



Sistemas & Telemática

ISSN: 1692-5238

EditorSyT@icesi.edu.co

Universidad ICESI

Colombia

González, John Edwar; Ortiz, Jorge Eduardo; Zárate Ceballos, Henry  
Towards the design of a social-inspired module for the decision making of nodes in an ad  
hoc network

Sistemas & Telemática, vol. 14, núm. 36, 2016, pp. 9-25

Universidad ICESI

Cali, Colombia

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=411545767005>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

Review / Artículo de revisión - Tipo 3

# Towards the design of a social-inspired module for the decision making of nodes in an ad hoc network

**John Edwar González** / joegonzalezor@unal.edu.co

**Jorge Eduardo Ortiz** / jeortizt@unal.edu.co

**Henry Zárate Ceballos** / hzarattec@unal.edu.co

Grupo de Investigacion TLÖN / Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

**ABSTRACT** This article presents the state of the art derived from a research project where the construction of a software module related with the capability of the wireless nodes to decide whether or not to enter an ad hoc network, is proposed. If the decision is to enter, the amount of resources needed to provide the net is assessed by analyzing data provided for the network about the resources available and the number of nodes and internal parameters (CPU, hard disk, and processor, among others) through a mathematical model. The module developed should interact with an interpreter at a lower level and with a higher level entity, a distributed system. The research is supported by the computational system of the TLÖN group of the Universidad Nacional de Colombia, where its main purpose is to study the application of a social-inspired paradigm in ad hoc networks.

**KEYWORDS** Ad hoc network; decision-making; node; resources.

Hacia el diseño de un módulo social-inspirado para la toma de decisiones de los nodos de una red Ad Hoc

**RESUMEN** Este artículo presenta el estado del arte preparado en un proyecto de investigación que propone la construcción de un módulo de software en nodos inalámbricos que adquieran la capacidad de decidir sobre su ingreso (o no ingreso) a una red Ad Hoc, y sobre la cantidad de recursos que van a aportar a ella, si deciden entrar, considerando datos que le proporciona la red acerca de los recursos disponibles y la cantidad de nodos, y acerca de parámetros internos como CPU, disco duro y procesador, entre otros, mediante un modelo matemático de toma de decisiones. El módulo debe poder interactuar con un intérprete en un nivel inferior y una entidad de nivel superior que equivale a un sistema distribuido. La investigación está enmarcada en el Sistema de Cómputo del grupo TLÖN de la Universidad Nacional de Colombia, el cual busca la aplicación de un paradigma social-inspirado en redes Ad Hoc.

**PALABRAS CLAVE** Red Ad Hoc; toma de decisiones; recursos; nodo.

Em direção ao desenho de um módulo social-inspirado para a tomada de decisões dos nós de uma rede Ad Hoc

**RESUMO** Este artigo apresenta o estado da arte preparada em um projeto de pesquisa que propõe a construção de um módulo de software em nós sem fio que possam adquirir a capacidade de decidir sobre o seu ingresso (ou não ingresso) para uma rede ad hoc, e sobre a quantidade de recursos que irão somar à rede, se decidirem ingressar, considerando os dados fornecidos pela rede sobre os recursos disponíveis e o número de nós, e sobre os parâmetros internos, tais como CPU, disco rígido e processador, entre outros, através de um modelo matemático de tomada de decisões. O módulo deve ser capaz de interagir com um intérprete de nível inferior e uma entidade de nível superior equivalente a um sistema distribuído. A pesquisa está enquadrada no Sistema de Cómputo do grupo TLön da Universidade Nacional de Colômbia, que visa a implementação de um paradigma social-inspirado em redes ad hoc.

**PALAVRAS-CHAVE** Rede Ad Hoc; tomada de decisões; recursos; nó.

## I. Introduction

Bio-inspired systems have been used with notable success in the last decades to apply methods based on natural phenomena to the resolution of problems in the engineering field (Maldonado & Gómez, 2011). There are many applications of this, of which the most well-known and important are the neural networks (Ni & Yang, 2001), which are used to teach robots to hunt for others through cooperative actions. Another example is the fuzzy logic used by Zadeh (1996) to perform mathematical calculations using words instead of numbers.

The ad hoc field is not the exception, since it is possible to see two examples in routing protocols: Bitam, Mellouk, & Zeadally (2014) summarize the different bio-inspired protocols in vehicular ad hoc networks and they propose a multi-modular uniform model looking for greater safety in transportation. On the other hand, Villalba, Canas, & Orozco (2010) propose a routing protocol based on swarm intelligence and ant colony optimization.

Nevertheless, the social-inspired paradigms have not been widely studied, particularly in the ad hoc networks field. However, regarding this type of network, an adequate scenario might be considered by drawing a parallel between each node as a person and the ad hoc network as a community.

The project of the TLÖN research group of the *Universidad Nacional de Colombia* has as a general objective to implement social-inspired behavior in an ad hoc network through agent communities (Zarate-Ceballos, Sánchez-Cifuentes, Ospina-López, & Ortiz-Triviño, 2015). This project will be focused on an important part of this topic: the decision-making of the nodes; hence, we will expect that the node will behave like a person wondering whether or not to enter an organization, depending on the offerings. Moreover, the decision on the amount of resources to offer to the community is a further study topic, bearing in mind that the node needs some of these resources for its maintenance.

We propose the implementation of a software module to assist the decision-making of a node related with the entrance or not to a community (distributed system). This decision will be based on the internal state of the node and on some network parameters for entering; furthermore, the amount of resources needed to collaborate with the community is also assessed by the node at the

## I. Introducción

Los sistemas bio-inspirados se han utilizado en las últimas décadas para aplicar métodos basados en fenómenos de la naturaleza a la resolución de problemas en el campo de la ingeniería (Maldonado & Gómez, 2011). con un éxito notable. Hay muchas aplicaciones, una de las más importantes y conocidas son las redes neuronales; Ni y Yang (2001), por ejemplo, las utilizan para enseñarle a robots a dar caza a otros, mediante acciones de cooperación. Otro ejemplo es la lógica difusa, utilizada por Zadeh (1996) para realizar cálculos matemáticos, utilizando palabras, en lugar de números.

El campo de las redes Ad Hoc no ha sido la excepción, se pueden ver dos ejemplos en protocolos de enrutamiento: Bitam, Mellouk, y Zeadally (2014) resumen los diferentes protocolos bio-inspirados en redes Ad Hoc vehiculares y proponen un modelo uniforme multimodular que busca que el transporte sea más seguro; y Villalba, Canas, y Orozco (2010), por su parte, proponen un protocolo de enrutamiento basado en la colonización de enjambres de hormigas.

Los paradigmas social-inspirados, en cambio, no han sido abarcados a profundidad, sobretodo en el campo de redes Ad Hoc; pero en torno a este tipo de redes se podría tener un escenario muy acorde, haciendo un símil entre cada nodo, como una persona, y la red Ad Hoc, como una comunidad.

El proyecto del grupo TLÖN de la Universidad Nacional de Colombia tiene como objetivo implementar el comportamiento social-Inspirado en una red Ad Hoc mediante comunidades de agentes (Zarate-Ceballos, Sánchez-Cifuentes, Ospina-López, & Ortiz-Triviño, 2015); este proyecto se enfocará a una parte primordial en este ámbito, la toma de decisiones del nodo, de manera que el nodo se pueda comportar como una persona que se pregunta si desea ingresar o no a una organización, dependiendo de lo que ella le ofrezca, y decidir la cantidad de recursos con los que va a aportar a esa comunidad, teniendo en cuenta, a su vez, que esa persona debe conservar algunos recursos para sí misma, para la satisfacción de sus necesidades.

Se propone implementar un módulo de software de tal manera que un nodo, mediante un método de toma de decisiones basado en su estado interno y en algunos parámetros de la red de la cual quiere hacer parte, decida inicialmente si va a ingresar y, de es así, con qué cantidad de recursos va a colaborar ante esa entidad (sistema distri-

buido), buscando compartir recursos distribuidos para el bien de todos los miembros de la red.

En este texto, a continuación: se introducen los conceptos de red Ad Hoc —sus ventajas y desventajas— y nube móvil (aunque esta última es una clasificación más general en la cual están inmersas las redes Ad Hoc, es necesario tenerla en cuenta ya que es influenciada por el concepto de comportamiento social y por los tipos de cooperación en redes móviles); se hace un repaso de los diferentes modelos matemáticos que se adaptan a la toma de decisiones y se acomodan a la idea principal del proyecto; se presentan bases teóricas del protocolo de enrutamiento escogido sobre el cual se realizará el módulo; y se expone la idea sobre la arquitectura propuesta para la construcción del módulo y sus funciones principales.

## II. Marco teórico

Las exigencias del mundo actual obligan a las personas a estar conectados en todo momento y lugar; desde el joven que quiere estar en contacto con sus amigos en las redes sociales y el estudiante que quiere realizar consultas académicas, hasta el ejecutivo que quiere informarse de los últimos acontecimientos noticiosos.

Los dispositivos móviles, tales como celulares, tabletas o computadores portátiles, solucionan esta necesidad gracias a las tecnologías inalámbricas, las cuales eliminan el requisito de un punto de red física al cual estar conectado para la navegación, lo que se ajusta a la constante movilidad de las personas por su rutina de trabajo y estudio (Loo, Lloret, & Hamilton, 2012); este hecho ha ocasionado una gran penetración de esta tecnología en los últimos años.

### Redes Ad Hoc

Las redes Ad Hoc son una colección de dos o más dispositivos inalámbricos que poseen la capacidad de comunicarse entre sí y tienen como principales características: no usar

momento of taking the decision, pursuing the sharing of resources for the wellbeing of all the network members.

We introduce the concept of ad hoc networks, their advantages and disadvantages, and the so-called mobile cloud. Even though this latter is a more general classification where ad hoc networks are contained, it is necessary to have it in consideration, since it is influenced by the concept of social behavior and by the types of cooperation in mobile networks. We also present a brief summary of several mathematical models adapted to decision-making and relevant to the main idea of this project. Besides, we present a theoretical foundation for the chosen routing protocol to be used in the module and we set out the idea of the proposed architecture for the construction of the module and its main functions.

## II. Theoretical background

The current demands of society force people to be connected in every moment and place, from the young person who wants to be in touch with his/her friends on social networks, to the student consulting academic topics and the businessman who wants to keep up with the latest news.

Mobile devices —such as smartphones, tablets, and laptops— solve that need thanks to their wireless technologies, which remove the need for a physical network point to be connected to surf the web. This feature is accommodated to people's constant mobility in their work and study, and this fact has resulted in an ever broader penetration of this technology in recent years (Loo, Lloret, & Hamilton, 2012).

### Ad hoc networks

Ad hoc networks are a collection of two or more wireless devices with the capacity to communicate with each other. Their main features are the lack of use of a fixed infrastructure, lack of centralized organization, and the capacity to organize themselves in an automatic and autonomous way —i.e., they do not need intervention to make the network— (Loo et al., 2012). The operation of this kind of network is based on the interaction of their nodes, which are in charge of resource sharing and pursuing the information delivery. Each node



Figure 1. Example of an ad hoc network / Imagen de una red Ad Hoc

can be a device —a smartphone, a tablet, a laptop, etc.— with heterogeneous resources and features.

The main advantages of ad hoc networks are the easy implementation and economy, adaptability, decentralization, and cooperation (Loo et al., 2012; Kumar-Sarkar, Basavaraju, & Puttamadappa, 2013).

#### **a) Ease of implementation and economy**

Given the fact that the ad hoc networks do not necessarily need fixed infrastructure for their deployment, it is possible to establish them with the available mobile devices. One of their most important applications is in natural catastrophe situations —or even war—, where base stations, fiber optic cables, and other components based on fixed infrastructure might collapse. Consequently, rapid implementation of an ad hoc network would enable communication between emergency units, and allow a better response (Zarate-Ceballos & Ortiz-Triviño, 2012).

#### **b) Adaptability**

These networks are characterized by their great mobility, i.e., the nodes move in a random way over all the network coverage area, constantly entering and exiting. All the nodes are reconfigured and automatically adjusted to the topology changes. Given this feature, the use of these networks has been extended for transit control, specifically in the VANET (Vehicular Ad hoc Networks), to indicate to vehicles the best speed to travel at in order to save gasoline (Orozco & Llano, 2014) and to enhance safety on the roads (Orozco, Llano, & Michoud, 2012).

#### **c) Decentralization**

Each node is independent and, in many cases, it only has knowledge of the location of its closest neighbors. The network is not going to collapse when one of the nodes leaves it, which makes this type of network highly failure-tolerant.

#### **d) Cooperation**

Communication between two network nodes might pass through several nodes to reach a determined destination. In this case, each intermediate node collaborates by passing the traffic to each other, i.e., they share resources to collaborate for good network performance (Tamara & Alzate, 2011).

Ad hoc networks present certain limitations due to the features of each of their components and due to the transmission medium, such as the limited bandwidth, limited energy capacity, vulnerability to security threats,

infraestructura física fija, no tener una administración centralizada y organizarse de manera automática y autónoma —no necesitan intervención para formarla— (Loo et al., 2012). Este tipo de red basa su funcionamiento en la interacción de sus nodos, quienes se encargan de compartir sus recursos para la entrega de información; cada nodo puede ser un dispositivo —un celular, un computador, una Tablet, entre otros—, con características y recursos heterogéneos.

Las principales ventajas de las redes Ad Hoc son: facilidad de implementación y economía, adaptabilidad, descentralización y cooperación (Loo et al., 2012; Kumar-Sarkar, Basavaraju, & Puttamadappa, 2013).

#### **a) Facilidad de implementación y economía**

Al no necesitar infraestructura física en su despliegue, es posible formarla con los dispositivos móviles que estén disponibles; una de sus aplicaciones más importantes es ante situaciones de catástrofe natural o guerra, situaciones en las cuales las estaciones base de comunicación, la fibra óptica y los demás componentes basados en infraestructura, colapsan, y una implementación rápida de una red Ad Hoc permite la comunicación entre entidades de emergencia (Zarate-Ceballos & Ortiz-Triviño, 2012), lo que puede ser de gran ayuda a la hora de salvar vidas.

#### **b) Adaptabilidad**

Estas redes se caracterizan por su gran movilidad, los nodos se desplazan de manera aleatoria sobre toda el área de cobertura de la red, y entran y salen. Todos los nodos se reconfiguran y ajustan automáticamente a los cambios de topología. Debido a esta característica, su uso se ha extendido actualmente para el control del tránsito, específicamente en las VANETS (Vehicular Ad Hoc Networks), para indicar a los vehículos a qué velocidad deben ir para: ahorrar combustible (Orozco & Llano, 2014), y para aumentar la seguridad en las vías (Orozco, Llano, & Michoud, 2012).

#### **c) Descentralización**

Cada nodo es independiente, y en muchos casos solo tiene conocimiento de la ubicación de sus vecinos más cercanos; la red no va a colapsar cuando uno de los nodos deje la red, lo cual la hace bastante tolerante a fallos.

#### **d) Cooperación**

La comunicación entre dos nodos de una red Ad Hoc, en ocasiones pasa por varios nodos para llegar desde un origen a un destino determinado; en estos casos, cada

nodo intermedio colabora con el paso del tráfico de un nodo a otro, es decir, comparte sus recursos para aportar al buen funcionamiento de toda la red (Támara & Alzate, 2011).

La red Ad Hoc posee ciertas limitaciones debido a las características de cada uno de sus componentes y del medio de transmisión, como son el limitado ancho de banda, la limitada capacidad de energía, la vulnerabilidad a amenazas de seguridad y la utilización del espectro de radio (Loo et al., 2012; Kumar-Sarkar et al., 2013):

#### **a) Limitado ancho de banda**

Está relacionado con el ancho de banda de cada uno de los nodos que se encuentran en la ruta, desde el origen hasta el destino de una conexión, y del hecho de que en la transmisión de paquetes se está consumiendo ancho de banda de los nodos intermedios (Támara & Alzate, 2011).

#### **b) Limitada capacidad de energía**

Los dispositivos inalámbricos, en su gran mayoría, funcionan a través de baterías, las cuales tienen cierta capacidad; en el proceso de realizar cualquier acción —enviar datos, pasarlos a otros nodos, calcular rutas—, se genera un gasto energético que tiene que debe ser considerado en la implementación de cualquier red Ad Hoc.

#### **c) Seguridad**

El propagarse por medio aéreo hace que la comunicación sea propensa a amenazas tales como el acceso no autorizado a la información y a la corrupción de datos. Ray, Carruthers, y Starobinski (2005) evalúan el impacto del nodo oculto en redes Ad Hoc, ataque que tiene que ver con el medio de transmisión.)

#### **d) Utilización del espectro**

Pueden existir problemas por la utilización del espectro de frecuencias, lo que puede ocasionar ruidos y pérdida de paquetes en la transmisión. Gebali (2009) utiliza el modelamiento Cross-Layer para disminuir la pérdida de paquetes en un ambiente con mucho ruido.

Las redes Ad Hoc están dentro de una clasificación más general (Fitzek & Katz, 2014), llamada Nube Móvil; y aunque incluye redes con infraestructura física fija, llamadas redes Mesh (como las redes celulares que poseen estaciones base o redes inalámbricas con un router como backbone para permitir la salida hacia internet), se toma la información concerniente a su comportamiento, ya que es importante en lo que se va a desarrollar en este proyecto.

and the use of the electromagnetic spectrum (Loo et al., 2012; Kumar-Sarkar et al., 2013):

#### **a) Limited bandwidth**

This is related with the bandwidth of each of the nodes in the route, from the beginning to the end of a connection, and with the fact that in the packet transmission between the intermediate nodes, bandwidth is being used (Tamara & Alzate, 2011).

#### **b) Limited energy capacity**

The wireless devices —almost all of them— work with batteries which have a certain capacity. In the process of performing any action such as sending data, passing to another node, calculating routes, etc., energy is consumed. This consumption should be considered in the implementation of any ad hoc network.

#### **c) Security**

The propagation through the air makes the communication susceptible to threats, such as unauthorized access to the information and data corruption. Ray, Carruthers, & Starobinski (2005) evaluate the impact of the hidden node in ad hoc networks, a threat regarding the transmission medium.

#### **d) Use of the electromagnetic spectrum**

There may be issues with the use of the electromagnetic spectrum, which will possibly trigger noises and packet loss in the transmission. Gebali (2009) uses cross-layer modeling to reduce the packet loss in a noisy environment.

Ad hoc networks are within a more general classification called a mobile cloud (Fitzek & Katz, 2014), and even though this includes networks with fixed infrastructure (i.e. mesh networks such as cellular networks with base stations, or wireless networks with a router as a backbone to allow Internet access), the information concerning its behavior is most relevant, since it is important in the development of this project.

#### **Mobile cloud**

The term is defined as a cooperative disposition of dynamically connected nodes, where they share resources as long as they are available (Fitzek & Katz, 2014). The cloud term is defined by them as “the abstraction of a system consisting of distributed and interconnected resources”. The advantages of this



approach, citing Fitzek & Katz (2014), are the enhancement in performance, the efficient and flexible use of resources, and distributed resources:

#### **a) Enhancement in the performance**

The performance term includes quality of service, coverage, reliability, security, and bandwidth of the communications of all the nodes in the network (Rezaei, Sarshar, & Roychowdhury, 2010). Hatzivasilis & Manifavas (2012) use a method focused on the reputation to satisfy the safety necessities for ad hoc networks' sharing resources.

#### **b) Efficient and flexible use of resources**

The mobile cloud allows the use of resources in an efficient way, since they are limited, costly, and scarce, such as the energy and the spectrum. Thanapal & Saleem-Durai (2014) provide an optimization method for information download that saves energy.

#### **c) Distributed resources**

This allows the exploitation of resources in different network nodes. Resources such as memory, processor, hard disk, and sensors are those assessed. Dudkowski, Marrón, & Rothermel (2006) use the nodes to store the information in a distributed way; Salehi et al. (2012) put forward the idea of using a mobile cloud to store data locally, instead of downloading from the Internet; Niswar, Sabri, Warni, & Musa (2013) use virtualization technology to ensure the availability of the services in a network, and sharing of its resources.

In a mobile cloud there are several types of cooperation and incentives, depending on the existing relation between the nodes. These cooperation types might be forced, altruistic, selfish, or social (Fitzek & Katz, 2014).

#### **a) Forced cooperation**

This is present when, in a forced way, a request to serve one or more different devices is sent to a network node. If the devices belong to the same owner, this kind of cooperation turns into self-cooperation in the case of a sensor network.

#### **b) Altruistic cooperation**

This arises when a mobile device decides to collaborate in a network without waiting for something in exchange. It might be present in familiar or friendly environments.

#### **Nube móvil**

El término se define como una disposición cooperativa de nodos conectados dinámicamente que comparten recursos en tanto estos estén disponibles (Fitzek & Katz, 2014). El término cloud es definido por Fitzek & Katz (2014) como "la abstracción de un sistema que consiste de recursos distribuidos e interconectados".

Las ventajas de este tipo de enfoque, según Fitzek y Katz (2014) son: la mejora en el rendimiento, la utilización eficiente y flexible de recursos, y los recursos distribuidos:

#### **a) Mejora en el rendimiento**

El término rendimiento incluye: calidad de servicio, cobertura, confiabilidad, seguridad y ancho de banda, entre otros, de las comunicaciones de todos los nodos de la red (Rezaei, Sarshar, & Roychowdhury, 2010). Hatzivasilis y Manifavas (2012) utilizan un método enfocado en la reputación para satisfacer las necesidades de seguridad para redes Ad Hoc que comparten recursos.

#### **b) Utilización eficiente y flexible de recursos**

Permite la utilización de recursos de manera eficiente, ya que estos son limitados, costosos y escasos, tales como la energía y el espectro; Thanapal y Saleem-Durai (2014) proveen un método de optimización de la descarga de información que ahorra energía.

#### **c) Recursos distribuidos**

Permite aprovechar recursos que pertenecen a diferentes nodos de la red, tales como: memoria, procesador, disco duro y sensores, entre otros. Dudkowski, Marrón, y Rothermel (2006) utilizan los nodos para guardar la información de manera distribuida; Salehi et al., (2012), exponen la idea de utilizar una nube móvil para almacenar datos localmente, en vez de descargarlos de Internet; Niswar, Sabri, Warni, y Musa (2013), por su parte, utilizan la tecnología de virtualización para alcanzar la disponibilidad de los servicios en una red, compartiendo los recursos de la misma.

En una nube móvil existen diferentes tipos de cooperación e incentivos que se presentan debido a la relación existente entre los nodos, la cual puede ser: forzada, altruista, egoísta y social (Fitzek & Katz, 2014).

#### **a) Cooperación forzada**

Se presenta cuando de manera obligada o forzada se solicita a un dispositivo inalámbrico servir a uno o más dispositivos diferentes. Si los dispositivos pertenecen al mismo propietario, en el caso de una red de sensores, esta clase de cooperación se convierte en auto-cooperación.

**b) Cooperación altruista**

Surge cuando un dispositivo móvil decide colaborar en una red sin esperar nada a cambio, se puede presentar en ambientes familiares o de amigos.

**c) Cooperación egoísta**

Se presenta cuando un dispositivo móvil colabora en una red solo si ve que puede obtener algún beneficio al hacerlo. En algunos casos, si muchos nodos se comportan de manera egoísta en una red Ad Hoc, puede ocasionar su colapso ya que no va a tener suficientes recursos para enviar paquetes (Buchegger & Le Boudec, 2005).

Toh, Kim, Oh, y Yoo (2010) proponen el protocolo SCNP (Protocolo de verificación y negociación de egoísmo por sus siglas en inglés) el cual permite negociar el grado de egoísmo que puede tener un nodo, con tal que colabore con más recursos en la red, y da incentivos si lo hace.

**d) Cooperación social**

Se presenta en un dispositivo por su impacto social, porque el nodo puede mejorar su prestigio o porque soporte aplicaciones diseñadas para cooperación entre múltiples nodos. Ortiz-Triviño y Ospina-López (2015) muestran un ejemplo de varios nodos que colaboran de manera conjunta para mejorar el desempeño de la red, formando clusters.

**Toma de decisiones**

El primer paso hacia un sistema social-inspirado es dotar a los nodos con la capacidad de tomar la decisión de ingresar o no a una red Ad Hoc. Los nodos deben tener la capacidad de valorar si pueden obtener algún beneficio al hacer parte de la red.

La elección se define mediante un modelo matemático de toma de decisiones que tiene en cuenta variables internas –tales como disco duro, RAM y procesador–, y parámetros que consulten de la red –como el número de nodos y los recursos disponibles–.

La toma de decisiones se ha vuelto una materia de estudio muy importante en múltiples niveles, sobretodo en procesos relacionados con el campo del comportamiento humano; Bagchi y Davis (2016) lo utilizan para resaltar la importancia de la cantidad de cifras de un número a la hora de tomar decisiones, hecho que es explotado por las grandes marcas para atraer más clientes.

También en el ámbito de la ingeniería se ha encontrado su aplicación, en específico en sistemas con comportamientos social y bio-inspirados. Es el caso de Chowdhury (1993), quien utiliza una red neuronal con capacidad de toma de decisio-

**c) Selfish cooperation**

This is present when a mobile device collaborates in a network if and only if some benefit can be obtained by doing so (Buchegger & Le Boudec, 2005). In some cases, if a considerable number of nodes are selfish in an ad hoc network, it might cause the network to collapse, since not enough resources would be available to send packets (Buchegger & Le Boudec, 2005). Toh, Kim, Oh, & Yoo (2010) propose the Selfish Check Negotiation Protocol (SCNP), which allows the negotiation of the selfish grade that a node might have by pursuing a broader collaboration with the network resources and handling a reward program for collaborative nodes.

**d) Social cooperation**

This type of cooperation is present in a mobile device based on its social impact, either since the node can improve its prestige or since it supports applications designed to cooperate between multiple nodes. Ortiz-Triviño & Ospina-López (2015) show examples of several collaborative nodes where, in a combined way, they enhance the performance of the network by creating clusters.

**Decision-making**

The first step towards a social-inspired system is the provisioning of the nodes with the capacity to make the decision whether or not to enter the network. The nodes must have the capacity to evaluate if they can obtain some benefit when they enter to form the network.

This choice is defined through a mathematical decision-making model that considers some internal variables of the nodes such as the hard disk, RAM, and processor, and parameters consulted from the network, such as the number of nodes and the available resources.

Decision-making has become a widely studied topic at multiple levels, especially in processes related with the field of human behavior; Bagchi and Davis (2016) use it to point out the importance of the amount of digits in a number at the time a decision has to be made. This fact is heavily used in publicity topics.

Moreover, in the engineering field, the application of this topic is relevant, specifically in systems with social and bio-inspired behaviors. This is the case of Chowdhury (1993), where the author uses a neural network with a decision-making capacity to detect failures in a system by receiving inputs from other consulting neurons. This is to pursue, at the end, a reliable exit. Furthermore, we can see another study case in the work presented by Lu,



Miao, and Fang (2008), who assess how the neural network structure can influence the decision-making process in the brain.

Decision-making is the process of performing the selection of an option among several others through a method that distinguishes some options from others, resulting in a hierarchical organization (Saaty, 1990).

On the other hand, there are several mathematical models to simulate the decision-making process by pursuing the selection of the best choice among several ones; the selection theory under conflict (Luce & Raiffa, 1989) is one of these. This theory was described and implemented by Wang & Archer (1998), who considered the utility theory in risky environments, where each alternative corresponds with a probability function—or lottery—and the results are called prizes. Besides, the theory presents the possibility of finding a utility function by defining a preference, indifference, or aversion attitude towards a risk decider.

There are two types of lotteries: simple and compound. In simple lotteries (Equation 1), the consequence is the result of an alternative. Conversely, in the compound ones, the prizes are, at the same time, lotteries (Equation 2).

Equation 1. Simple lotteries

$$l = \begin{pmatrix} p_1 & \cdots & p_n \\ x_1 & \cdots & x_n \end{pmatrix} \text{ with } p_i \in [0,1] \text{ y } \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

Equation 2. Compound lotteries

$$L = \begin{pmatrix} q_1 & \cdots & q_m \\ l_1 & \cdots & l_m \end{pmatrix} \text{ with } q_j \in [0,1] \text{ y } \sum_{j=1}^m q_j = 1$$

Mathematically, the Luce & Raiffa axiom (1989) defines a utility function that it is the assigned probability of the best result from its equivalent lottery. This is expressed as in Equation 3.

Equation 3. Probability function

$$\begin{aligned} u: X &\rightarrow [0,1] \\ x_i &\rightarrow u(x_i) = u_i \end{aligned}$$

The  $u$  function, defined over a prize set ( $X$ ) within the  $[0,1]$  interval, where each alternative ( $x_i$ ) is assigned with a number ( $u_i$ ) and where it has a complete pre-order structure, is called a utility function.

nes para detectar fallas en un sistema, recibiendo entradas de otras neuronas consultoras para que al final se obtenga una salida. Asimismo, se puede ver un caso de estudio en Lu, Miao, y Fang (2008), quienes estudian cómo la estructura de la red neuronal puede influenciar el proceso de toma de decisiones en el cerebro.

La toma de decisiones es el proceso mediante el cual se realiza la elección de una opción entre varias, mediante un método que pueda resaltar algunas de las opciones de otras, de manera que se puedan organizar jerárquicamente (Saaty, 1990).

Existen varios modelos matemáticos para simular la toma de decisiones que permita escoger la mejor entre varias opciones. La teoría de elección bajo conflicto (Luce & Raiffa, 1989), es una de ellas. Esta teoría, fue descrita e implementada por Wang y Archer (1998), quienes consideraron la teoría de utilidad en ambientes de riesgo, en donde a cada alternativa le corresponde una función de probabilidad o lotería, y a cuyos resultados se le denominan premios, y es posible hallar una función de utilidad con el fin de definir una actitud de preferencia, indiferencia o aversión a un decisor frente al riesgo. Existen dos tipos de loterías, simples y compuestas.

En las loterías simples (Ecuación 1), la consecuencia es el resultado de una alternativa; en las compuestas, los premios son, a su vez, loterías (Ecuación 2).

Ecuación 1. Loterías simples

$$l = \begin{pmatrix} p_1 & \cdots & p_n \\ x_1 & \cdots & x_n \end{pmatrix} \text{ with } p_i \in [0,1] \text{ y } \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

Ecuación 2. Loterías compuestas

$$L = \begin{pmatrix} q_1 & \cdots & q_m \\ l_1 & \cdots & l_m \end{pmatrix} \text{ with } q_j \in [0,1] \text{ y } \sum_{j=1}^m q_j = 1$$

Matemáticamente la axiomática de Luce y Raiffa (1989) define una función de utilidad que es la probabilidad asignada al mejor resultado en su lotería equivalente, que se expresa como indica la Ecuación 3.

Ecuación 3. Función de probabilidad

$$\begin{aligned} u: X &\rightarrow [0,1] \\ x_i &\rightarrow u(x_i) = u_i \end{aligned}$$

La función  $u$ , definida sobre un conjunto de premios ( $X$ ) que está en el intervalo  $[0,1]$ , de tal manera que a cada alternativa ( $x_i$ ) se le asigna un número ( $u_i$ ) y que tiene una estructura de preorden completo, es una función de utilidad.

Está además el método propuesto por Tversky y Shafir (1992), sobre elección bajo conflicto, el cual consiste en retrasar la elección y buscar nuevas alternativas cuando se tiene un grado de conflicto muy alto. En su método exponen que el conflicto aumenta cuando el decisor no sabe cómo evaluar costos versus beneficios y satisfacción inmediata contra molestias futuras; el conflicto se puede presentar, además, debido a ventajas y desventajas muy significativas de cada opción. Ante el conflicto, el decisor puede escoger alguna opción de las presentes o requerir alguna opción adicional, con el posible costo de perder alguna de las opciones presentes por el tiempo y esfuerzo que requiere buscar una nueva.

Tversky (1972) expone la eliminación por aspectos, un proceso de selección secuencial; cada alternativa es vista como un conjunto de aspectos y en cada etapa del proceso se selecciona un aspecto, aquellas alternativas que no completan los criterios buscados se eliminan. La eliminación por aspectos se puede describir de la siguiente manera:

Sea  $T=\{i,j,k,\dots\}$  el conjunto de opciones a escoger y  $T'=\{\alpha,\beta,\gamma,\dots\}$  es el conjunto de atributos de las opciones en  $T$ . Estas características o atributos en  $T'$  pueden pertenecer a una o más opciones. La función de utilidad es  $u:T'\rightarrow R$ , y  $u(\alpha)$  mide la satisfacción del individuo que tenga el atributo  $\alpha$ .

La eliminación por aspectos se define entonces por la tripleta  $\{T,T',u\}$ ; de acuerdo con el proceso de decisión, un individuo enfrentado con un conjunto de opciones  $A$  escoge una de las características en  $A'$  y elimina todas las características que no tienen esta alternativa.

Uno de los métodos más populares es la teoría de juegos, la cual formaliza el estudio del conflicto y la cooperación; el juego se denomina como el modelo de una situación interactiva que incluye múltiples jugadores, los cuales, basados en ciertas estructuras de incentivos, toman decisiones que potencialmente podrían afectar a otros jugadores (Turocy & Von Stengel, 2003); en su ejemplo más fundamental, que es el dilema del prisionero, muestra cómo, en algunas situaciones, individuos

Also, the method proposed by Tversky & Shafir (1992) is relevant. It is related with selection under conflict (i.e., delaying the selection and the search for new alternatives when the conflict grade is too large). In their method, the authors show that the conflict increases when the decider does not know how to evaluate both the costs against the benefits and the immediate satisfaction against future annoyances. The conflict might occur due to very significant advantages and disadvantages of each option. If a conflict arises, the decider can choose between some of the present options or require an additional one with the possible risk of losing a present option as a result of the time and effort required to look for a new one.

Tversky (1972) presents elimination by aspects as a sequential selection process. Each alternative is seen as a set of aspects and in every stage of the process one of these aspects is selected. The alternatives that do not fulfill the search criteria are eliminated. Elimination by aspects might be described as follows:

Let  $T=\{i,j,k,\dots\}$  the options set to choose and  $T'=\{\alpha,\beta,\gamma,\dots\}$  the set of options attributes in  $T$ . These features or attributes in  $T'$  might belong to one or more functions. The utility function is  $u:T'\rightarrow R$ , and  $u(\alpha)$  measures the satisfaction of the individual that the  $\alpha$  attribute has.

The elimination by aspects is then defined by the  $\{T,T',u\}$  trio. Given the decision process, an individual confronted with a set of options  $A$  chooses one of the features in  $A'$  and it discards all the features not having this alternative.

One of the most popular methods is game theory, which formalizes the study of conflict and cooperation. The game is denominated as the model of an interactive situation including several players, who, based on certain incentive strategies, make decisions that might potentially affect other players (Turocy & Von Stengel, 2003). In

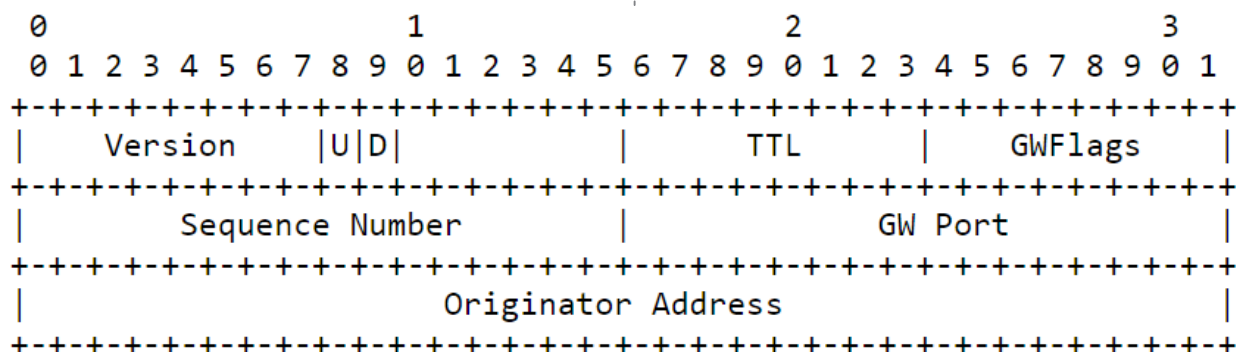


Figure 2. OGM format / Formato de OGM (Lindner et al., 2011)

its fundamental example —the prisoner dilemma— it shows how in some situations, individuals decide whether to cooperate or not, bringing a benefit even when selfish behavior is present.

Stewart & Plotkin (2013) extend the prisoner dilemma concept from two individuals to a bigger group; besides, Roughgarden (2010) presents an efficient algorithm for game theory that satisfies the Nash equilibrium. This latter consists of a list of strategies —one for each participant—, where none can change its strategy unilaterally to obtain a better utility; besides, each player knows the strategy of the other participants, with the conclusion that each one can maximize its individual winnings. This does not mean the consolidated result is higher if there is coordination with the other players.

Game theory has many applications, Miura-ko, Yolken, Mitchel, & Bambos (2008) use it to enhance the security in big corporations in order to measure how the increase of the safety within them affects others; Economides & Silvester (1991) also use game theory in the formulation of a routing protocol, where they divide the packets into two classes and each one tries to minimize the traffic time of packets, competing with the other.

### **BATMAN protocol**

The research group has worked widely and successfully with the Better Approach to Mobile Ad Hoc Networks (BATMAN) protocol. It has been easy to implement, quick, secure, and compatible with several devices.

There are several studies showing the advantages previously mentioned. Xu, Wang, Li, Qin, & Zhu (2011) successfully perform a setup in a university campus and they manage to satisfy the requirements of a community with high traffic levels. Oehlman (2001) compares the latest two versions of the protocol and demonstrates the advantages of the more recent one by using proper metrics relative to the previous version. For these reasons, we selected this protocol for the development of the project.

BATMAN is a proactive routing protocol that maintains the information of all the nodes in a network. Consequently, for every possible destination the information of the closest neighbor is stored; this eliminates the need for all the nodes in the network to know the complete topology and it also avoids the calculation of complete routes due to the permanent input and output of nodes given its mobility. If this is not done, the network perfor-

deciden si cooperar o no, logrando un beneficio incluso en la decisión de comportarse de manera egoísta.

Stewart y Plotkin (2013) extienden el concepto del dilema del prisionero de dos individuos a un grupo mayor, y Roughgarden (2010) postula un algoritmo eficiente para la teoría del juego que satisfaga la condición de equilibrio de Nash, que consiste en una lista de estrategias, una para cada participante, en donde ninguno puede cambiar su estrategia unilateralmente para obtener una mejor utilidad y cada uno conoce la estrategia de los otros participantes, de tal manera que todos puedan maximizar su ganancia individual. Esto no quiere decir que el resultado en conjunto sea el mayor si hubiera una coordinación con los demás.

La teoría de juegos tiene muchas aplicaciones, Miura-ko, Yolken, Mitchel, y Bambos (2008) la utilizan para mejorar la seguridad en grandes organizaciones de tal manera que se pueda medir cómo el aumento de la seguridad de una organización afecta a otra; Economides y Silvester (1991) también utilizando la teoría de juegos en la formulación de un protocolo de enrutamiento en donde se dividen los paquetes en dos clases, y cada clase intenta minimizar el tiempo de tráfico de paquetes, compitiendo con la otra.

### **Protocolo BATMAN**

El grupo de investigación ha trabajado extensa y exitosamente con el protocolo de enrutamiento Better Approach to Mobile Ad Hoc Networks [BATMAN]; el protocolo ha sido fácil de implementar, rápido, seguro y compatible con muchos dispositivos.

Existen varios estudios que muestran las ventajas mencionadas. Xu, Wang, Li, Qin, y Zhu (2011) realizan un montaje en el campus de una universidad y logran satisfacer los requerimientos para una comunicación con tráfico alto; Oehlman (2001), por su parte, compara las últimas dos versiones del protocolo y demuestra las ventajas del algoritmo más reciente usando métricas propias del protocolo con respecto a la versión anterior. Por estas razones, este protocolo fue seleccionado para el desarrollo del proyecto.

BATMAN es un protocolo de enrutamiento proactivo, que mantiene información de todos los nodos de la red, de tal manera que para cada posible destino se almacena la información del vecino más cercano, lo que elimina la necesidad de que todos los nodos de la red conozcan la topología completa y evita el cálculo de rutas complejas debido a la permanente entrada y salida de nodos y a la movilidad de los mismos, lo cual resultaría costoso en términos de procesamiento y ancho de banda (Johnson, Aichele, & Nlatlapa, 2008; Lindner, Wunderlich, &

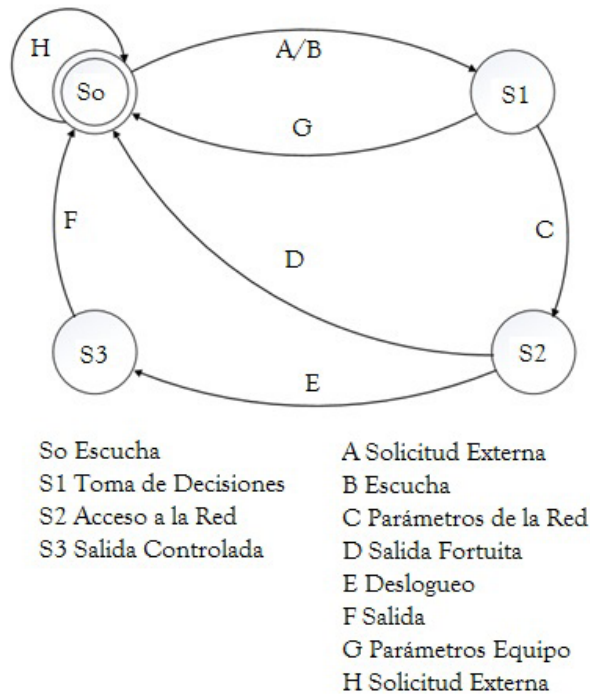


Figure 3. State machine of the node /  
Máquina de estados del nodo

Eckelmann, 2011).

Para la comunicación, todos los nodos transmiten mensajes originadores (Originator Message, OGM) a todos sus vecinos, los cuales tienen dos objetivos principales: identificar los nodos vecinos y darse a conocer a toda la red, de tal manera que la información que le interesa a cada nodo —respecto de los demás— es saber a través de qué vecino puede acceder.

BATMAN es un protocolo de enrutamiento capa 2, lo que implica que la información de enrutamiento es transportada utilizando tramas Ethernet; el protocolo encapsula y envía todo el tráfico hasta que alcance el destino emulando un gran switch virtual, por lo cual no se afecta con el cambio de la topología de la red.

El módulo Batman-adv es la implementación del protocolo BATMAN en forma de un módulo en el Kernel de Linux que opera en capa 2. El hecho de estar en el Kernel elimina el inconveniente del procesamiento del paquete en el espacio de usuario, ya que el ir y volver limita el ancho de banda en dispositivos de gama baja.

Batctl es una herramienta para configurar y depurar el módulo Batman-adv y ofrece una interfaz para todas las configuraciones del módulo.

#### Definiciones

Este proyecto está enmarcado en un objetivo superior que busca el grupo de investigación TLÖN de la Universidad Nacional, por lo tanto, es necesario enmarcar algunos conceptos que regirán su desarrollo, los cuales se describen en la **TABLA 1**.

mance will be affected in terms of processing time and bandwidth (Johnson, Aichele, & Ntlatlapa, 2008; Lindner, Wunderlich, & Eckelmann, 2011).

For the communication process, every node transmits originator messages (OGM) to all its neighbors with two main objectives: to identify the neighbor nodes and getting to know the entire network. Consequently, the information of interest to each node —regarding the others— can be accessible to the rest.

BATMAN is a layer 2 routing protocol; consequently, the routing information is transported by using Ethernet frames. The protocol encapsulates and sends all the traffic until it reaches the destination by emulating a great virtual switch; therefore, changes in the network topology do not affect it.

The BATMAN-adv module is the implementation of this protocol in the form of a module in the Linux kernel working in layer 2. The fact of being in the kernel mitigates the packet processing issue in the user space, since the full round-trip restricts the bandwidth in low-spec devices.

On the other hand, Batctl is a tool to configure and debug the BATMAN-adv module and it offers an interface to all the module configurations.

#### Definitions

This project defines the superior objective that the TLÖN research group is pursuing. Hence, it is necessary to present some concepts that will entail its development. These concepts are described in **TABLA 1**.

### III. Operation of the model

**FIGURE 3** presents the states the node will have (the objective of the project). We present a brief description of each one in the paragraphs after **TABLA 1**.

#### State 1. Listen/request

Initially, the node is in a state where it can listen and, at the same time, send joint requests with ad hoc networks. When the node either receives a request from a network or receives a response to its request, it changes its state to the decision-making one.

The node will not leave state 1, since it must be listening and announcing its existence to the network; besides, it must be updating the resources information provided by it and the information received on the network parameters.

State 2. Decision-making

In this second state, the node performs two main functions: passing the information on all its resources to the entity and choosing whether or not to enter the ad hoc network by using a mathematical model, given the internal and external parameters (hard disk, bandwidth, number of nodes, etc.).

Depending on its decision, it will either pass to state 3 — where it will be integrated into the network— or return to the initial state.

State 3. Integrated into the network

In this state, the node is in the ad hoc network and it starts to share its resources. The entity —at a superior level— can request the node to carry out some functions (e.g. store certain information or access some resource within the node) or vice versa; i.e., the node might access some resource in the network, such as a peripheral or storage device.

The software module to be created will perform the necessary management for the virtual machine to execute the actions over the device. Once the virtual machine returns the information, the module will pass it to the entity. If the node exits the network by accident without the possibility of performing a controlled exit from the network, it will pass to state 1.

State 4. Controlled exit

If the node executes a session close (i.e. network exit), it will pass to the controlled exit state, which allows it to return the information stored within it, besides the declaration of its resources. Consequently, the entity performs the necessary actions to maintain the integrity of the information. Later, the entity will authorize the leaving of the node. Finally, the node will return to state 1.

Physical implementation

The kernel is the core of the operating system; it is a software located in the memory in charge of giving instructions to the CPU. It also manages the hardware and it is the bridge between it and any program in the system (Ward, 2014). In this project, we propose to perform the implementation at the kernel level, since this part of the

Concept / Concepto	Description / Descripción
Node / Nodo	In an ad hoc network, this is a wireless device with the capacity to communicate with others. Functionally, it might be a router or a host (Loo et al., 2012). / En una red Ad Hoc, dispositivo inalámbrico que tiene la capacidad de comunicarse con otro; funcionalmente puede ser un enrutador o un host (Loo et al., 2012).
Society / Sociedad	An association of people who form a cooperative company, collaborating to obtain the welfare of all and following certain rules that guide their mutual relationships (Nagel, 1973). / Asociación de personas que conforman una empresa cooperativa, cooperan entre sí para obtener el bienestar de todos y siguen ciertas reglas que guían sus relaciones mutuas (Nagel 1973).
Justice / Justicia	The first virtue of social institutions, it is defined by the role of its principles at the time of the assignation of rights and duties (Nagel, 1973). In an ad hoc network, it might apply when more resources are provided to a node not needing them, regardless of its capacities. / Primera virtud de las instituciones sociales, se define por el papel de sus principios al asignar derechos y deberes (Nagel 1973). En una red Ad Hoc, podría aplicarse cuando se brindan más recursos a un nodo que lo necesita, sin importar sus capacidades.
Resources / Recursos	Goods or services provided by the devices, which can be physical —i.e. sensors, actuators, batteries— or intangible, e.g. applications or stored information (Fitzek & Katz, 2014). / Bienes o servicios proporcionados por los dispositivos, los cuales pueden ser físicos —sensores, actuadores, baterías— o intangibles —aplicaciones o información almacenada— (Fitzek & Katz, 2014).
Entity / Entidad	In the research group's definitions, it is an abstraction that operates over an ad hoc network formed by all the nodes within it. The nodes declare their resources to the entity and it manages them to ensure efficient and fair use. / Enmarcado en el objetivo del grupo de investigación, abstracción que opera sobre una red Ad Hoc formada por todos los nodos de la red. Ante ella, los nodos declaran sus recursos y ella los administra, de manera que puedan ser utilizados por todos de forma justa y eficiente.
Virtual machine / Máquina virtual	A software abstraction with the appearance of a real hardware system. It is an objective for a programmer or computing system (Rosenblum, 2004) and the software is written to run over a virtual machine, which translates instructions of high level code to machine level. / Abstracción de Software con la apariencia de un sistema de hardware real. Es un objetivo para un programador o sistema de compilación (Rosenblum, 2004), se escribe software para que corra sobre una máquina virtual, la cual traduce instrucciones de código de alto nivel a código máquina.

Table 1. Definitions / Definiciones

III. Funcionamiento del módulo

La Figura 3 muestra los estados por los cuales pasará el nodo (objetivos del proyecto). A continuación se describe cada uno de ellos.

Estado 1. Escucha/solicita

Inicialmente el nodo se encontrará en un estado en el cual escucha y al mismo tiempo envía solicitudes de unión con redes Ad Hoc. Cuando el nodo recibe la solicitud desde una red o recibe una respuesta a las solicitudes que ha estado enviando, pasa a un segundo estado, el de toma de decisiones.

El nodo no dejará de estar en el Estado 1, ya que debe estar escuchando y anunciando su existencia a la red, además debe estar actualizando la información de los recursos con los que está aportando; y recibiendo la información de los parámetros de la red.

Estado 2. Toma de decisiones

En este segundo estado el nodo realiza dos funciones principales: la primera, pasar la información de todos sus recursos a la entidad; la segunda, con unos parámetros internos y externos (disco duro, ancho de banda, número de nodos, entre otros), y mediante un modelo ma-



temático de toma de decisiones, escoge ingresar o no a la red Ad Hoc. Dependiendo de esta decisión pasará al estado 3, en donde estará integrado a la red, o volverá al estado 1.

### Estado 3. Integrado a la red

En este estado el nodo está en la red Ad Hoc y comienza a compartir sus recursos; la entidad que está en un nivel superior le puede solicitar al nodo realizar algunas funciones (como guardar cierta información o acceder a algún recurso que el nodo contenga) o viceversa, el nodo ante alguna necesidad, podrá acceder a algún recurso que se encuentre en la red, tal como un periférico o almacenamiento.

El módulo de software a crear realizará las gestiones necesarias para que la máquina virtual efectúe las acciones sobre el dispositivo, una vez la máquina virtual devuelva información, el módulo la pasará a la entidad. Si el nodo sale de la red de manera fortuita, sin la posibilidad de realizar una salida controlada de la red, pasará al estado 1.

### Estado 4. Salida controlada

Si el nodo realiza un proceso de cierre de sesión o salida de la red, pasará a un estado de salida controlada, la cual le permitirá devolver la información que tiene almacenada o declarar qué recursos se lleva consigo, para que la entidad realice las acciones necesarias para mantener la integridad de la información; luego, la entidad dará la autorización para que pueda abandonar la red; finalmente el nodo regresará al Estado 1.

#### Implementación física

El Kernel es el núcleo del sistema operativo, es un software ubicado en la memoria que es la encargada de dar las instrucciones a la CPU; administra el hardware y es el puente entre este y cualquier programa del sistema (Ward, 2014). En este proyecto se propone realizar la implementación a nivel del Kernel ya que en esta parte del sistema de Linux es donde se tiene acceso sin restricción al procesador; a la memoria principal y a los periféricos; además se puede manejar, incluso la operación del protocolo de enrutamiento (Rosen, 2014) añadiendo información adicional, si se requiere.

Para la realización del proyecto se tienen varias opciones sobre la distribución de Linux a utilizar; la primera se llama OpenWrt (OpenWrt Community, 2016), fue desarrollada para dispositivos embebidos y licenciada por GPL; es un software libre compatible con muchos dispositivos, lo que permite una rápida configuración del protocolo BATMAN y realizar configuraciones muy personalizadas del Kernel.

La segunda opción es un sistema operativo llamado Raspbian (Raspbian Community, 2012) basado

Linux system is where access without restrictions to the processor, main memory, and peripherals is guaranteed. Besides, the operation of the routing protocol is also achievable (Rosen, 2014) by adding additional information if required.

For the implementation of the project, we have several options for the Linux distributions to use. The first one is called OpenWrt (OpenWrt Community, 2016) and was developed for embedded devices and licensed by GPL. It is a freeware compatible with many devices, and allows quick configuration of the BATMAN protocol and the execution of very customized configurations of the kernel.

The second option is an operating system called Raspbian (Raspbian Community, 2012). It is based on Debian and built basically for Raspberry Pi devices; the main advantage is the addition of 35,000 software packages for specific use with this device.

The Raspberry Pi is an embedded device with the features of a computer, but with a greatly reduced size (Monk, 2013), it fits on the palm of the hand and it is equipped with a processor varying according to the model (generally of a 700 MHz frequency), a RAM memory of 512 MB and storage in an SD card. It is ideal for the development of this project given the easiness of creating applications.

Another device we have tested is the Beaglebone Black

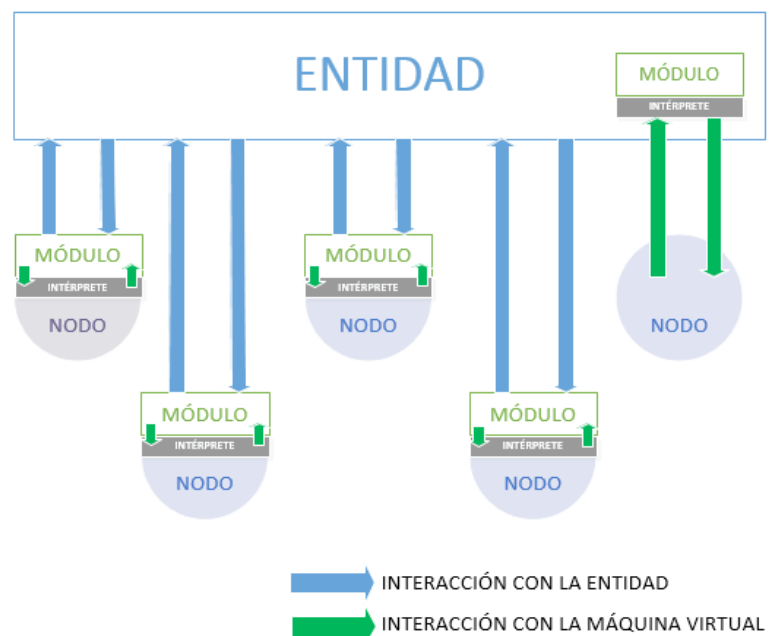


Figure 4. Module to design over each node and its interaction with the entity / Módulo a diseñar sobre cada nodo y su interacción con la entidad

(Texas Instruments, 2016). It is an embedded device with similar features to the Raspberry Pi but developed by Texas Instruments. It mounts an ARM processor running at 1 GHz.

Using the Raspberry Pi, the research group has performed successful tests using the BATMAN protocol. We have achieved communication between several devices and the sharing of resources has also been possible. The executed tests have resulted in small times and low latencies.

## IV. Future work

In the TLÖN group, we expect to add an entity established by all the nodes forming the network and where each node manages a part of the processing tasks and stores information. If a node—due to processing problems or any other issue—cannot perform its duty, the entity will make another node take its place. The information will be redundant; hence, the stored data in a node will not be lost when it leaves the network. It will be possible to access the nodes' resources whenever they are needed, i.e., peripherals like screens, microphones, or a determined sensor will be available.

The main purpose of this project is related to the relation of the node with that entity and not to the design of the entity itself.

The interpreter performing the conversion of the instructions to machine code will not be objective in this project. However, we expect to create the mechanisms for interaction with the device, delivering and receiving information and instructions, and also simulating the processing of the same.

Given the fact that the inclusion of the social-inspired behavior in ad hoc networks is a novel topic and, especially in this case that we expect to include a module in the device kernel—which adds additional bits in the packets processed by the protocol—it is expected that the performance will not be the best. Consequently, situations like those indicated by Ortiz-Triviño & Hernández (2011) as metrics and quality of service will not be considered. We anticipate that, in the near future, with the inclusion of the decision-making process in the nodes, a subsequent work will be performed to enhance the performance of the network.

## V. Conclusions

We presented the state of the art of a project, which is intended to be the first step towards the inclusion of the social-inspired paradigm in ad hoc networks. We presented definitions related with the most relevant aspects regarding the proposed

en Debian y construido básicamente para dispositivos Raspberry Pi; la ventaja es que viene con más de 35.000 paquetes de software para uso específico sobre este dispositivo.

La Raspberry Pi es un dispositivo embebido con las características de un computador de un tamaño muy pequeño (Monk, 2013), cabe en la palma de la mano, cuenta con un procesador que varía según el tipo (puede ser de 700 Mhz), una memoria RAM de 512 MB y almacenamiento en una tarjeta SD. Es ideal por su facilidad para implementar las aplicaciones que se van a ir desarrollando en el proyecto.

Otro dispositivo con el cual se han desarrollado múltiples pruebas es el Beaglebone Black (Texas Instruments, 2016); es un dispositivo embebido con características similares a la raspberry, desarrollado por Texas Instruments, que cuenta con un procesador ARM de 1Ghz.

Sobre la Raspberry Pi el grupo de investigación ha hecho pruebas exitosas con el protocolo BATMAN. Ha logrado comunicación entre varios dispositivos y compartir servicios. Las pruebas han arrojado tiempos pequeños y baja latencia.

## IV. Trabajo futuro

En el grupo TLÖN se pretende añadir una entidad que esté formada por todos los nodos que componen la red y en la cual cada nodo administre una parte del procesamiento y guarde información; si un nodo, por problemas de procesamiento u algún otro inconveniente no puede realizar su función, la entidad hará que otro nodo tome su lugar. La información será redundante, de tal manera que la información almacenada en un nodo no se pierda cuando este salga de la red. Se podrán acceder a recursos que posean los nodos cuando sea necesario, por ejemplo, periféricos como pantalla, micrófono o algún sensor; el propósito de este proyecto está ligado a la relación del nodo con esa entidad y no al diseño de la entidad como tal.

El intérprete que realizará la conversión de las instrucciones a código de máquina no es un objetivo de este proyecto, sin embargo, se crearán los mecanismos para la interacción con la misma, entregando y recibiendo información e instrucciones, y simulando el procesamiento de las mismas.

Debido a que la inclusión del comportamiento social-Inspirado en redes Ad Hoc es nuevo, y en este caso, se va a incluir un módulo en el kernel del dispositivo que va a la vez a incluir bits adicionales en los paquetes que se envíen en el protocolo, se sabe que el desempeño no va a ser el mejor; por lo que, situaciones como las indicada por Ortiz-Triviño y Hernández (2011) como métricas y calidad del servicio no serán consideradas. Se espera que en un futuro con la inclusión de la toma de decisiones en los nodos, un trabajo posterior se dirija a mejorar el desempeño de la red.

## V. Conclusiones

Se expuso el estado del arte del proyecto, el mismo que busca ser un primer paso hacia la adición del paradigma social-inspirado en las redes Ad Hoc; se vieron definiciones relacionadas con los aspectos más importantes que tienen que ver con la estructura propuesta para el desarrollo del proyecto; se expuso brevemente el sistema de cómputo propuesto por el grupo TLÖN, en el cual está incluida esta propuesta de investigación y en donde encaja perfectamente este proyecto en su conjunto.

Su importancia radica en que es un primer paso hacia el comportamiento social-inspirado, lo que tiene que ver con la toma de decisiones sobre el ingreso a la red, la cual se realiza tomando en consideración los recursos que tiene el nodo y lo que le ofrece la red.

Otro aspecto importante es la interacción con la entidad (sistema distribuido) y con la máquina virtual ya que en su conjunto manejan el funcionamiento de toda la red y de la abstracción del sistema de cómputo TLÖN.

El siguiente paso es la construcción del módulo de Software capaz de realizar las acciones aquí expuestas. *ST*

structure for the development of the project, and we briefly outlined the computational system proposed by the TLÖN group, where this research proposal is included, fitting appropriately into the broader project.

The importance of our proposal is mainly that it is the first step towards social-inspired behavior; specifically relating to decision-making about whether to enter the network. This decision-making is performed considering the resources of the node and the offerings of the network.

Another important aspect is related to the interaction of the entity (distributed system) with the virtual machine, since together they handle the operation of the whole network, including the computational system abstraction of the TLÖN group.

Future work will include the construction of a software module that is capable of performing the actions here described. *ST*

## References / Referencias

- Bagchi, R. & Davis, D. F. (2016). The role of numerosity in judgments and decision-making. *Curr. Opin. Psychol.*, 10, 89-93.
- Bitam, S., Mellouk, A., & Zeadally, S. (2014). Bio-inspired routing algorithms survey for vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Survey Tutorials*, 17(2), 843-867.
- Buchegger, S., & Le Boudec, J. Y. (2005). Self-policing mobile ad hoc networks by reputation systems. *IEEE Communications Magazine*, 43(7), 101-107.
- Chowdhury, F. N. (1993). Decision making with neural networks. In *Proceedings of Southeastcon '93*. IEEE.
- Dudkowski, D. Marrón, P. J. & Rothermel, K. (2006). An efficient resilience mechanism for data centric storage in mobile ad hoc networks. In *Proceedings - IEEE International Conference on Mobile Data Management*. IEEE. doi:10.1109/MDM.2006.33
- Economides, A. A. & Silvester, J. A. (1991). Multi-objective routing in integrated services networks: A game theory approach. In *INFOCOM '91. Proceedings. Tenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Networking in the 90s* (pp. 1220-1227). IEEE
- Fitzek, F. & Katz, M. (2014). *Mobile clouds: Exploiting distributed resources in wireless, mobile and social networks*. New Delhi, India: PUB.
- Gebali, F. (2009). Cross-Layer Modeling of Wireless Ad Hoc Networks in the Presence of Channel Noise. In *Global Telecommunications Conference, 2009. GLOBECOM 2009*. IEEE.
- Hatzivasilis, G. & Manifavas, C. (2012). Building trust in ad hoc distributed resource-sharing networks using reputation-based systems. In *Proceedings of the 2012 16th Panhellenic Conference on Informatics, PCI 2012* (pp. 416-421). IEEE.
- Johnson, D., Aichele, C., & Ntlatlapa, N. (2008). Simple pragmatic approach to mesh routing using BATMAN. In *2nd IFIP International Symposium on Wireless Communications and Information Technology in Developing Countries, CSIR, Pretoria, South Africa, 6-7 October* (p. 10).
- Kumar-Sarkar, S., Basavaraju, T., & Puttamadappa, C. (2013). *Ad Hoc mobile wireless network: principles, protocols and applications*. Boca Raton, FL: CRC.
- Lindner, M., Wunderlich, S., & Eckelmann, S. (2011). B.A.T.M.A.N (Better Approach to Mobile Ad-Hoc Network) [online]. Retrieved from: <http://www.open-mesh.org>
- Loo, J., Lloret, J., & Hamilton, J. (2012). *Mobile ad hoc networks: current status and future trends*. Boca Raton, FL: CRC.
- Lu, S., Miao, Q., & Fang, J. (2008). Effects of network topology on decision-making in a biological network model. In *First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, 2008. ICINIS '08* (pp. 197-200).
- Luce, R. D. & Raiffa, H. (1989). *Games and decisions: Introduction and critical survey*. New York, NY: Dover.
- Maldonado, C.E. & Gómez, N.A. (2011). *Sistemas bio-inspirados: un marco teórico para la ingeniería de sistemas complejos*. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.
- Miura-ko, R., Yolken, B., Mitchel, J., & Bambos, N. (2008). Security decision-making among interdependent organizations. In

- IEEE 21st. Computer Security Foundations Symposium, 2008. CSF '08 (pp. 66-80). IEEE.
- Monk, S. (2013). Raspberry Pi cookbook: Software and hardware problems and solutions. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
- Nagel, T. (1973). Rawls on justice. *Philosophical Review*, 82(2), 220-234.
- Ni, J. & Yang, S.X. (2011). Bioinspired neural network for real-time cooperative hunting by multirobots in unknown environments. *IEEE Transactions in Neural Networks*, 22(12), 2062-2077.
- Niswar, M., Sabri, A., Warni, E., Musa, M. (2013). Memory sharing management on virtual private server. In 2013 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS). IEEE. doi:10.1109/ICTSS.2013.6588079
- Oehlman, F. (2011). Simulation of the 'Better Approach to Mobile Adhoc Networking Protocol (thesis). Technische Universit"at Munchen: Germany.
- OpenWrt Community (2016). OpenWrt: Wireless Freedom [online]. Retrieved from: . [Accessed: 02-Mar-2016].<http://openwrt.org>
- Orozco, A.M. & Llano, G. (2014). OSA: a vanet application focused on fuel saving and reduction of CO2 emissions. *Sistemas & Telemática*, 12(9), 25-47.
- Orozco, A.M., Llano, G., & Michoud, R. (2012). Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación. *Ingenium*, 6(12), 11-22.
- Ortiz-Triviño, J. & Ospina-López, J. P. (2015). Caracterización de un clúster y sus recursos en una red Ad Hoc a partir de la distribución geométrica truncada. *Revista Universidad Santo Tomás*, 12(1), 68-75.
- Ortiz-Triviño, J. E. & Hernández, G. (2011). Cálculo de algunas medidas estadísticas para evaluar el desempeño de redes Ad Hoc. *Ingeniería y Competitividad*, 8( 1), 15-21.
- Raspbian Community (2012). Raspbian [online]. Retrieved from: <https://www.raspbian.org/>
- Ray, S., Carruthers, J.B., & Starobinski, D. (2005). Evaluation of the masked node problem in ad hoc wireless LANs. *IEEE Transactions in Mobile Computing*, 4(5), 430-442.
- Rezaei, B.A., Sarshar, N., & Roychowdhury, V. P. (2010). Distributed resource sharing in low-latency wireless ad hoc networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 18(1), 190-201.
- Rosen, R. (2014). *Linux kernel networking: Implementation and theory*. New York, NY: Apress.
- Rosenblum, M. (2004). The reincarnation of virtual machines. *Queue*, 2(5), 34.
- Roughgarden, T. (2010). Algorithmic game theory. *Communications of the ACM*, 53(7), 78.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Eur. J. Oper. Res.*, 48(1), 9-26.
- Salehi, M. J., Khalaj, B. H., Katz, M., Fazelnia, G., Karimi, P., & Del Ser, J. (2012). Mobile clouds: How to find opportunities. In 2012 IEEE 17th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD) ( pp. 170-172). IEEE.
- Stewart and, A. J. & Plotkin, J. B. (2013). From extortion to generosity, evolution in the Iterated Prisoner's Dilemma. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(38), 15348-15353.
- Támara, I.J. & Alzate, M.A. (2011). Control of admission for Ad Hoc mobile network based on estimates available bandwidth. Bogotá, Colombia: PUB.
- Texas Instruments [TI] (2016). BeagleBoard [online]. Retrieved from: <https://beagleboard.org/black>
- Thanapal, P. & Saleem-Durai, M.A. (2014). A survey of mobile cloud computing for extending energy of mobile devices. *Appl. Mech. Mater.*, 573, 549-555.
- Toh, C. K., Kim, D., Oh, S., & Yoo, H. (2010, February). The controversy of selfish nodes in ad hoc networks. In 2010 The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), (Vol. 2, pp. 1087-1092). IEEE.
- Turocy, T. L. & Von-Stengel, B. (2003). Game theory. In *Encyclopedia of Information Systems* (pp. 403-420). London, UK: Academic Press.
- Tversky, A. & Shafir, E. (1992). Choice under conflict: The dynamics of deferred decision. *Psychol. Sci.*, 3(6), 358-361.
- Tversky, A. (1972). Elimination by aspects: A theory of choice. *Psychol. Rev.*, 79(4), 281-299.
- Villalba, L.J.G., Canas, D.R., & Orozco, A.L.S. (2010). Bio-inspired routing protocol for mobile ad hoc networks. *IET Communications*, 4(18), 2187-2195.
- Wang, S. H. & Archer, N. PO. (1998). A neural network based fuzzy set model for organizational decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part C (Applications & Reviews)*, 28(2), 194-203.
- Ward, B. (2014). *How Linux works: What every superuser should know* [2a ed.]. San Francisco, CA: No Starch Press.
- Xu, J., Wang, L., Li, Y., Qin, Z., & Zhu, M. (2011). An experimental study of BATMAN performance in a campus deployment of wireless mesh networks. In *Proceedings - 2011 7th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, MSN 2011* (pp. 341-342). IEEE.
- Zadeh, L.A. (1996). Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions in Fuzzy Systems*, 4(2), 103-111.
- Zarate-Ceballos, H. & Ortiz-Triviño, J. E. (2012). Mesh networks, communications emergency response. *Int. J. Eng. Technol.*, 2(2), 509-514.
- Zarate-Ceballos, H., Sánchez-Cifuentes, J.F., Ospina-López, J.P., & Ortiz-Triviño, J.E. (2015). Sistema de telecomunicaciones social-inspirado mediante comunidades de agentes. In *Congreso Internacional de Computación Colombia-México, 2015* (pp. 56-63). Bogotá, Colombia: Fabbecor

## CURRICULUM VITAE

**John Edwar González** Electronics Engineer at the Universidad Surcolombiana of Neiva; currently, he is studying for a Masters in Telecommunications Engineering at the Universidad Nacional de Colombia and he is also a member of the TLÖN research group. He is working on a project for the inclusion of a social-inspired paradigm in ad hoc networks. His work is centered on the inclusion of the decision-making capacity of the nodes in these kinds of networks. / Ingeniero Electrónico de la Universidad Surcolombiana de Neiva; actualmente cursa la Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones en la Universidad Nacional de Colombia y es miembro de su grupo de investigación TLÖN, donde trabaja en un proyecto para la inclusión de un paradigma social-inspirado en redes Ad Hoc. Su trabajo se centra en la inclusión de la capacidad de toma de decisiones en los nodos de las redes Ad Hoc.

**Jorge Eduardo Ortiz, PhD (c).** Systems Engineer, MSc in Statistical Sciences, and MSc in Telecommunications Engineering. Candidate for an MSc in Philosophy and for a Doctorate in Systems Engineering and Computation. His interest areas are ad hoc networks, simulations of linear regressions based on genetic algorithms, and artificial intelligence. / Ingeniero de Sistemas, Magister en Ciencias Estadísticas, Magister en Ingeniería de Telecomunicaciones; candidato a Magister en Filosofía y candidato a Doctor en Ingeniería de Sistemas y Computación. Sus áreas de interés son: las redes Ad Hoc, la simulación (regresiones no lineales basadas en algoritmos genéticos) y la inteligencia artificial.

**Henry Zárate Ceballos, MSc.** Electronic Engineer of the Universidad Central de Colombia and MSc in Telecommunications of the Universidad Nacional de Colombia. His professional interests are focused on ad hoc and mesh networks as a medium to generate convergent systems in emergency situations. He is an active member of the TLÖN research group. / Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad Central de Colombia (Bogotá), y Magister en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Su interés profesional está focalizado en las redes Ad-Hoc y las redes Mesh, como medios para generar sistemas convergentes en situaciones de emergencia. Está adscrito al grupo de investigación TLÖN de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá).