

- **Modelo de agentes:**

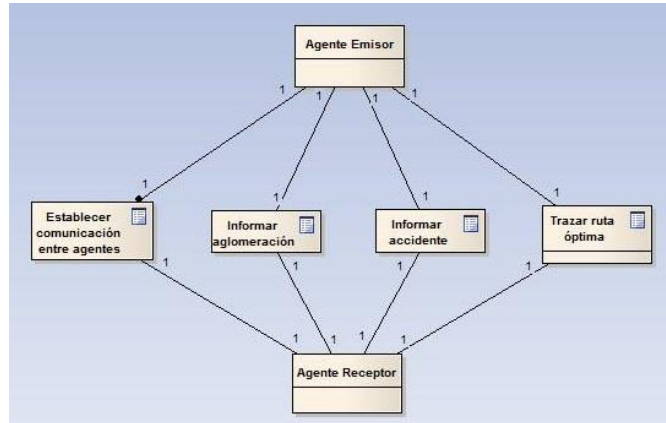


Figura 5. Modelado de agentes

- **Diagrama de comunicación.**

Se realiza el diagrama de comunicación, de los roles de cada agente.

1. Informar accidente.

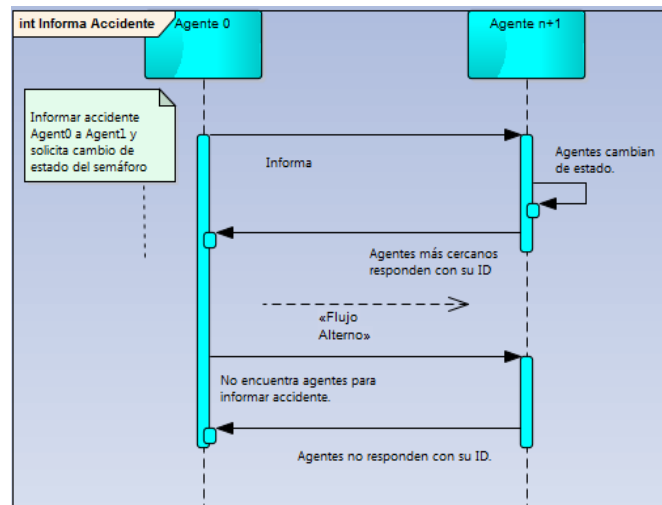


Figura 6. Informar accidente

2. Establecer comunicación de agentes.

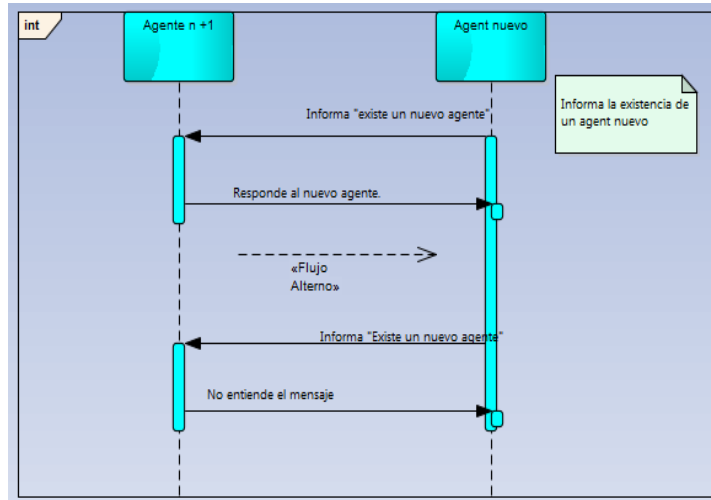


Figura 7. Establecer comunicación de agentes.

3. Informar congestiónamiento.

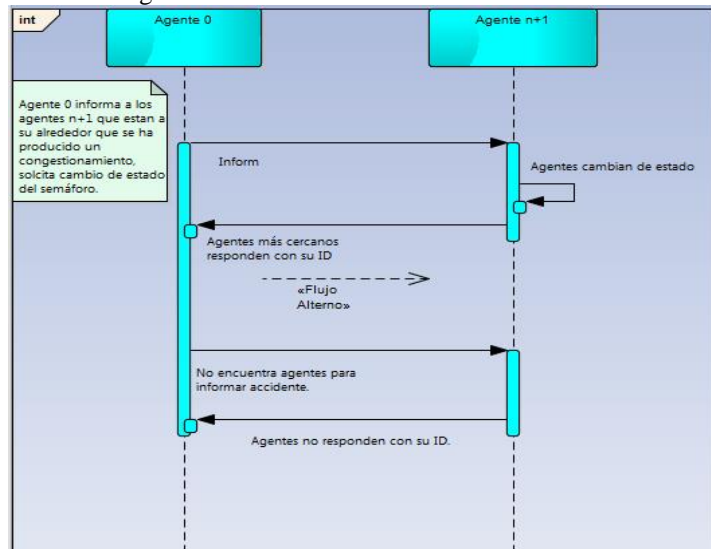


Figura 8. Informar congestiónamiento.

Terminado con el análisis y diseño se programan los agentes en el lenguaje de programación Java, se utiliza el mapa de google maps de la ciudad de Loja y se establecen los marcadores en el mapa representados por semáforos en cada intersección, donde existan semáforos funcionando en la actualidad.

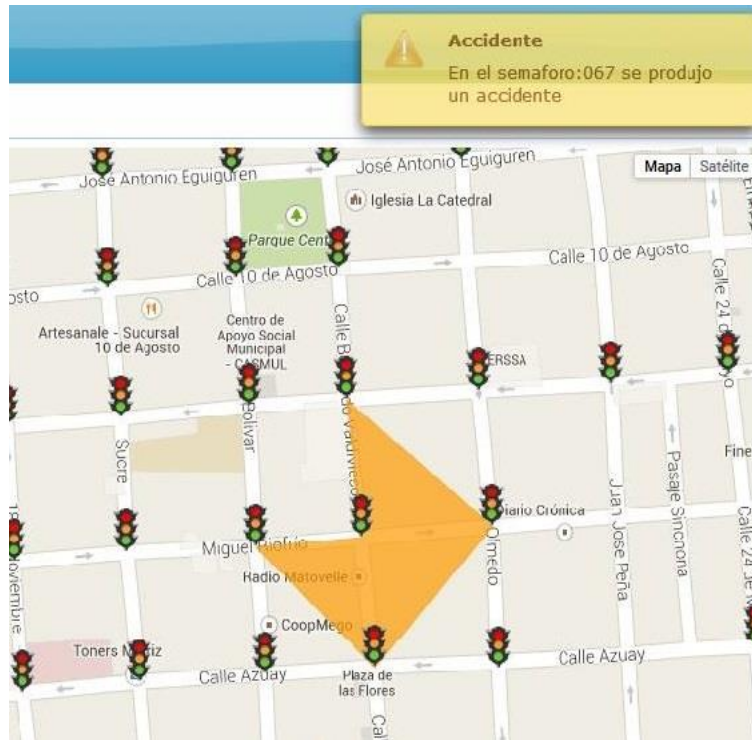


Figura 10. Crear accidente

Una vez que se simula el accidente, internamente se produce el intercambio de mensajes, el semáforo emisor envía el mensaje a sus semáforos más cercanos con el objetivo de que no ingrese tráfico y así evitar aglomeraciones o posibles accidentes.

```

Información: mensajes a enviar mensjes066
Información: mensajes a enviar mensjes069
Información: mensajes a enviar mensjes068
Información: mensajes a enviar mensjes055
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "067@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:61881/acc ))
:receiver (set ( agent-identifier :name "066@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "069@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "068@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "055@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
:content "Informar accidente"
:language Español )
Información: Mensaje recibido
-----
Información: El agente 067 dice: Informar accidente
Información: Agente:066 responde
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "067@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:61881/acc ))
:receiver (set ( agent-identifier :name "066@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "069@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "068@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "055@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
)
:content "Informar accidente"
:language Español )
Información: Mensaje recibido
-----
Información: El agente 067 dice: Informar accidente
Información: Agente:068 responde
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "067@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:61881/acc ))
:receiver (set ( agent-identifier :name "066@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "069@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "068@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "055@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
:content "Informar accidente"
:language Español )
Información: Mensaje recibido
-----
Información: El agente 067 dice: Informar accidente
Información: Agente:055 responde
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "067@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:61881/acc ))
:receiver (set ( agent-identifier :name "066@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "069@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "068@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "055@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
)
:content "Informar accidente"
:language Español )
Información: Mensaje recibido

```

Figura 11.Mensajes accidente

4.3 Simulación de aglomeración.

Se simula aglomeración y al igual que accidente se elige el semáforo y esté actuando de emisor, informa a sus semáforos más cercanos a su intersección.

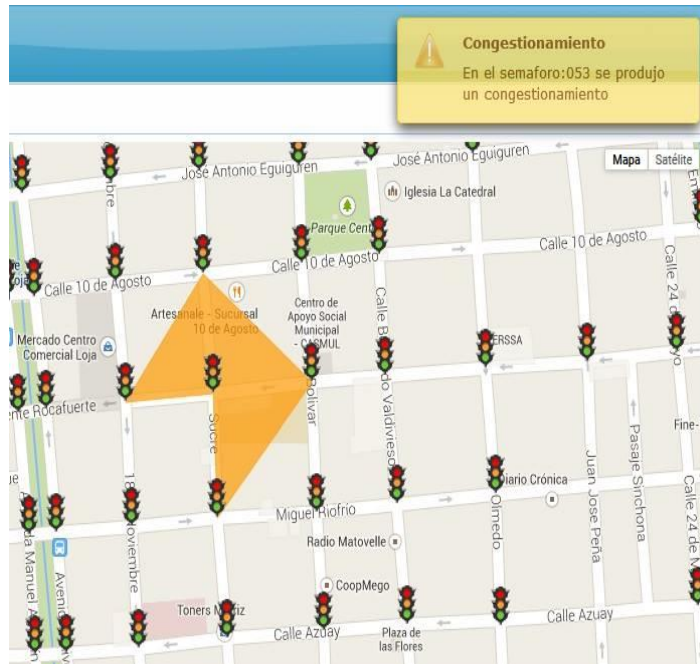


Figura 12. Congestionamiento

El resultado del intercambio de mensajes que se produce internamente es el siguiente.

```

Información: mensajes a enviar mensjes129
Información: mensajes a enviar mensjes042
Información: mensajes a enviar mensjes054
Información: mensajes a enviar mensjes065
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "053@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:63344/acc )
:receiver (set ( agent-identifier :name "129@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "042@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "054@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "065@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
:content "Informar congestonamiento"
:language Español )
Información: Mensaje recibido
-----
Información: El agente 053 dice: Informar congestonamiento
Información: Agente:054 responde
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "053@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:63344/acc )
:receiver (set ( agent-identifier :name "129@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "042@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "054@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "065@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
:content "Informar congestonamiento"
:language Español )
Información: Mensaje recibido
-----

```

Figura 13. Mensajes congestonamiento

4.4 Creación de un nuevo Agente.

Cuando se crea un nuevo semáforo, este informa a sus más cercanos su existencia y también se conoce su Latitud y Longitud.

Ejemplo.

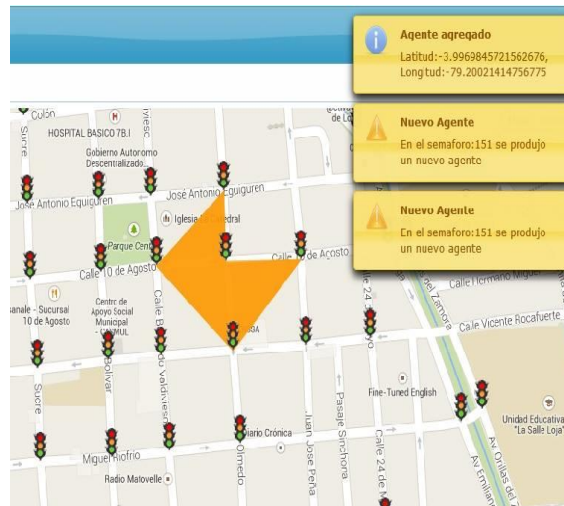


Figura 14. Nuevo agente

El intercambio de mensajes se produce internamente y no es visible para un usuario común.

A continuación se visualiza el intercambio de mensajes cuando se crea un nuevo agente y es añadido al mapa de la ciudad de Loja.


```

Información: mensajes a enviar mensjes044
Información: mensajes a enviar mensjes056
Información: mensajes a enviar mensjes150
Información: El agente 151 dice: existe nuevo agente
Información: El agente 038 dice: deliberando y el Objeto es:
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "151@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:64068/acc ))
:receiver (set ( agent-identifier :name "038@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "044@192.168.0.105:1099/JADE" )
(agent-identifier :name "056@192.168.0.105:1099/JADE" )
(agent-identifier :name "150@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
:content "existe nuevo agente"
:language Español )
Información: Agente:038 responde
Información: Informar nuevo agente
Información: Mensaje recibido
-----
Información: El agente 151 dice: existe nuevo agente
Información: mensaje:(INFORM
:sender ( agent-identifier :name "151@192.168.0.105:1099/JADE"
:addresses (sequence http://Equipo:64068/acc ))
:receiver (set ( agent-identifier :name "038@192.168.0.105:1099/JADE" )
( agent-identifier :name "044@192.168.0.105:1099/JADE" )
(agent-identifier :name "056@192.168.0.105:1099/JADE" )
(agent-identifier :name "150@192.168.0.105:1099/JADE" ) )
:content "existe nuevo agente"
:language Español )
Información: Agente:044 responde
Información: Informar nuevo agente

```

Figura 15. Mensajes nuevo agente

5 Diseño del grafo para evitar accidentes y aglomeración.

Para la simulación de la ruta que evite los accidentes o aglomeraciones que puedan existir se basó en el funcionamiento del algoritmo de dijsktra, donde cada intersección donde se encuentre el semáforo será tomada como un nodo, al que se le denominara nodo “padre” y cada nodo o semáforo siguiente se le denominara como nodo “hijo” que tendrá la misma dirección y sentido del nodo padre y el nodo hijo 2 que se encontrara en la vía transversal y será el próximo nodo, tomado desde el nodo padre. Para trazar la ruta entre dos puntos el sistema buscara el agente más cercano evitando el agente donde se produjo el accidente o congestiónamiento.

Ejemplo:



Figura 16. Grafo

Cada vez que se produzca el accidente o aglomeración, el usuario debe elegir el lugar de destino al que desea llegar, una vez determinado el lugar de destino, el sistema trazara la ruta y evitara los accidentes o aglomeraciones.

Como se podrá observar en la siguiente figura, el accidente se produjo en la calle Bolívar y Vicente Rocafuerte, el usuario selecciona el lugar de origen (A) y destino (B) y el sistema trazara la ruta, evitando dichos eventos.

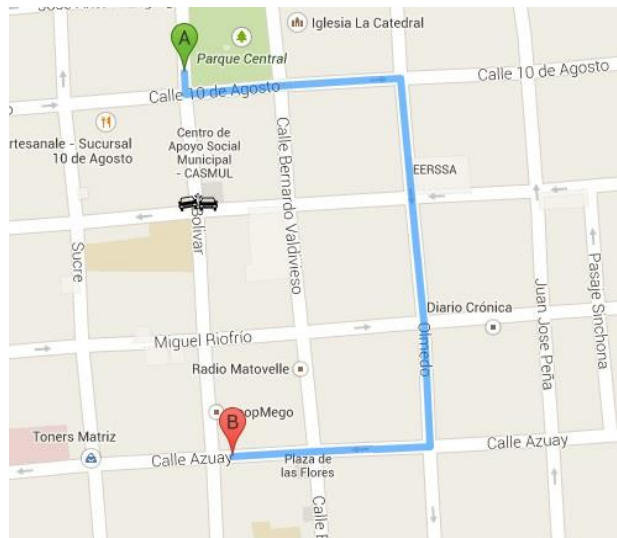


Figura 17. Simulación ruta optima

A continuación se simula accidentes en la parte céntrica de la ciudad de Loja, donde existe la mayor de cantidad de semáforos y el trazado de ruta.

Accidente simulado: Calle 10 de Agosto y Sucre

Congestionamiento: V. Rocafuerte y Bolívar.

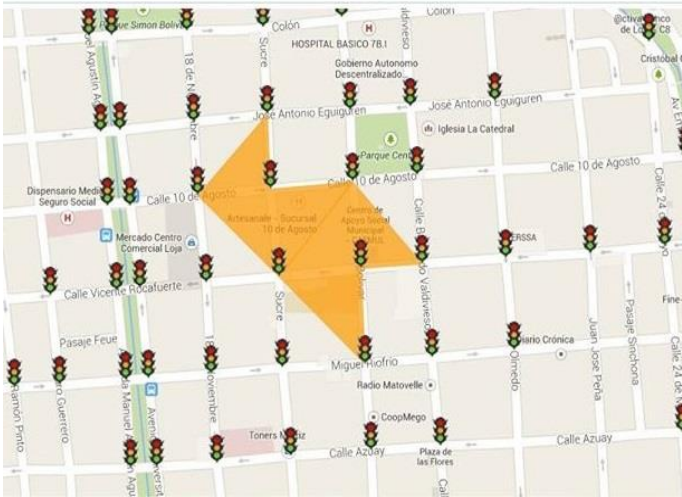


Figura 18. Pruebas 1

Lugar de origen: José Antonio Eguigure y 18 de noviembre
Lugar de destino: Juan José Peña y Vicente Rocafuerte.



Figura 19. Pruebas 2

Accidentes: 18 de Noviembre y V. Rocafuerte, Bolívar y V. Rocafuerte, Bernardo Valdivieso y Miguel Riofrío, Sucre y Miguel Riofrío.
Aglomeraciones: Bolívar y Miguel Riofrío, Bolívar y Azuay.

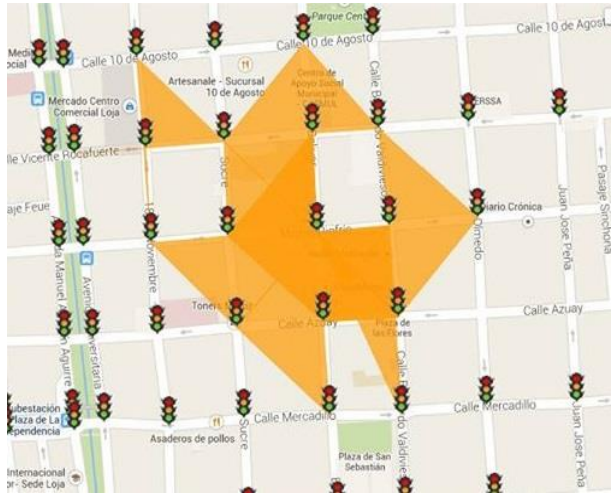


Figura 20. Pruebas 3

Lugar de origen: 10 de agosto y Bolívar
Lugar de destino: Calle Olmedo y Lourdes

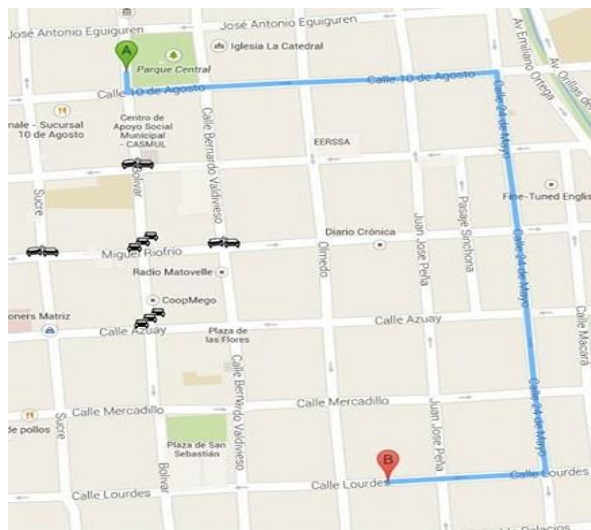


Figura 21. Pruebas 4

6 CONCLUSIONES.

Utilizar JADE para la construcción de agentes resulto de gran ayuda ya que nos facilitó el desarrollo de los agentes inteligentes para la comunicación de semáforos en tiempo real.

La metodología GAIA nos permitió obtener de manera eficaz los roles y responsabilidades de los agentes.

El sistema multiagente resulta de gran ayuda de acuerdo a las pruebas realizadas para utilizarlo en la ciudad de Loja ya que nos ayudara a descongestionar el tráfico vehicular existente trazando rutas alternas en base a la ubicación de los semáforos para evitar accidentes o congestionamientos producidos en alguna intersección.

7 Referencias

- [1] L. Hora, «La Hora,» La Hora, 12 12 2014. [En línea]. Available: http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101760764/-1/El_parque_automotor_de_Loja_crece_aceleradamente_.html. [Último acceso: 1 Abril 2015].
- [2] L. Hora, «La Hora,» 14 Enero 2013. [En línea]. Available: http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101450992/-1/Inicia_plan_para_colocar_sem%C3%A1foros_inteligentes_.html. [Último acceso: 30 Marzo 2015].
- [3] Tilap, «Jade Site,» [En línea]. Available: <http://jade.tilab.com/>. [Último acceso: 2 Abril 2015].
- [4] FIPA, «The Foundation For Intelligent Physical Agents,» [En línea]. Available: <http://www.fipa.org/>. [Último acceso: 6 Abril 2015].
- [5] M. Pérez López y A. F. Vergara, «Metodología GAIA,» Bogotá, 2012.