

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Electrónica y Telecomunicaciones con orientación
en Telecomunicaciones**

**Simulación de una Red Triage utilizando agentes
inteligentes**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Miguel Angel López Luviano

Ensenada, Baja California, México

2019

Tesis defendida por

Miguel Angel López Luviano

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Roberto Conte Galván

Codirector de tesis

Dra. Karina Raya Díaz

Codirector de tesis

Dr. Salvador Villarreal Reyes

MC. Jorge Enrique Preciado Velasco

Dr. Jorge Torres Rodríguez



Dr. Daniel Saucedo Carvajal

Coordinador del Posgrado en Electrónica y Telecomunicaciones

Dra. Rufina Hernández Martínez

Directora de Estudios de Posgrado

Miguel Angel López Luviano © 2019

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis

Resumen de la tesis que presenta Miguel Angel López Luviano como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones con orientación en Telecomunicaciones.

Simulación de una Red Triage utilizando agentes inteligentes

Resumen aprobado por:

Dr. Roberto Conte Galván

Codirector de tesis

Dra. Karina Raya Díaz

Codirector de tesis

El incremento apresurado de los usuarios que se conectan a Internet, y la gran cantidad de actividades que se realizan a través de éste, han provocado preguntarse si toda la información que viaja a través de Internet tiene la misma importancia. Suponiendo el caso de una red donde toda la información que se transmite es de pacientes que se encuentran en hospitales, es importante conocer qué información es más urgente de transmitir, manteniendo la calidad que requieren las redes de telemedicina. En la presente tesis se simula una red de telemedicina la cual, apoyada por nuevas tecnologías como son los “Agentes Inteligentes” y “Servicios Diferenciados”, se convierte en una Red Triage. Una red triage es una red que tiene la finalidad de clasificar y otorgar servicios especiales a los pacientes que se encuentran dentro de ésta, clasificándolos por la gravedad de su estado de salud. En el desarrollo de la tesis se logró clasificar a los pacientes por el estado en que se encuentran sus signos vitales, y la cantidad de pacientes dentro de la red, además de entregar un tipo de servicio a los pacientes de los disponibles en Servicios Diferenciados, basado en esta clasificación. La metodología utilizada para diseñar la red es la de abstraer la idea de red inteligente en una pila, lo que permite diferenciar las partes del sistema. Se creó un proceso para identificar a los pacientes que pueden ser considerados en estado crítico, debido a su valor representativo de la gravedad. Una vez identificados se les otorgaron recursos de la red, priorizando la transmisión de estos pacientes sin necesidad a que entren en la negociación de recursos. Se logró diferenciar a los pacientes que no tienen solución de los que se encuentren en estado crítico y puedan preservar su vida a través de acciones y negociación de recursos. Se hizo un protocolo de negociación que imitara de cierta forma la repartición de recursos que se llevan a cabo en los hospitales, otorgando los recursos que requerían los pacientes según fueran siendo atendidos, cuyo orden de atención es la lista de los pacientes ordenados por gravedad para el protocolo expuesto en la tesis.

Palabras clave: Redes Triage, Agentes Inteligentes, Protocolos de negociación, Teoría de juegos, Redes Inteligentes, Calidad de Servicio, Servicios diferenciados

Abstract of the thesis presented by Miguel Angel López Luviano as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Electronics and Telecommunications with orientation in Telecommunications.

Simulation of a Triage Network using intelligent agents

Abstract approved by:

Dr. Roberto Conte Galván

Thesis Co-Director

Dra. Karina Raya Díaz

Thesis Co-Director

The rapid increase of users who connect to the Internet, and the large number of activities carried out through it, have led to wondering if all the information that travels through the Internet has the same importance. Assuming the case of a network where all the information that is transmitted is from patients who are in hospitals, it is important to know what information is most urgent to transmit, maintaining the quality that telemedicine networks require. In this thesis a telemedicine network is simulated which, supported by new technologies such as Intelligent Agents and "Differentiated Services", becomes a Triage Network. A triage network is a network that aims to classify and provide special services to patients within it, classifying them by the severity of their health status. In the development of the thesis, patients were classified by the state of their vital signs, and the number of patients within the network, in addition to providing a type of service to patients of those available in Differentiated Services, based on this classification. The methodology used to design the network is to abstract the idea of smart grid in a stack, which allows to differentiate parts of the system. A process was created to identify patients that can be considered in critical condition, due to their representative value of severity. Once identified, they were granted resources from the network, prioritizing the transmission of these patients without the need to enter into the negotiation of resources. It was possible to differentiate patients who have no solution from those who are in critical condition and can preserve their lives through actions and negotiation of resources. It was possible to make a negotiation protocol that imitates in a certain way the distribution of resources that are carried out in hospitals, granting the resources that patients required as they are being attended, whose order of care for the list of patients is specified by severity for the protocol exposed in this thesis.

Keywords: Triage networks, Intelligences Agents, Negotiation protocols, Games theory, Smart Grid, Quality of service, Differentiated Services

Dedicatoria

A ... Mis padres, quien siempre se han esforzado por verme salir adelante en todo lo que me he propuesto en mi vida. Gracias

Agradecimientos

A ... Dios, por su dirección y cuidado.

A mis padres, que fueron pacientes conmigo mientras tomaba la decisión de estudiar la maestría. Y posteriormente, por el apoyo brindado durante las visitas de mi madre durante mi estadía en Ensenada, y los consejos de mi padre para resolver problemáticas que se presentaron durante mi estadía solo.

A mis hermanos, por su apoyo y confianza en mi, al dedicarme a crecer un poco mas como profesional y persona, durante este periodo.

A mis compañeros de generación, los quienes supieron hacer la esta experiencia divertida y única. La cual, hasta la fecha... Considero la mejor etapa de mi vida.

A mis profesores, por sus enseñanzas y retos, los cuales me ayudaron a darme cuenta del potencial que se encuentra dentro de mi.

A mis compañeros de musica, por la experiencia de poder pertenecer a un grupo de potenciales amigos, haciendo el pasatiempo que mas amo en esta vida.

Al comité de tesis, por su consejo y fe hacia mi.

A mis directores de tesis, Roberto Conte y Karina Raya, quienes me guiaron durante la experiencia de realizar la presente tesis, y por los consejos profesionales y de vida que me han brindado durante las platicas de retroalimentación a mi trabajo.

Al Centro de Investigación CICESE por darme la oportunidad de poder ser uno de sus estudiantes, así como al CONACyT por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de maestría.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español	ii
Resumen en inglés	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	xii
Capítulo 1. Introducción	
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación	4
1.3. Plantamiento del problema	4
1.4. Hipótesis	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
Capítulo 2. Marco Teórico	
2.1. Triage Hospitalario	6
2.2. Redes Inteligentes (SmartGrids)	9
2.3. Signos Vitales	11
2.3.1. Tasa de transmisión de los signos vitales	12
2.4. Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things)	13
2.5. Redes de Sensores	15
2.5.1. Estándar 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)	16
2.6. Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service)	18
2.6.1. Servicios Diferenciados (DiffServ, Differentiated Services)	20
2.6.2. Implementación de Servicios Diferenciados	23
2.7. Agentes Inteligentes	24
2.7.1. Agente Inteligente	24
2.7.2. Sistemas multiagente	25
2.7.3. Teoría de juegos y protocolos de negociación	27
Capítulo 3. Metodología	
3.1. Cosimulación para una Red Inteligente (SmartGrids)	30
3.2. Herramientas de Software	32
3.2.1. JADE (Java Agent DEvelopment Framework)	32
3.3. Entorno de desarrollo Omnet++	35
3.4. Marco de software Inet (Inet Frameworks)	39
3.4.1. Servicios diferenciados (DiffServ)	41
3.5. Lenguaje de Programación Python	43

Tabla de contenido (continuación)

3.6.	Puntos de Conexión (Sockets)	44
3.7.	Hoja de Cálculo y JADE	45
Capítulo 4. Propuesta del protocolo		
4.1.	Propuesta del sistema	46
4.2.	Identificación de entornos (Entorno Paciente y Entorno Red)	48
4.3.	Modelado computacional	49
4.3.1.	Paciente	50
4.3.2.	Agente/Paciente	52
4.3.3.	Agente/HospitalLocal	60
4.3.4.	Agente/HospitalCentral	61
4.3.5.	Agente/Entorno de red	61
4.3.6.	Negociación	62
4.3.7.	Configuración de OMNET++	66
Capítulo 5. Escenario y Resultado		
5.1.	Hospitales San Quintín - Ensenada	68
5.1.1.	Clasificación de pacientes	70
5.1.2.	QoS de los pacientes	72
Capítulo 6. Conclusiones y Trabajo Futuro		
6.1.	Conclusiones	95
6.1.1.	Conclusiones sobre la capa de aplicación	95
6.1.2.	Conclusiones sobre la capa física	96
6.2.	Recomendaciones	97
6.3.	Aportaciones	97
6.4.	Publicaciones resultado del trabajo de investigación	98
6.5.	Trabajo futuro	98
Literatura citada		100

Lista de figuras

Figura	Página
1. Tabla de Triage Internacional.	7
2. Ejemplo de una tarjeta de Triage Hospitalario (Fernández Illescas, 2006).	8
3. Modelo conceptual de una Red Inteligente	10
4. Pantalla de monitor para pacientes CMS8000.	12
5. Visión del Internet de las cosas (IoT) (Harz. <i>et al.</i> , 2007)	14
6. Topología utilizadas en redes de sensores (Fernandez Barcell, Manuel, 2008).	16
7. Comparación entre pilas de protocolos IP y 6LoWPAN (Fernandez Barcell, Manuel, 2008).	17
8. Armado del datagrama de 6LoWPAN sobre IEEE802.15.4 (Niels Aakvaag, 2006).	17
9. Relación entre congestión, los parámetros de calidad de servicio y la Calidad de servicio (Romero, 1998).	18
10. Parámetros de calidad de servicio (QoS) (Romero, 1998).	20
11. Antes y después de las red de internet (Romero, 1998).	21
12. Ejemplo del funcionamiento de Servicios Diferenciados (Romero, 1998).	21
13. Diagrama de implementación para Servicios Diferenciados.	22
14. Byte de implementación para Servicios Diferenciados (RFC3168, visitado: 3 dic 2019).	23
15. Definición de un Agente Inteligente (Botti Navarro Vicente Juan, visitado: 2 dic 2019).	25
16. Ejemplificación de un sistema multiagente CITAR. (Botti Navarro Vicente Juan, visitado: 2 dic 2019)	26
17. Visualización por capas de metodología implementada para el diseño de la simulación	30
18. Consola de administración de JADE (JADE, visitado: 3 dic 2019).	32
19. Arquitectura de JADE (JADE, visitado: 3 dic 2019).	33
20. Ejemplificación de módulos simples y complejos en OMNET++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019a).	36
21. Pantalla de programación gráfica en OMNET++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019b).	37
22. Ejemplo de una simulación corriendo en OMNET++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019b).	38
23. Visualización para gráfico de resultados de los archivos .vec y .sca en OMNET++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019b).	39

Lista de figuras (continuación)

Figura	Página
24. Ejemplificación de otras herramientas proporcionadas por OMNET++ (INET-Framework, visitado: 3 dic 2019b).	40
25. Colas de Servicios Diferenciados en OMNET++ (INET-Framework, visitado: 3 dic 2019b).	42
26. Ejemplificación de una red con su respectivo archivos XML para la implementación de Servicios Diferenciados (INET-Framework, visitado: 3 dic 2019a).	43
27. Funcionamiento general de un socket (ProgramarYa, visitado: 4 dic 2019).	44
28. Diagrama del sistema propuesto.	46
29. Diagrama del funcionamiento del sistema de forma general para un hospital.	47
30. Identificación de Entorno Paciente y de Entorno de Red.	48
31. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.	50
32. Diagrama de acción del Paciente para seleccionar los valores de los signos vitales	52
33. Diagrama de flujo de cómo se lleva a cabo el cálculo de la gravedad (G) en un paciente.	54
34. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Frecuencia Cardíaca.	55
35. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Frecuencia Respiratoria.	56
36. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Presión Arterial.	57
37. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Saturación de Oxígeno.	58
38. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Temperatura Corporal.	59
39. Diagrama de acción para el otorgamiento de tipo de servicio.	60
40. Mapeo entre los códigos de Servicios Diferenciados y la implementación de nuestro triage hospitalario.	62
41. Diagrama de flujo para el SORT en las hojas de calculo.	63
42. Protocolo de negociación de forma extensiva por sub-juegos dominantes.	64
43. Diagrama de acción para la clasificación de los pacientes	66
44. Red hospitalaria entre San Quintín y Ensenada simulada en OMNET++.	69
45. Relación entre los pacientes basado en la gravedad.	72

Lista de figuras (continuación)

Figura	Página
46. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.	74
47. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.	74
48. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[12] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.	75
49. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[12] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.	76
50. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[13] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.	76
51. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[13] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.	77
52. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.	78
53. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.	78
54. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2048k, sin Servicios Diferenciados.	79
55. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.	80
56. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[9] con velocidad de canal a 2048k, sin Servicios Diferenciados.	81
57. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2048k, sin Servicios Diferenciados.	81
58. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[9] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.	82
59. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[10] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.	83
60. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[15] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.	83
61. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.	84
62. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.	85

Lista de figuras (continuación)

Figura	Página
63. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.	85
64. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.	86
65. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.	87
66. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[5] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.	87
67. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[5] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.	88
68. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[7] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.	89
69. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[7] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.	89
70. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 768k, sin Servicios Diferenciados.	90
71. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 768k, con Servicios Diferenciados.	91
72. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[3] con velocidad de canal a 768k, sin Servicios Diferenciados	92
73. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[3] con velocidad de canal a 768k, con Servicios Diferenciados.	92
74. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 768k, sin Servicios Diferenciados	93
75. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 768k, con Servicios Diferenciados.	94

Lista de tablas

Tabla	Página
1.	Características de algunas variables fisiológicas (Reyes Cruz, 2017) . 13
2.	Tabla de Códigos para para las clases y probabilidades mas implementadas de Servicios Diferenciados (Cisco, visitado: 4 dic 2019). . . 23
3.	Códigos para bits de ECN (RFC3168, visitado: 3 dic 2019). 24
4.	Tabla de diagnóstico para la temperatura corporal 53
5.	Tabla de diagnóstico para la frecuencia respiratoria. 53
6.	Tabla de pacientes locales del hospital de San Quintín 70
7.	Tabla resultado de la repartición de recursos 71

Capítulo 1. Introducción

El desarrollo de las tecnologías, incluidas las telecomunicaciones, ha causado que los usuarios de las mismas cada vez estén realizando más actividades apoyados de Internet. Existe una mayor cantidad de usuarios conectados a Internet para realizar actividades que pueden estar relacionadas con el trabajo, la escuela, actividades extracurriculares, pasatiempos, o en su vida personal utilizándolo como herramienta de ocio para escuchar música o ver videos a través de stream. La demanda de servicios de conexión así como la calidad de los mismos han aumentado por estas razones, por lo que se tiene un mayor consumo de recursos que aquellos que las redes de telecomunicaciones pueden otorgar hoy en día, comprometiendo así la integridad de la transmisión de la información (Silva *et al.*, 2017).

Al transmitir la información a través de los medios de comunicación esta corre el riesgo de presentar errores al ser perturbada durante la transmisión, esto puede suceder debido a diferentes factores a los que se enfrenta la información durante su transmisión de un punto inicial a otro punto final. Si bien, los factores que pueden comprometer la calidad de la transmisión de información son varios, en la presente tesis nos centraremos en los problemas ocasionados por la congestión de las redes de telecomunicaciones, la cual suele ser causada precisamente por la cantidad de usuarios que se conectan a la red y la cantidad de información que envían a través de ésta (Chien *et al.*, 2016).

La tendencia de crecimiento de los usuarios conectados a las redes de telecomunicaciones, así como el aumento de la cantidad de información que se transmite a través de estas (Raza *et al.*, 2018), en conjunto con el impacto que esta tendencia crea sobre la congestión en las redes y, por ende, en la calidad de servicio que ofrecen las mismas, ha provocado que se comience a cuestionar sobre la importancia de la información que se transmite dada su aplicación, es decir, la utilidad que se le dará a la información transmitida. Por ejemplo, la información relacionada al sector salud es de gran importancia para el trabajo de los médicos y la salud de los pacientes, por lo tanto, este tipo de información es sumamente importante que llegue a tiempo y con buena calidad para su utilización y de esta manera poder realizar un diagnóstico y/o cuidado del paciente de manera correcta. Mientras que la información que se transmite de un servidor de streaming a una computadora para poder ver video o escuchar

una canción carece de importancia comparado con la información relacionada a la salud.

Por esta razón la presente tesis busca simular una red triage, la cual consiste en la utilización de diferentes herramientas para poder sensor y transmitir la información médica de un paciente a través de la red de Internet, otorgando preferencia a este tipo de información sobre el resto de las que viajan en Internet, además de dar también preferencia a los pacientes más graves dentro de una red hospitalaria.

En la presente tesis se buscará apoyarnos en una sociedad de agentes inteligentes, la cual será encargada de clasificar la información de los pacientes por gravedad dentro de una red hospitalaria, utilizando únicamente los signos vitales como parámetros de clasificación. Los agentes otorgarán calidad de servicios basados en los códigos de servicios diferenciados, esto para favorecer a aquellos pacientes cuya información sea considerada de mayor gravedad por la sociedad de agentes, considerando qué servicios diferenciados se implementó para clasificar tráfico. Esto con el propósito de poder evaluar a los agentes como herramienta clasificadora de pacientes, así como también evaluar el comportamiento dentro de la red al apartar y/o repartir recursos de una red hospitalaria.

1.1. Antecedentes

Red Triage, o Triage Network, es el nombre que se le da a una red que tiene el propósito de transportar información hospitalaria, clasificando y buscando siempre que la información de los pacientes que se encuentran con mayor gravedad sea priorizada sobre el resto.

Si bien este sería el propósito de una red triage a grandes rasgos, podemos observar que los trabajos realizados en torno a las redes triage pueden ir desde cómo se obtiene la información de los pacientes a través de sensores, pasando por la clasificación de la información, hasta el diseño y la caracterización de arquitectura o protocolos de redes. Entre los artículos que podemos encontrar en la literatura se tienen los siguientes:

- **Fuzzy Cognitive Maps for Decision Making in Triage of Non-Critical Elderly Patients:** En donde se discute el uso de mapas cognitivos difusos para realizar la clasificación de los pacientes en un sistema de triage buscando que la clasificación sea rápida y eficiente (Georgopoulos y Stylios, 2018).
- **CDS-Based Routing Scheme Considering Node Properties in Triage Network:** En este artículo se busca la solución a los problemas que se presentan en los enrutamientos que se llevan a cabo en las redes de clasificación, ya que estos suelen presentar mucho dinamismo en su topología al estar ingresando pacientes, para esto proponen un algoritmo llamado MR-CDS (Mobility and Removing aware CDS, por sus siglas en ingles) y evaluándolo mediante simulaciones computacionales (Toguchi y Shigeno, 2012).
- **Quantifying Bandwidth Gain of Triage QoS Protocol and Mobility Effects:** En este artículo se estudia el ancho de banda de una red triage implementando QoS de E2E, en donde las simulaciones mostraron como resultado mejoras en el ancho de banda de hasta el 22% utilizando un protocolo de Triage apoyado por QoS (Ping Liu, 2006).
- **A Energy Efficient Data Collection Method by Two Types Routes Selection in Triage Networks:** El artículo aborda los problemas energéticos presentados en los sensores durante la búsqueda de rutas en una red Triage, debido a la gran cantidad de cambios que existen en la topología a causa de la movilidad de los pacientes. Se proponen dos protocolos y se evalúan los resultados por medio de simulaciones computacionales (Okamoto *et al.*, 2013).
- **Implementation of a Data Collection Mechanism in Electronic Triage System using Wireless Sensor Devices:** En este artículo se evalúa el rendimiento de la implementación de un sensor inalámbrico Zigbee llamado SunSPOT, el cual está basado en IEEE 802.15.4. La red se crea por medio de sensores de signos vitales y SunSPOT. En el artículo se utilizaron 100 dispositivos y se determinó que el ajuste del intervalo del "hello packet", según el escenario, es de gran importancia para el trabajo futuro (Bajracharya *et al.*, 2011).

1.2. Justificación

El aumento de los usuarios y de los paquetes que se transportan a través de Internet hace cada vez más difícil su transmisión de forma segura; debido a las diferentes aplicaciones que viajan en la red es necesario que la información que se considere de mayor prioridad, como lo es la información utilizada por el sector salud sea tratada de forma especial.

1.3. Plantamiento del problema

En la actualidad se puede observar cómo la cantidad de usuarios que se conectan a Internet, y la cantidad de los paquetes que se transmite a través de éste ha ido creciendo. La información transmitida es de una diversa cantidad de ámbitos y aplicaciones los cuales pueden ir desde muchos tipos de ocio, hasta actividades relacionadas al sector salud o empresarial. Debido a esto es necesario poder discernir la información que viaja a través de Internet, y otorgar calidad de servicio conforme la aplicación.

En el caso de la presente tesis se enfocará en el entorno salud, en donde es importante poder brindar servicios de calidad a las redes de telecomunicaciones, previniendo un diagnóstico erróneo.

Es necesario priorizar la rapidez y calidad de servicio para la transmisión de información de aquellos pacientes que se encuentran con mayor gravedad, por lo cual es importante conocer el estado de un paciente en concreto con respecto a otro basado en el estado médico en el que se encuentran.

1.4. Hipótesis

Un sistema basado en agentes inteligentes podría ser capaz de realizar la clasificación de pacientes los cuales se encuentren conectados a una red hospitalaria, de una forma rápida y correcta. La clasificación la llevará a cabo el agente basándose en la gravedad de los signos vitales del paciente y en los tipos de servicio que puede proporcionar el protocolo de gestión de red: servicios diferenciados.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar y evaluar un sistema basado en agentes inteligentes el cual sea capaz de clasificar pacientes los cuales se encuentra dentro de una red hospitalaria, utilizando como parámetros de clasificación los signos vitales del paciente; otorgándoles a estos un tipo de servicio de los disponibles en servicios diferenciados.

1.5.2. Objetivos específicos

- Programar un protocolo de negociación basado en agentes inteligentes, el cual sea capaz de clasificar a los pacientes basado en la severidad de la condición de los pacientes considerando un sistema Triage hospitalario.
- Identificar las variables fisiológicas que transmitirán los pacientes así como determinar la tasa de transmisión requerida por cada usuario.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Triage Hospitalario

En 1867 el barón Dominique Jean Larrey, jefe médico de las tropas francesas, recibe del Emperador Napoleón Bonaparte una orden simple pero controvertida:

"Los soldados que no tengan capacidad de recuperarse deben dejarse en el frente de batalla, sólo deben llevarse al hospital aquellos que puedan restablecerse"(Olvera-Arreola y Cadena-Estrada, 2011).

Esta orden es la que abrió las puertas al concepto de triage hospitalario, el cual tiene como objetivo el no desperdiciar los recursos con los que se cuentan para poder brindar atención médica a pacientes que puedan sobrevivir. Por esta razón es que se termina descartando brindar atención a aquellos pacientes los cuales se encuentran en un estado en el cual su vida ya no puede ser salvada.

Si bien es importante apartar a los pacientes que pueden ser salvados de los cuales no, igualmente lo es clasificar a aquellos pacientes que pueden ser salvados, debido a que unos necesitarán una atención más pronta para que sus vidas puedan ser salvadas. Debido a esto se crea un código de clasificación de colores como referencia internacional para clasificar a los pacientes que se encuentran en un hospital o en una zona de desastre. A continuación, la Figura 1 muestra el sistema de referencia por colores utilizado internacionalmente (Fernández Illescas, 2006) para la clasificación de pacientes:

Prioridad	Definición
1	Pacientes críticos, potencialmente recuperables, que requieren atención médica inmediata
2	Pacientes graves que requieren atención médica mediata
3	Pacientes con lesiones leves, que pueden postergarse su atención médica sin poner en riesgo su integridad física
0	Pacientes con lesiones mortales por necesidad o fallecidos en el lugar

Figura 1. Tabla de Triage Internacional.

- Rojo: Los pacientes clasificados con el color rojo, o bien de prioridad uno, son aquellos pacientes que se encuentran en estado crítico, pero que potencialmente son recuperables, por lo cual requieren una atención médica inmediata.
- Amarillo: Los pacientes clasificados con el color amarillo, o de prioridad dos, son aquellos pacientes que se encuentran graves, por lo cual requieren atención médica mediata.
- Verde: Los pacientes clasificados de color verde, o de prioridad tres, son aquellos pacientes que se presentan con lesiones leves, los cuales pueden postergar su atención médica sin poner en riesgo la salud ni integridad física del paciente.
- Negro: Los pacientes clasificados en color negro, o prioridad cero, son aquellos pacientes que se encuentran fallecidos o bien aquellos pacientes que presentan lesiones mortales a los cuales no se podrá mantener con vida a pesar de aplicar algún procedimiento médico.

Nº 615142 Nº 615142 © 2002 AGM, Inc. All Rights Reserved

EVACU-AID™ TRIAGE TAG **CONTAMINATION:**

Respiration Yes No
 Perfusion +2 SEC -2 SEC
 Mental Status Can do Can't do
 Mark = ORIENTED DISORIENTED UNCONSCIOUS

Code type below:

Chemical Biological
 Radioactive

Time	Pulse	B/P	Respiration

Time	Drug Solution	Dosage

Major Injuries: _____
 Destination: _____

Notes: _____

Allergies: _____
 Prescriptive Medication: _____

Personal Information
 Name: _____
 Address: _____
 City: _____ St: _____ Zip: _____ Phone: _____
 Male Female Age: _____ Weight: _____

DECEASED
IMMEDIATE
DELAYED
MINOR

DECEASED
IMMEDIATE
DELAYED
MINOR

Figura 2. Ejemplo de una tarjeta de Triage Hospitalario (Fernández Illescas, 2006).

Si bien, la clasificación de triage internacional no presenta tiempos específicos de atención para cada clasificación, algunos hospitales incluyen tiempos de espera mínima y máxima para la atención de sus pacientes (Loria *et al.*, 2016). Además de que los triages pueden variar en la forma de clasificar a los pacientes, a pesar de que todos los sistemas de triage se basan en una primera instancia en el sistema de triage internacional.

Para llevar a cabo esta clasificación se toman en cuenta tres factores (Pérez *et al.*, 2010), los cuales suelen revisarse en orden específico durante la clasificación ya que en la secuencia de cada uno de ellos se pueden encontrar circunstancias que nos lleven a la periodización de la atención del paciente. Estos tres factores, en orden, son:

- La gravedad del paciente: El cual consiste en verificar que externamente el paciente se encuentre bien de salud, es decir no presente fracturas o heridas abier-

tas, derrames o se esté desangrando.

- La sintomatología: Una vez que se verificó que el paciente no tiene ningún problema externo como los mencionados anteriormente, se procede a verificar qué síntomas presentan. Por lo general estos síntomas consideran, principalmente, el estado en el cual se encuentran los signos vitales, en éstos es donde el personal médico puede observar, por ejemplo, de qué forma está latiendo el corazón del paciente, o de qué forma el paciente está respirando, para así priorizar la atención del paciente en caso de que se necesite hacer que respire o que su corazón lata.
- Historial médico: Una vez que el paciente se encuentra estable de heridas externas y que los síntomas son controlados, se toma en consideración el historial médico del paciente. Con esto se pretende tener conocimiento de qué complicaciones podrían presentarse en el paciente debido a enfermedades que el paciente tenga o haya tenido en meses anteriores, además de conocer si puede ser alérgico a algún tratamiento que se le pueda suministrar después de la estabilización del paciente.

2.2. Redes Inteligentes (SmartGrids)

Hoy día las redes de telecomunicaciones no suelen tener únicamente conectado a ellas computadoras, sino que se han logrado conectar una gran variedad de dispositivos a ellas, entre estas una vasta cantidad de dispositivos inalámbricos, los cuales suelen estar dedicados a obtener información para procesarla y posteriormente utilizar en alguna actividad en particular de nuestra vida personal o laboral.

Debido a la gran utilización de estos dispositivos inalámbricos nos hemos topado con nuevas problemáticas en las redes de comunicaciones que incluyen estos dispositivos, principalmente los problemas energéticos de estos dispositivos inalámbricos los cuales buscan ser solucionados por medio de un control inteligente. Esto da nacimiento al concepto de Red Inteligente. En la Figura 3 podemos ver el modelo conceptual de una Red Inteligente (Ahmad *et al.*, 2016):

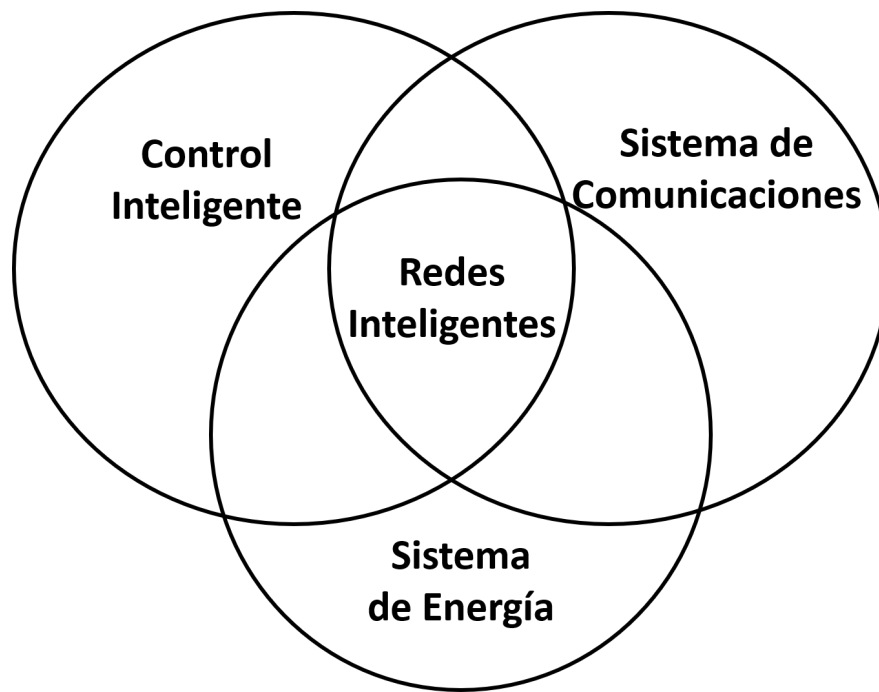


Figura 3. Modelo conceptual de una Red Inteligente

- Sistema de comunicaciones: Esta es una red de telecomunicaciones con infraestructura habitual.
- Sistema de energía: Debido a la gran cantidad de actividades que los usuarios desean realizar en cualquier lugar con ayuda de dispositivos de telecomunicaciones inalámbricos, los cuales suelen funcionar con baterías, ha provocado que se profundice en el estudio del gasto energético de estos sistemas inalámbricos, así como técnicas para aumentar la durabilidad de las baterías implementando soluciones a nivel físico así como de control inteligente.
- Control inteligente: Si bien los sistemas de telecomunicaciones cuentan con cierto nivel de control los cuales se encuentran en los datagramas que se transmiten a través de las mismas redes, también se han buscado implementar control computacional a las redes de telecomunicaciones, esto con el fin de lograr que las redes lleguen a realizar objetivos más complejos de control interno sin la necesidad de seguir modificando los datagramas de los protocolos utilizados.

2.3. Signos Vitales

Los signos vitales son aquellos indicadores que nos brindan información sobre el estado de salud del paciente dependiendo de los rangos en el que se encuentre cada uno de ellos. Normalmente un enfermero es el encargado de tomar los signos vitales para lo cual siguen un procedimiento habitual para medir cada uno de ellos, cada signo vital nos brinda información específica acerca de lo que está ocurriendo a grandes rasgos dentro del cuerpo del paciente, estos signos vitales son;

- **Frecuencia Cardíaca:** La frecuencia cardíaca es el número de latidos que realiza el corazón del paciente en un minuto. Un latido es un ciclo completo del llenado y vaciado del corazón, los latidos corresponden a la sístole (bombeo con el corazón hacia el resto del cuerpo). Los valores normales de la frecuencia cardíaca oscilan entre las 60 y 80 pulsaciones por minuto.
- **Frecuencia Respiratoria:** La frecuencia respiratoria es el número de respiraciones completas (inhalar y exhalar) que realiza el paciente durante un minuto. Las respiraciones normales oscilan entre 12 y 20 respiraciones por minuto para adultos y entre 20 y 30 respiraciones por minutos para niños.
- **Presión Arterial:** La presión arterial es la fuerza que ejerce la sangre sobre la arteria en un ciclo cardiaco. Para medir este signo vital se consideran dos parámetros, el primero es la presión arterial máxima o sistólica, que corresponde a la contracción del ventrículo izquierdo del corazón para bombear sangre, y la presión arterial mínima o diastólica a la dilatación de la arteria. La presión arterial se mide en milímetros de mercurio (mmHg). Entre 120/80 mmHg se tiene una presión arterial normal, entre 140/90 se tiene una presión arterial alta.
- **Saturación de Oxígeno:** La saturación de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se encuentra en la sangre. Cuando el corazón bombea sangre, el oxígeno se une a los glóbulos rojos y se reparten por todo el cuerpo, unos niveles óptimos de oxígeno en la sangre garantizan que las células del cuerpo reciban suficiente cantidad de oxígeno para llevar a cabo sus funciones. Se consideran saludables tener una saturación de oxígeno entre 95 y 100%, por el contrario, tener una saturación de oxígeno por debajo del 90 % produce una hipoxemia, es decir, nivel bajo de oxígeno en la sangre.

- **Temperatura:** La temperatura corporal es el resultado calórico de los procesos metabólicos del cuerpo, está controlada por el hipotálamo, el cual es el encargado de que el cuerpo genere o pierda calor según sus necesidades. Esta se puede medir en grados Fahrenheit o Celsius y sus valores oscilan entre 37 °C o 98.6 °F para considerarse una temperatura normal y 38 °C o 100.4 °F para considerar que tiene fiebre a causa de una infección o enfermedad.

2.3.1. Tasa de transmisión de los signos vitales

En la sección anterior se dieron a conocer los signos vitales y los rangos numéricos en los que cada signo vital es saludable, pero además de conocer esto, también es importante tener en consideración la forma que tiene la señal. Esto debido a que el valor numérico que se muestra es el resultado de un promedio en un rango determinado de tiempo, por lo cual además de conocer la cantidad de repeticiones que el signo vital se repite en ese periodo de tiempo, o que valor máximo alcanza, también nos interesa conocer en qué forma se llegan a esos números. Esta información la proporciona la forma de la señal. La Figura 4 nos muestra la pantalla principal de un equipo de monitoreo para pacientes en donde podemos observar los valores numéricos de cada signo vital, así como su forma de señal relacionada.

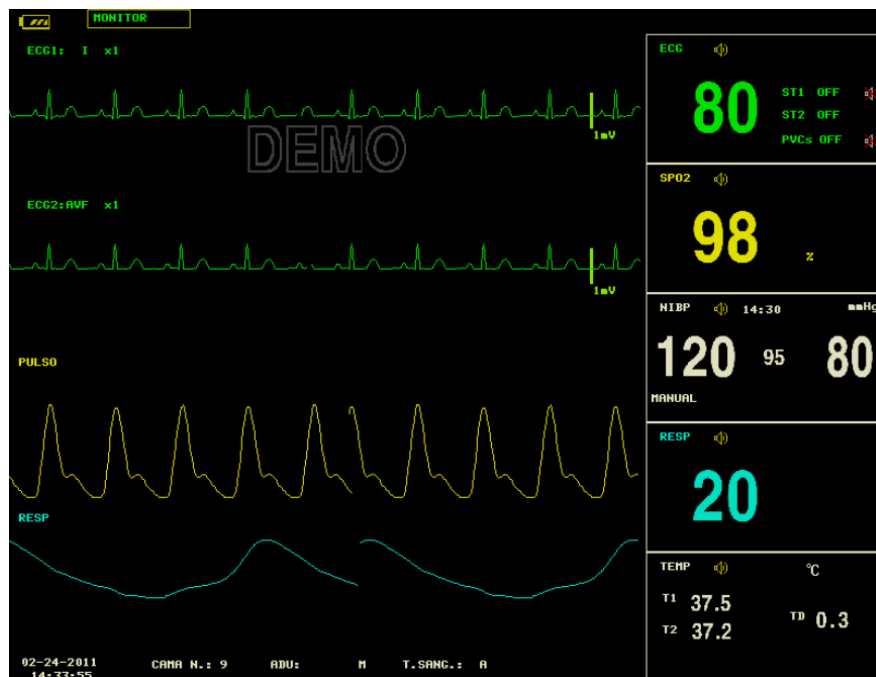


Figura 4. Pantalla de monitor para pacientes CMS8000.

Debido a que de estos dos datos (forma de onda de la señal, y su valor) son en los que médicos se apoyan para diagnosticar la sintomatología del paciente para su clasificación. Es importante conocer la tasa de transmisión que necesita la forma de la señal para ser transmitida. Para esto es necesario digitalizar la señal. En Tabla 1 se estima la tasa de datos que genera cada signo vital:

Tabla 1. Características de algunas variables fisiológicas (Reyes Cruz, 2017)

Señal biomédica	Muestreo y Resolución	Tasa de datos
E.C.G.	Muestreo: 200Hz (x3 Ch.) 12-16 bits/muestra	7,200-9600 bps
Respiración	Muestreo: 50Hz 6 bits/muestra	300 bps
Presión sanguínea	Muestreo 120Hz 16 bits/muestra	1920 bps
Oximetría	Muestreo: 60Hz (x2 Ch.) 16 bits/muestra	1920 bps
Temperatura	Muestreo: 0.2Hz 12 bits/muestra	2.4 bps

2.4. Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things)

A medida que los usuarios que se conectan a la red de Internet ha ido incrementando, también lo han hecho la cantidad de dispositivos con los que estos usuarios acceden a Internet, lo cual produce que en la red existan una gran cantidad de nodos. Inicialmente este fenómeno se pronosticó y se decía que llegaría el momento en donde existiesen más dispositivos dentro de la red, que usuarios en el planeta. Esto pensando que por cada habitante en el mundo hay dos, o más dispositivos conectados a la red. Si bien, existen una gran cantidad de usuarios los cuales no cuentan con servicios de Internet hoy en día, debido a que los usuarios suelen encontrarse en las grandes ciudades cuentan con más de dos dispositivos conectados a la red, entre los cuales podemos encontrar computadoras de escritorio, laptops, celulares, iPods, tablets, etc.

Todos estos dispositivos, sumados a otros, los cuales una persona puede ser capaz de usar dentro de la red de Internet para cualquier utilización que este desee darle, deja en evidencia que estamos introduciéndonos cada vez más a este paradigma de las telecomunicaciones llamado el Internet de las cosas.

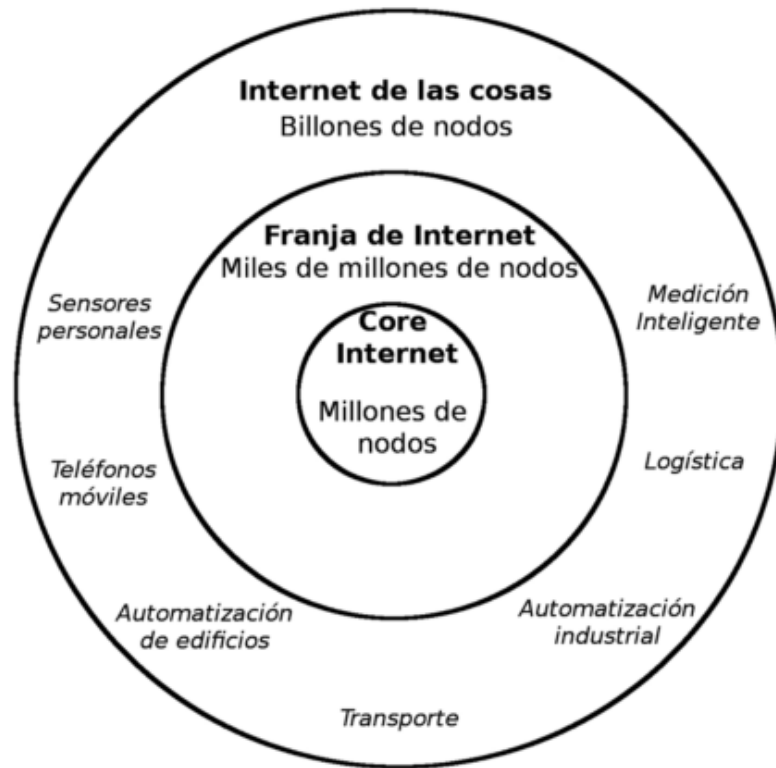


Figura 5. Visión del Internet de las cosas (IoT) (Harz. et al., 2007)

La época del IoT prevé que las actividades que podamos llevar a cabo con la ayuda del Internet irán en aumento, por lo cual será necesario tomar en consideración que la cantidad de dispositivos en una red de Internet aumentarán de manera considerable. Para ayudarnos a visualizar como será la densidad de usuarios en el IoT podemos observar la Figura 5. En ésta se puede observar que, en el centro, el cual representa un área pequeña de espacio, tendremos conectados millones de dispositivos a la red, y que estos nodos irán a los miles de millones de dispositivos conectados a la red según aumentemos el espacio en el que nos encontremos.

Así irán aumentando progresivamente la cantidad de dispositivos dentro de la red de Internet hasta llegar al punto del Internet de las Cosas en donde tendremos billones de dispositivos conectados a la red con una gran cantidad de aplicaciones posibles. Estas irán desde telefonía móvil, utilización de sensores personales para la solución a problemas específicos hasta la automatización de edificios, transporte e industria, etc. Por lo cual, el Internet de las cosas nos deja las puertas abiertas a un sinnúmero de aplicaciones y problemáticas que resolver desde el punto de vista de las telecomunicaciones

para poder llevar a cabo todo lo que este paradigma conlleva.

2.5. Redes de Sensores

Como ya mencionamos en IoT, la intención de esto es que las personas puedan realizar más actividades de su vida cotidiana apoyándose de las tecnologías de telecomunicaciones, principalmente de Internet. Para poder lograr una gran cantidad de las aplicaciones que visualizamos hoy en día, por ejemplo, aplicaciones para la automatización de casas o industrias, el manejo de un vehículo autónomo, realizar mediciones de forma inteligente es necesario nos apoyemos de diversas tecnologías, entre las cuales se incluyen a las redes de sensores.

Las redes de sensores son, como dice su nombre, redes que se componen de sensores inalámbricos, estos sensores suelen tener las características de ser sensores que se diseñan específicamente para la aplicación que se les vaya a dar y se busca que sean de bajo consumo energético, esto para que el sensor pueda trabajar de la mejor manera que se pueda sin la necesidad de estar remplazando de baterías o de sensor constantemente.

En las redes de sensores podemos encontrar dos tipos de redes, las redes de sensores inalámbricos de área personal, los cuales son sensores que no suelen transmitir a una distancia mayor de los 10 metros de distancia, y las redes de sensores inalámbricos de área corporal, las cuales suelen tener una distancia de transmisión no mayor a la de 1 metro.

Las topologías que pueden utilizarse son la estrella, el árbol y la malla las cuales se muestran en la Figura 6. Para esto las redes de sensores suelen contar con dos dispositivos, un dispositivo coordinador y un dispositivo esclavo. El dispositivo coordinador es aquel que lleva a cabo la coordinación de la red. Toda la información e intercambio de mensajes que se realizan en la red de sensores son escuchadas por el dispositivo coordinador. Este autoriza a los dispositivos esclavos para que puedan realizar transmisiones entre ellos.

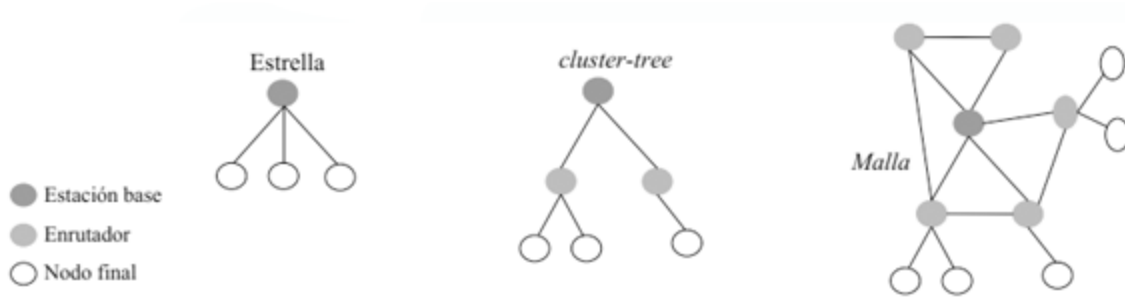


Figura 6. Topología utilizadas en redes de sensores (Fernandez Barcell, Manuel, 2008).

2.5.1. Estándar 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)

Una de las tecnologías que gana mucha relevancia en la aplicación de las redes de sensores es la tecnología conocida como 6LoWPAN. Esta tecnología permite el transporte de paquetes IPv6, principalmente sobre la capa física IEEE 802.15.4, éste es un protocolo de capa física la cual nos permite la comunicación de forma inalámbrica. El protocolo 6LoWPAN cuenta con un protocolo de enrutamiento propio llamado RPL (IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks, en inglés) el cual es un protocolo que está diseñado para ser de bajo consumo energético (Carrillo y California, 2017).

IPv6 es la tecnología que sigue posterior a IPv4, y la diferencia de esta con su antecesor es la de poder admitir muchos más dispositivos, lo cual es necesario para IoT. En la Figura 7 se realiza la comparación de la pila del protocolo de IP con el protocolo de 6LoWPAN, en esta se puede observar que el protocolo 6LoWPAN se transmite sobre la capa física y de enlace de datos de IEEE802.15.4, lo cual le permite la transmisión inalámbrica. Entre las capas de red y la capa de enlace de datos de 6LoWPAN existe una capa intermedia llamada Lo-WPAN, la cual tiene como función adaptar los datagramas según los requerimientos de las capas física y de enlace de datos para lograr ese bajo consumo de energía. Por último, se puede observar en la capa de red que ambos utilizan el protocolo de IP, esto significa que estas dos tecnologías son compatibles y no se necesitara algún proxy o gateway para poder enrutar la información al interactuar entre los protocolos.

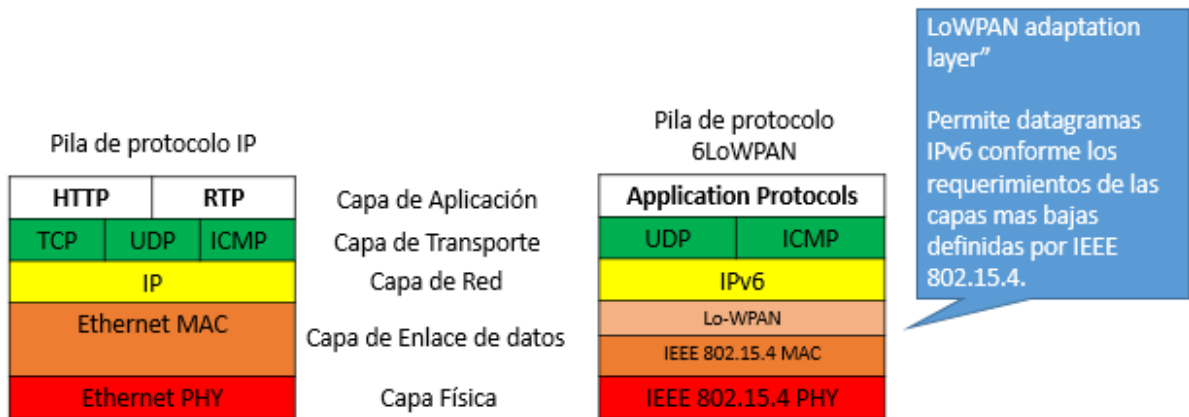


Figura 7. Comparación entre pilas de protocolos IP y 6LoWPAN (Fernandez Barcell, Manuel, 2008).

Además de los protocolos que ofrecen las capas físicas, 6LoWPAN cuenta con un sistema de compresión de su datagrama, esto con la intención de poder hacer más grande el Payload que transporta un paquete de 6LoWPAN. En la Figura 8 podemos observar cómo es que está constituido el datagrama de 6LoWPAN montado sobre la capa física IEEE 802.15.4 basándose en la pila de protocolos de este mismo, y los diferentes tipos de compresión que este puede tener.

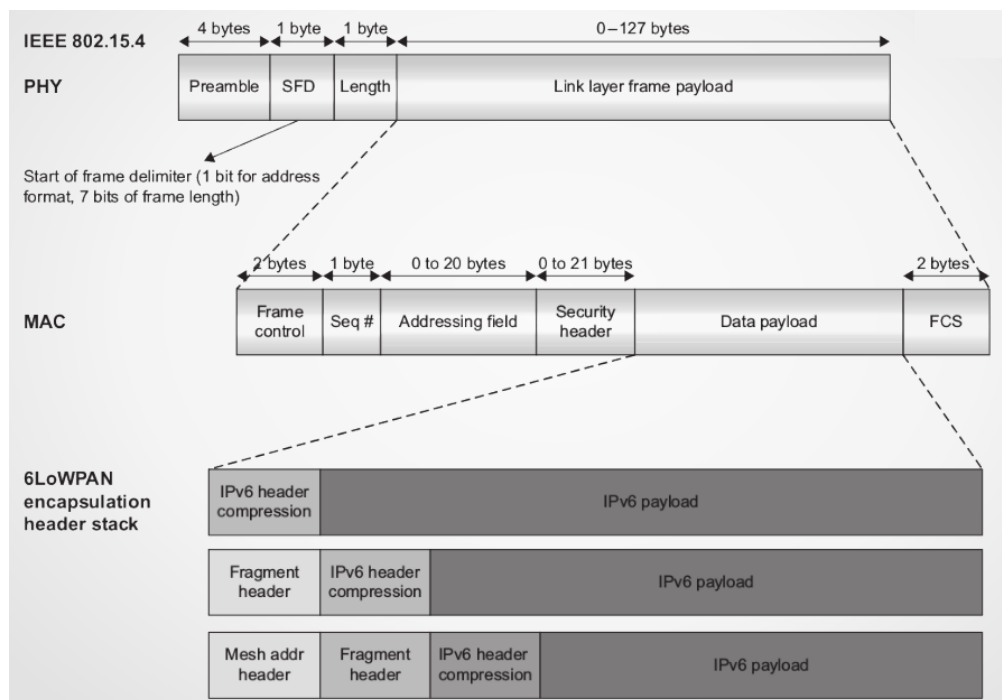


Figura 8. Armado del datagrama de 6LoWPAN sobre IEEE802.15.4 (Niels Aakvaag, 2006).

6LoWPAN ha ganado gran relevancia en las redes de sensores, esto principalmente

por la comodidad que presenta la compatibilidad de éste con el protocolo IP en la capa de red, además de ser una tecnología abierta y gratuita ha sido la más conocida, probada y usada alrededor del mundo.

2.6. Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service)

El aumento de los usuarios y de la cantidad de información que se transmite a través de la red de Internet puede causar que la información, sufra cambios en ciertos aspectos que tienen que ver con la correcta interpretación de la información en el nodo receptor, lograr hacer que estos aspectos o bien parámetros lleguen con valores los cuales nos puedan asegurar una correcta interpretación de la información transmitida en el receptor, es lo que conocemos como calidad de servicio.

La deficiencia en el funcionamiento de estos parámetros suele ser generados principalmente por la congestión que se presenta en una red. Está generado por el mismo aumento de usuarios y la cantidad de información que transmiten, por lo tanto es necesario recordar que la congestión en una red está directamente relacionada con algunos aspectos que nos sirven para medir la eficiencia de la red, los cuales al encontrarse en la red con alta congestión no estén cumpliendo con sus valores recomendados para asegurar una correcta interpretación de la información en el receptor, por lo cual se tendría una calidad de servicio deficiente.

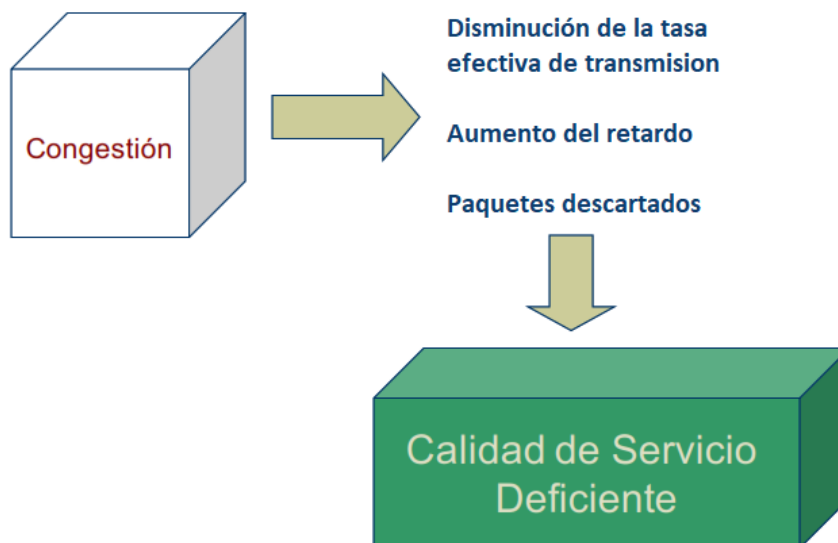


Figura 9. Relación entre congestión, los parámetros de calidad de servicio y la Calidad de servicio (Romero, 1998).

Como ya mencionamos, se tienen algunos aspectos en las redes de telecomunicaciones, los cuales nos permiten evaluar la eficiencia de transmisión de éstas. Estos aspectos, o parámetros suelen recibir el nombre de Parámetros de Calidad de Servicio. Es importante mantener estos parámetros dentro de sus valores recomendados para así poder asegurar que la información llegue de una forma íntegra y correcta. Estos parámetros de calidad de servicio son cuatro, los cuales mencionaremos y explicaremos a continuación:

- Retardo (Delay): Lo cual es el parámetro que indica cuanto tiempo tarda en llegar un paquete de un destino a otro.
- La variación del retardo (Jitter): Por lo general, la información que se transmite de un nodo a otro no cabe en un único paquete, por lo cual es necesario dividir la información para poder transmitirla. La variación del retardo entre estos paquetes, los que se reensamblan para poder interpretar la información en el nodo receptor, puede generar problemas debido a que el sistema debe ensamblar la información que vaya llegando a éste en transmisiones de stream, lo cual suele tener un impacto sobre la fluidez del despliegue de información.
- Ancho de banda: El ancho de banda disponible es una característica la cual nos permite conocer el rango de flujo que podemos tener durante una transmisión, la cual suele estar ligada a las tasas de transmisión y las cosas, por lo cual, gracias a este parámetro, podemos visualizar otros problemas que se pueden presentar en la red como lo son el retardo y la variación del retardo.
- Pérdida de paquetes: Una de las formas de controlar la congestión la red, para que ésta no se caiga totalmente, es descartar algunos paquetes para bajar las colas que se crean en la red. Por lo general un paquete tarda un cierto tiempo máximo en llegar a su destino, de no ser así, es descartado. Esto representa un problema debido a que la información puede llegar incompleta al receptor y decodificarse incorrectamente o no abrirse.

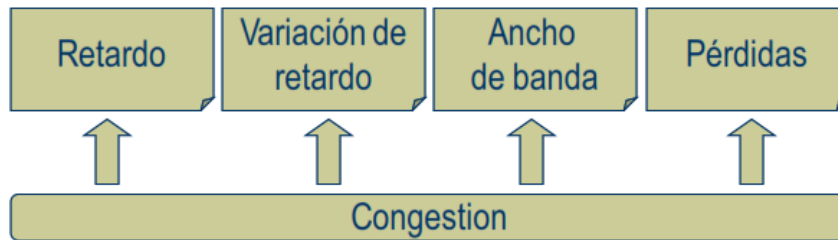


Figura 10. Parámetros de calidad de servicio (QoS) (Romero, 1998).

Para ciertas aplicaciones, es importante mantener estos parámetros bien controlados. Por ejemplo, en una llamada telefónica un valor alto de retardo podría generar que las personas hablen encimados, o en la transmisión de una imagen puede ser que la pérdida de paquetes sea la que produzca errores en la imagen las cuales, dependiendo de su uso pueden ser permisibles o no. Un ejemplo en una situación donde no sería permisible es en la transmisión de algunas radiografías las cuales se utilicen para realizar el diagnostico de un paciente. De esta forma podemos darnos cuenta como algún parámetro de calidad de servicio tiene una mayor relevancia dependiendo de la aplicación que se le dará a la información. Por lo cual es importante el buscar e implementar técnicas o protocolos los cuales nos ayuden a inhibir o prevenir que estas deficiencias se presenten en los parámetros de calidad de servicio durante nuestras transmisiones.

2.6.1. Servicios Diferenciados (DiffServ, Differentiated Services)

El congestionamiento de las redes puede traer problemas en la calidad de servicio de una transmisión en Internet, por lo cual es importante aplicar diferentes técnicas o protocolos los cuales permitan mejorar la calidad de servicio en una red.

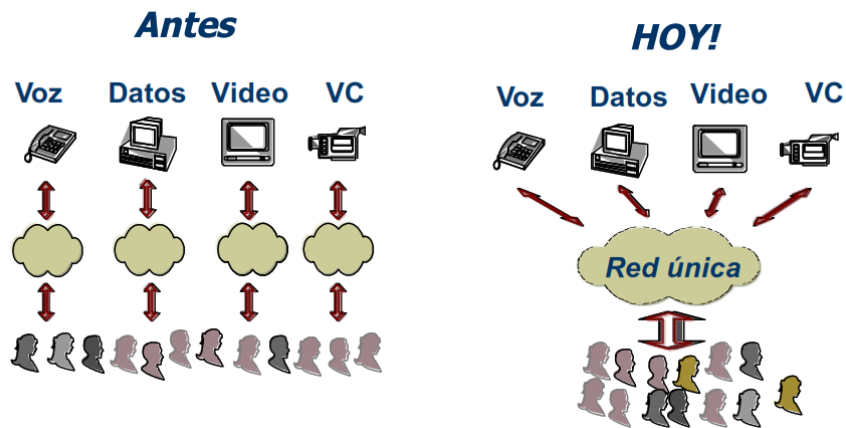


Figura 11. Antes y después de las red de internet (Romero, 1998).

Con un sistema de una red única, donde se comparten todos los servicios para todas las aplicaciones, cabe preguntarnos ¿no existirán algunas aplicaciones que sean más importantes que otras? Y de ser así, ¿qué nos hace o ayuda a distinguirlas de las demás? Por esta razón surge la idea de clasificar la información, para darle una priorización mayor al ser transmitida por Internet. De esta manera se puede mejorar la calidad de algún servicio que viaja a través de Internet, e ir priorizando ancho de banda para las transmisiones las cuales consideremos de mayor relevancia. La Figura 12 nos muestra un ejemplo de clasificación, donde podemos ver como los servicios de clase Telnet tienen prioridad alta, seguidos por los servicios de HTTP. Default se encuentran clasificado como información de prioridad media, mientras que los servicios de SMTP se encuentra clasificado como información de baja prioridad. Por lo cual podemos observar en la salida, que el contenido que se clasificó como alta prioridad se transmitió primero, y posteriormente la información que se encontraban clasificados como prioridad media.

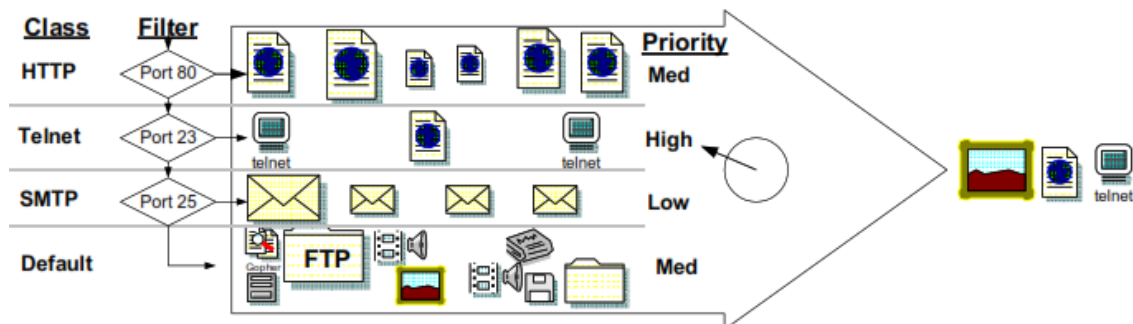


Figura 12. Ejemplo del funcionamiento de Servicios Diferenciados (Romero, 1998).

Para realizar o lograr esta clasificación se forman tres colas, en donde cada cola tiene un turno y una probabilidad de descarte de los paquetes que entran en ella. También se cuenta con una cola de muy alta prioridad, la cual es llamada Expedite Forward y con la cola de mejor esfuerzo. Este tipo de colas son las que nos entrega la calidad de servicio dependiendo de que la probabilidad de la cola que utilizamos para mandar nuestra información que deseamos que llegue con una mejor calidad es menor.

Para lograr esta clasificación, a la información se le coloca un código. Dentro de un router que cuente con la implementación más utilizada de servicios diferenciados, existen tres colas de tipo AF (Assured Forwarding), estas colas tienen cada una, una priorización y una probabilidad de descarte de los paquetes que entran en ellas, de los cuales dependerá la calidad de servicio que sea brindada a la información. También se cuenta con una cola de muy alta prioridad llamada EF (Expedite Forward), por la cual se transmite la información que requiere mucha rapidez y calidad. Por último, se cuenta con la cola tipo BE (Best Effort) en caso de que la información que entre al router no esté clasificada de ninguna forma, entonces esta información se transmitirá a través de Internet de manera habitual.



Figura 13. Diagrama de implementación para Servicios Diferenciados.

2.6.2. Implementación de Servicios Diferenciados

Para la implementación del protocolo de Servicios diferenciados, es necesario únicamente un byte del datagrama del protocolo de los protocolos IP. Este byte es el espacio de ToS (Type of Service) en los paquetes de IPv4, y que en el protocolo de IPv6 se cuenta con un campo de clasificación de tráfico llamado Traffic Class. En la Figura 14, se nos muestra cómo es que se constituye este byte. Los últimos tres campos del byte (DS5, DS4 y DS3) son los bits que se utilizan para distinguir el tipo de servicio que se le brindara al paquete que está siendo transmitido, mientras que DS2 y DS1 son bits los cuales especifican la probabilidad de descarte, mientras que DS0 siempre es cero. Los últimos dos bits ECN (Explicit congestion notification), son dos bits cuyo trabajo es detectar cuando la red entra en congestión.

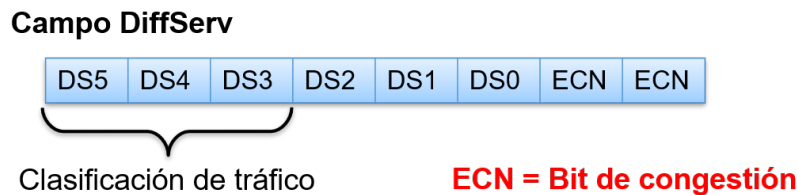


Figura 14. Byte de implementación para Servicios Diferenciados (RFC3168, visitado: 3 dic 2019).

Con los bits proporcionados por la composición del byte, el estándar de servicios diferenciados nos marca que se pueden clasificar los paquetes cuatro clases principales, donde cada clase tiene la posibilidad de contar con tres tipos de probabilidad de descarte de los paquetes, lo cual nos da un total de doce códigos para utilizar los servicios AF de DiffServ. La Tabla 2 nos muestra estos códigos:

Tabla 2. Tabla de Códigos para para las clases y probabilidades mas implementadas de Servicios Diferenciados (Cisco, visitado: 4 dic 2019).

Decenso	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
<i>Bajo</i>	001010 AF11 DSCP 10	010010 AF21 DSCP 18	011010 AF31 DSCP 26	100010 AF41 DSCP 34
<i>Medio</i>	001100 AF12 DSCP 12	010100 AF22 DSCP 20	011100 AF32 DSCP 28	100100 AF42 DSCP 26
<i>Alto</i>	001110 AF13 DSCP 14	010110 AF23 DSCP 22	011110 AF33 DSCP 30	100110 AF43 DSCP 38

Los bits ECN sirven al protocolo para poder identificar cuando es que la red se encuentra en congestión, es decir, que estos dos bits son responsables de activar esté servicio en la red. En la Tabla 3 se muestran los códigos e interpretación de cada uno, para los bits ECN:

Tabla 3. Códigos para bits de ECN (RFC3168, visitado: 3 dic 2019).

Bits ECN (código)	Sentido
00	Sin ETC: El paquete está marcado como no compatible con ECN
01	ECT (1): Los puntos finales del protocolo de transporte son compatibles con ECN
10	ECT (0): Los puntos finales del protocolo de transporte son compatibles con ECN
11	CE - Congestión experimentada

2.7. Agentes Inteligentes

2.7.1. Agente Inteligente

Un Agente Inteligente es un sistema informático, al cual se le debe delegar una tarea. Esta tarea debe ser capaz de realizarla el agente de forma robusta y autónoma, sin intervención alguna, buscando siempre seguir con ciertas normativas o parámetros para decidir qué movimientos puede hacer o no, durante la realización de la tarea que se le delegó.

El agente logra realizar estas tareas gracias a que es capaz de percibir su entorno. Por lo general, las tareas que se le delegan a los Agentes Inteligentes son modeladas como alguna clase de entorno que comienza en algún estado, y busca terminar en otro. La Figura 15 muestra cómo es que trabaja un Agente Inteligente: Básicamente, el agente se encarga de percibir el entorno para saber en qué estado se encuentra éste, y posteriormente, dependiendo del tipo de agente, realiza alguna o varias acciones para llevar el entorno al estado deseado, por aquellas personas que le delegaron la tarea al agente.

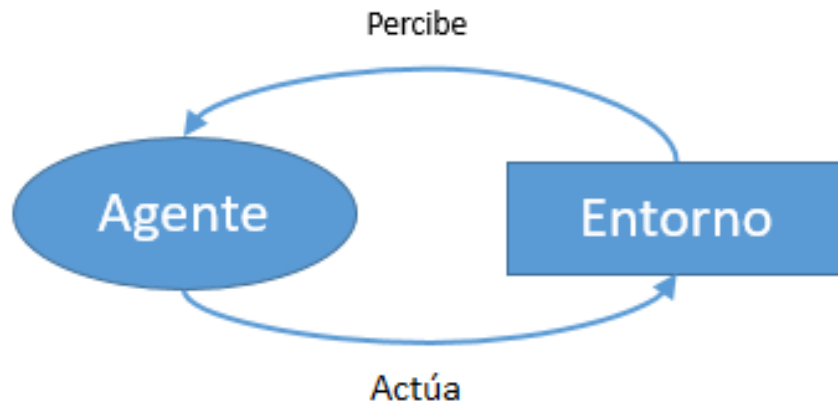


Figura 15. Definición de un Agente Inteligente (Botti Navarro Vicente Juan, visitado: 2 dic 2019).

Existen varias características con las cuales pueden contar los Agentes Inteligentes, pero las características más básicas de un agente son las siguientes:

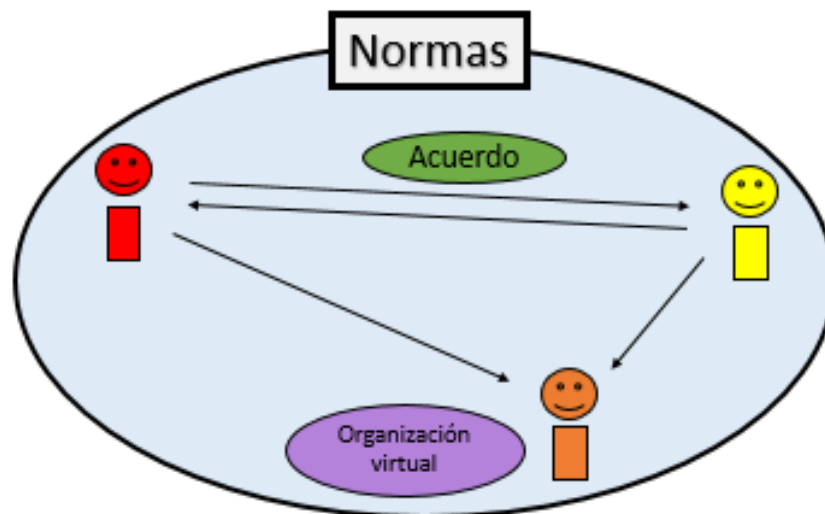
- El agente debe tener autonomía propia: El agente debe ser capaz de realizar la tarea que se le delegó, sin la necesidad de intervención alguna.
- El agente debe ser reactivo: Si el agente detecta algún tipo de cambio en el entorno, que no lleve el entorno al estado deseado, el agente debe ser capaz de reaccionar y llevar el entorno al estado deseado.
- El agente puede o no ser proactivo: La proactividad en un agente son las acciones que el agente puede realizar para evitar que el entorno sea modificado del estado deseado.
- Y el agente puede o no ser social: Puede interactuar con otros agentes, para en conjunto, cumplir con una tarea en común.

2.7.2. Sistemas multiagente

Un sistema multi-agente es aquel que está constituido por un conjunto de agentes, los cuales son capaces de interactuar entre sí, para poder llevar a cabo una tarea delegada o la modificación de un mismo entorno. La interacción entre los agentes que comparten una misma tarea suele ser regulada mediante normas, las cuales conocen

todos los miembros de la sociedad. Este tipo de sistemas se utiliza cuando la tarea a realizar es muy grande para que la resuelva un solo agente, o bien, cuando estos deben actuar en representación de alguna persona u organización. Cuando un agente actúa en representación de una persona u organización es conocido como Organización Virtual. De esta forma, una organización virtual, interactuar con otros agentes o entidades virtuales, los cuales también están en representación del interés de otra persona, u organización. Los agentes intercambian mensajes hasta llegar a un acuerdo entre ellos a las acciones que tomarán para cumplir con sus objetivos, ya sea los objetivos sean de interés social o individuales.

En la Figura 16 se puede observar a tres agentes, los cuales sirven como representación, cada una, de una organización virtual. Estos están sujetos a una serie de normas, y se comunican entre sí para llegar a acuerdos, buscando realizar movimientos los cuales convengan más a los intereses de aquellos que les han delegado las tareas.



“Tal como lo hacen las personas”

Figura 16. Ejemplificación de un sistema multiagente CITAR. (Botti Navarro Vicente Juan, visitado: 2 dic 2019)

Para que los agentes puedan interactuar con éxito, deben:

- **Negociación:** El agente debe ser capaz de negociar con otros agentes, mostrando los intereses que este tiene a realizar ciertos movimientos.

- Regulación: El agente debe ser capaz de conocer, y estar sujeto a las normas que gobierne su interacción con otros agentes.
- Coordinación y cooperación: Los agentes deben ser capaces de coordinar sus mensajes y tareas, para llevar a cabo la tarea que se les encomendó.
- Confianza y reputación: Los agentes, al interactuar entre ellos, desarrollan el sentimiento de que cierta interacción con algunos agentes le ha conducido a tener mejores o peores resultados en la realización de la tarea que le ha sido delegada. Por lo que estos agentes comenzaran a tener confianza en aquellos agentes que faciliten su tarea y dudarán de aquellos que los han perjudicado en la realización de su tarea. A esta capacidad que tienen los agentes de identificar si otro agente le ayudará, o le perjudicará en la realización de su tarea, es llamada reputación. Esta es otorgada por los agentes con los cuales se ha interactuado, es decir, que un agente no puede generar su propio valor de reputación, esta es una característica totalmente social.

2.7.3. Teoría de juegos y protocolos de negociación

Hoy en día, nosotros somos incapaces de decirle o darle a entender a una maquina directamente cuales son nuestras preferencias en caso de que no pueda realizarse una tarea que se le delegó exactamente como queremos. Por lo menos es imposible decirle esto de forma abstracta, tal y como hablamos, pero sí que podemos comunicárselo al sistema informático de alguna manera. Esta manera es muy parecida a la forma en que nosotros tomamos decisiones dentro de nuestra mente. Para que esto se entienda con mayor claridad, imaginemos que queremos seleccionar que desayunar por las mañanas: Hotcakes o unos huevos revueltos. Entonces, imaginemos que debemos darle un número que marque mi preferencia por comer una cosa u otra. Supongamos que a los hotcakes le hemos dado una preferencia de 7 mientras que a los huevos revueltos una preferencia de 4, es obvio que nosotros preferiremos desayunar hotcakes, pero nos encontramos con que no tenemos todos los ingredientes necesario para prepararlos. En ese caso terminaríamos desayunando los huevos revueltos, a pesar de solo tener 4 en nuestra abstracción numérica de preferencia en lugar de los hotcakes que tienen 7.

Bien, ahora supongamos que existen más de dos opciones. Esta vez podemos escoger entre hotcakes, huevos revueltos, pan francés o salir de casa sin desayunar. En nuestra mente decidimos darles valores de 7, 4, 10 y 0, respectivamente. En base a eso, podemos saber cuál será la tendencia de preferencia a desayunar, pero tal y como vimos en el primer ejemplo, no solo depende de nuestra preferencia, sino, también de con lo que contemos para cocinar. Por lo cual podríamos terminar desayunando pan francés, huevos revueltos o salir de casa sin desayunar, aunque nuestra preferencia sea claramente el desayunar hotcakes. Al darle a un sistema informático esta abstracción numérica, sobre las acciones o selecciones de nuestra preferencia, las cuales son abstractas para el sistema informático, éste puede entender y tomar decisiones sobre el movimiento que debe realizar para estar lo más cercano que pueda a la finalidad que se le delegó. A esta abstracción numérica para darle un cierto peso a una de las decisiones que el agente puede realizar, se le conoce como utilidad.

La utilidad será aplicará de diferentes maneras, dependiendo del tipo de abstracción que se haga y de los juegos y protocolos que se utilicen sobre esta. Para entender esto, es necesario conocer qué es un protocolo de negociación y qué es un juego.

Un protocolo de negociación es un proceso de interacción entre dos o más agentes, los cuales tienen objetivos y preferencias conflictivas, es decir, que ambos desean lo mismo y que no existe suficiente recurso para satisfacer ambas necesidades. Por esta razón, mediante un protocolo de negociación es que busquen llegar a acuerdos o soluciones las cuales sean aceptables para uno o ambos participantes en el conflicto. Un juego, son las estrategias que sigue cada agente o jugador durante la negociación para llevar a cabo la repartición de los recursos. Estas estrategias están basadas en la utilidad que puede darle a cada agente, realizar sus diferentes acciones.

Los tipos de juegos que los agentes pueden seguir son en esencia dos:

- **Juego de forma Normal:** La estrategia normal para un jugador, es aquella estrategia donde el agente puede visualizar todas las acciones y todos los posibles resultados antes de realizar un movimiento. Por lo general este tipo de estrategias suelen utilizarse en aplicaciones donde los agentes necesiten que los recursos por los cuales se estén compitiendo se repartan de una forma equilibrada, o con un favoritismo sesgado, intentando no dejar al otro agente sin nada de recursos.

- Juego de forma Extensiva: El juego de forma extensiva consiste en que los agentes realicen sus movimientos por turnos. La decisión sobre la acción a realizar de un agente puede afectar sobre la decisión, o el estado de los próximos agentes a realizar una acción. A cada acción que realiza un agente de forma individual se le llama subjuego, debido a que es un movimiento que se lleva a cabo dentro de todas las acciones que se pueden realizar por todos los agentes, que se encuentran jugando dentro de todo el conjunto llamado juego.

Capítulo 3. Metodología

3.1. Cosimulación para una Red Inteligente (SmartGrids)

Para desarrollar la simulación que se presenta en esta tesis, se decidió no utilizar únicamente un simulador. Esto debido se utilizan dos de los tres factores que conforman una red inteligente. Estos dos factores en los que nos centraremos en la presente tesis son: el control inteligente; que se encarga de controlar las acciones que se llevarán a cabo dentro de la red. Y la comunicación; la que consiste en las capas físicas y los protocolos necesarios para llevar a cabo la transmisión de la información.

En la presente tesis se tomo la decisión utilizar las herramientas probadas por Ahmad *et al.* (2016), debido a que en este artículo se realiza la validación de dichas herramientas, trabajando en conjunto para poder llevar a cabo la simulación de una red inteligente. La que en realidad es la co-simulación de varios softwares especializados en el área para el que fueron diseñados. Los softwares en este artículo son: marco de software JADE; como herramienta para el control inteligente. El entorno de desarrollo OMNET++; como simulador de telecomunicaciones. Y Python; como herramienta de lenguaje mediadora entre ambos softwares.

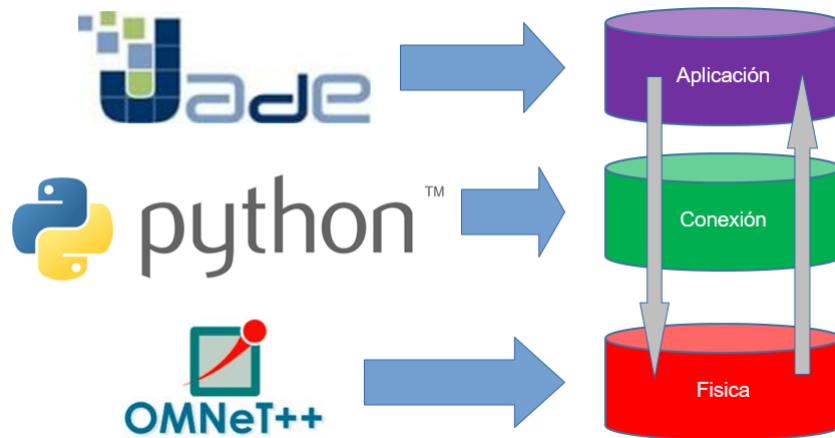


Figura 17. Visualización por capas de metodología implementada para el diseño de la simulación

En la Figura 17, se puede observar cómo es que se visualizó el modelo de simulación de la Red Inteligente. El modelo es una pila que representa el intercambio de información entre el Control Inteligente (Capa de Aplicación) y el dispositivo (Capa Física). Además de mostrar que softwares fueron utilizados para la elaboración de cada

elemento en el modelo. Esta pila cuenta con una capa de aplicación, una capa de física y una tercera capa Conexión. A continuación, se explica a detalle cada elemento que compone el modelo:

- **Capa de Aplicación:** La capa de aplicación en nuestro modelo representa el control inteligente. En nuestro caso la capa de aplicación será dada por el agente inteligente, el cual estará programado dentro de un dispositivo. Esta capa será simulada por medio del marco de software Jade; herramienta que nos permite la simulación de agentes, y el intercambio de mensaje entre ellos.
- **Capa Física:** El Agente Inteligente estará programado dentro de un dispositivo. Este dispositivo representa el factor de comunicaciones, o lo que en nuestro modelo llamamos Capa Física. Es importante entender esto, debido a que el agente está limitado a realizar acciones que estén relacionadas a la transmisión, que puede realizar la Capa Física. Esto es más sencillo de entender si se hace la analogía con el cuerpo humano; otorgando a la Capa de Aplicación el atributo de mente, y a la Capa Física el atributo de cuerpo. Se simulara la Capa Física por medio del entorno de desarrollo OMNET++, sumada a una librería diseñada para el mismo, llamado Inet Framework, la cual es un marco software que nos brinda las herramientas de comunicaciones que necesitamos para simular.
- **Capa de Conexión:** Entre estas dos capas, debido a que los softwares implementados no manejan el mismo lenguaje de programación, y además es necesario que estos compartan información entre sí. Se agrega esta Capa de Conexión, que tiene la tarea de servir de intermediario entre la Capa de Aplicación y la Capa Física. Para realizar esta tarea se seleccionó el lenguaje de programación Python, que además de ser el utilizado en el artículo, es relativamente fácil de aprender y utilizar. Cuenta con una gran cantidad de librerías disponibles para realizar diferentes tareas.

Este modelo es el que se decidió seguir para llevar a cabo la simulación de la red triage, que se presenta en esta tesis. A lo largo del documento entraremos en detalle sobre la implementación de este modelo, y las herramientas que utiliza.

3.2. Herramientas de Software

3.2.1. JADE (Java Agent DEvelopment Framework)

JADE (Java Agent DEvelopment Framework) es un marco de software, que esta implementado en el lenguaje de programación Java. El propósito de este marco de desarrollo es el de facilitar el desarrollo y la implementación de agentes inteligentes, cumpliendo las especificaciones de la FIPA (The Foundation for Intelligent Physical Agent), una organización de la IEEE Computer Society), aceptada oficialmente por esta el 8 de junio de 2005. FIPA promueve las tecnologías basadas en agentes, y la inter-operabilidad de sus estándares con otras tecnologías.

Jade cuenta con un grupo de herramientas gráficas que permiten la depuración e implementación de agentes. JADE es capaz de tener varios agentes en máquinas diferentes, lo cual le permite construir sistemas distribuidos. Igualmente, JADE se puede utilizar en una única máquina, con todos los agentes que se necesiten para diseñar un sistema de multi-agente. JADE además cuenta con una GUI (Graphic User Interface) remota, la cual se muestra en la Figura 18, que nos permite controlar, monitorizar y ejecutar diferentes agentes, que se encuentran dentro de nuestro sistema.

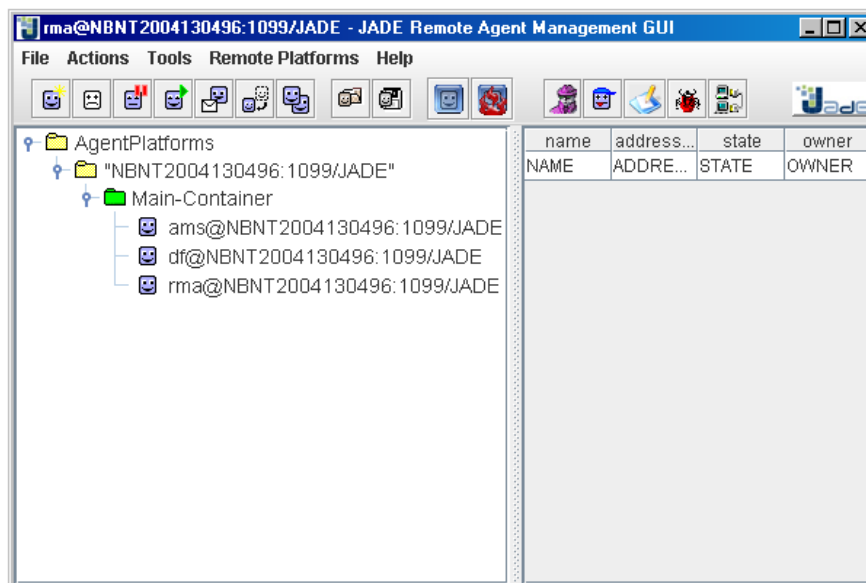


Figura 18. Consola de administración de JADE (JADE, visitado: 3 dic 2019).

JADE al inicializar una plataforma genera por defecto tres agentes, encargados de las siguientes funciones:

- AMS: Representa la autoridad en la plataforma. Es el único agente capaz de realizar acciones de gestión de la plataforma, tales como iniciar y eliminar agentes, o cerrar la plataforma completamente.
- DF: Proporcionar el servicio de Yellow Pages, donde los agentes pueden publicar los servicios que proporcionan y encontrar otros agentes que brinden los servicios que necesiten.
- RMA: Agente de gestión remota, es decir, el agente que implementa la consola de gestión JADE.
- Estos agentes se generan dentro del contenedor principal de una plataforma.

En la Figura 19, se observa cómo está constituida la arquitectura de JADE. En la figura se visualiza que los agentes se encuentran distribuidos en una red. Estos pueden estar colocados dentro de contenedores. Estos contenedores suelen ubicarse dentro de alguna máquina. Los cuales pueden tener uno o más agentes. Los contenedores, a su vez, pueden estar en una única plataforma, la cual suelen ser los varios dispositivos que se encuentra dentro de una misma red antes de salir a la nube.

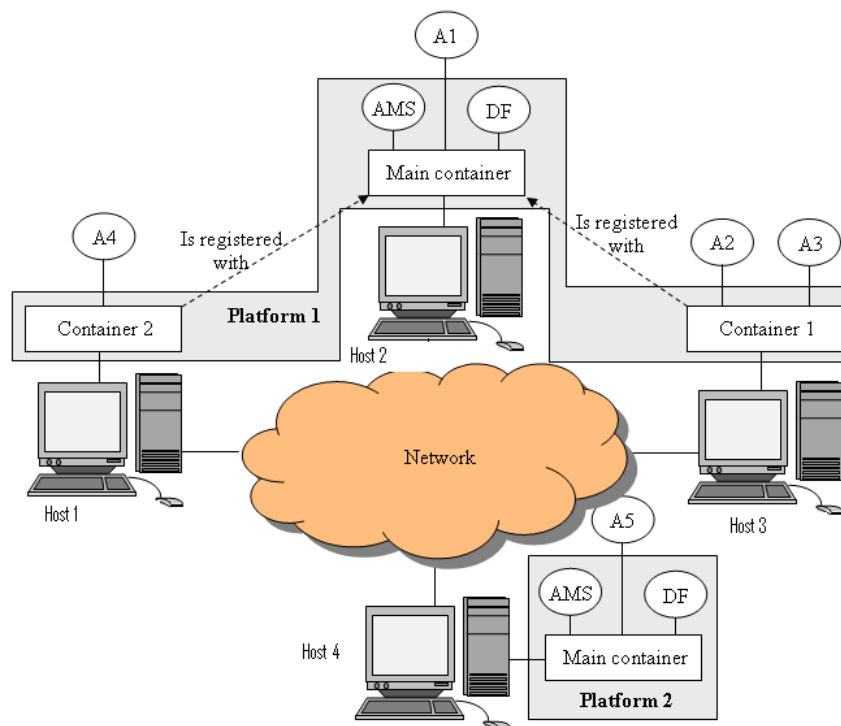


Figura 19. Arquitectura de JADE (JADE, visitado: 3 dic 2019).

La comunicación entre estos agentes es transparente independientemente de donde los agentes se encuentren ubicados en la red. Es decir, un agente que se encuentre en un contenedor puede comunicarse con un agente que se encuentre en el mismo contenedor, en otro contenedor distinto, o incluso, sí este se encuentra en otra plataforma. Para poder localizar cada uno de estos agentes se utilizan los “nombres” los cuales están constituidos de la forma:

<nombre local> @ <nombre de plataforma>

Observando nuevamente la Figura 18, observamos que los nombres otorgados a los agentes que fueron generados al inicializar la plataforma siguen la estructura de identificación recién descrita.

El tipo de comunicación que utiliza JADE para el intercambio de mensajes entre agentes está basado en el paradigma de mensajes asíncronos. El formato que utilizan los mensajes está definido por el lenguaje ACL (Agent Communication Language), el cual fue definido por la misma FIPA. La estructura que maneja este tipo de mensaje es la siguiente:

- El remitente: El agente el cual envía la información.
- El receptor: Uno o más agentes que recibirán la información transmitida por el remitente.
- El acto comunicativo que indica la intención del remitente, o tipo de mensaje, que es transmitido. Por ejemplo, un mensaje tipo INFORM desea que los receptores se den cuenta de un hecho. Por ejemplo “INFORM: hoy está lloviendo”, o un mensaje tipo REQUEST, cuya intención es hacer que los receptores realicen una acción al recibir el mensaje. FIPA definió un total de 22 actos comunicativos con los cuales se cree que pueden tener cubiertos el 95 % de todos los casos posibles.
- El contenido: Es la información real transmitida por el mensaje.

3.3. Entorno de desarrollo Omnet++

El entorno de desarrollo OMNeT++ es un marco de simulación que está basado en C++, e implementado en el IDE (Integrated Development Environment) de Eclipse. OMNeT++ es una herramienta que permite desarrollar simulaciones de eventos discretos. Su programación está dada mediante objetos, los cuales llamamos módulos. Para que OMNeT++ pueda realizar la simulación, los módulos deben intercambiar mensajes entre ellos de forma discreta. Esto quiere decir que OMNeT++ no cuenta con una arquitectura específica para realizar las simulaciones, sino que es una herramienta de simulación de propósito general. Mediante esta herramienta se pueden resolver una vasta cantidad de problemas. Algunos ejemplos son:

- Modelado de redes de comunicación cableadas e inalámbricas
- Modelado de protocolo
- Modelado de redes de colas
- Modelado de multiprocesadores y otros sistemas de hardware distribuido
- Validación de arquitecturas de hardware
- Evaluar aspectos de rendimiento de sistemas de software complejos
- En general, el modelado y la simulación de cualquier sistema en el que el enfoque de eventos discretos sea adecuado y pueda asignarse convenientemente a entidades que se comunican mediante el intercambio de mensajes.

Al analizar en el listado de las problemáticas con las que OMNeT++ nos puede ayudar, podemos percatarnos de muchas de estas problemáticas se encuentran dentro del área de las telecomunicaciones. A pesar de que este software es un software muy genérico y permite la realización de una vasta cantidad de simulaciones, uno de los campos más fuertes en los que ha contribuido este software es precisamente el de telecomunicaciones, por lo cual este simulador se le suele confundir como un simulador de redes.

Los conceptos esenciales para entender cómo es que funciona OMNeT++, y porque es que es tan utilizado en el área de telecomunicaciones son los siguientes:

- Módulos simples y compuestos: OMNet++ cuenta con dos tipos de módulos. Uno de estos son los módulos simples, los cuales son nuestra estructura de programación mas pequeña que podemos tener en OMNet++. Los módulos simples se programan en un archivo en C++, el cual utiliza para definir las funciones y acciones que puede realizar el módulo, así como las entradas y salidas que este módulo tendrá. También contamos con módulos complejos, los cuales son la combinación de dos o más módulos simples. La Figura 20 muestra gráficamente los conceptos de módulo simple y modulo complejo.

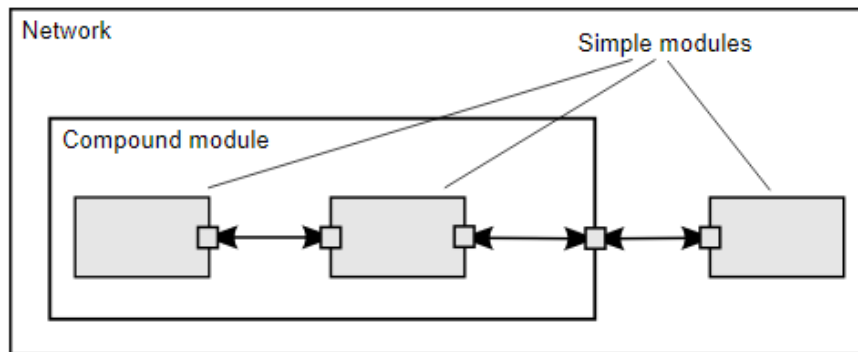


Figura 20. Ejemplificación de módulos simples y complejos en OMNET++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019a).

- Descripción de topología: La topología que maneja OMNeT++ se encuentra definida por la combinación entre diferentes módulos simples y complejos, realizando entre ellos diversas conexiones. Estas conexiones se especifican mediante un archivo NED (Network Description) y la escalabilidad, o complejidad de las topologías no tiene límite. Esto debido a que OMNeT++ permite cualquier cantidad de conexiones entre módulos simples y módulos complejos. Las conexiones entre los módulos simples y complejos deben seguir una jerarquía, esto debido a que el software realiza la simulación en base a esta. Con la ayuda, nuevamente, de la Figura 20 podemos entender este concepto. El modulo complejo y el modulo simple se encuentran en un mismo nivel jerárquico, mientras que los dos módulos internos del módulo complejo se encuentran un nivel jerárquico inferior.
- Mensajes, puertas y enlaces: La forma en que se comunican los módulos es mediante mensajes, los cuales suelen estar ligados al avance discreto de la simulación, es decir, que el tiempo de la simulación local avanza según arriban mensajes entre los módulos. Existen algunos mensajes automáticos que sirven como tem-

porizadores cuando no se comparten mensajes entre los módulos programados. Para que los módulos puedan intercambiar mensajes entre ellos es necesario que existan puertas y enlaces. Al estar programando módulos simples y módulos complejos, es importante mencionar que estos módulos solo pueden tener puertas y enlaces en el nivel jerárquico en el cual se están programando, razón por la cual, al desear conectar la entrada de un módulo con otro, que se encuentre dentro de un módulo complejo, se deberá programar una puerta de entrada o salida. En la Figura 20 se puede observar como uno de los módulos simples que componen el módulo complejo, tiene un enlace y una puerta, por la cual se conecta el módulo simple que se encuentra en el exterior.

- Los enlaces, o bien conexiones, que ofrecen OMNeT++ puede modelar entornos físicos. Esto debido a que para las conexiones OMNeT++ cuenta con un objeto tipo canal. Este objeto admite parámetros de velocidad de datos, retraso de propagación, velocidad de error de bits y velocidad de error de paquete. Estos pueden activarse o desactivarse según lo desee el diseñador de la simulación.

El entorno de desarrollo OMNeT++ nos ofrece dos formas de poder llevar a cabo la programación de los archivos NED. La programación se puede hacer de forma gráfica como se muestra al lado izquierdo en la Figura 21, o en código como se muestra al lado derecho de la misma figura.

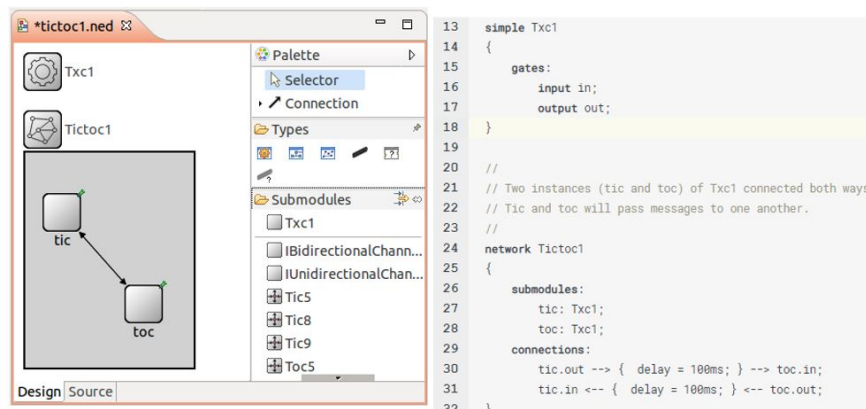


Figura 21. Pantalla de programación gráfica en OMNeT++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019b).

Una vez se tienen los archivos C++, que definen a los módulos simples, y el archivo NED, en cual le describe al simulador la topología de la red, OMNeT++ se apoya de un tercer archivo el cual suele llevar el nombre de omnet INI (Initialization). Este archivo

se utiliza para afinar los últimos detalles de la simulación (esto debido a que los archivos de módulos simples C++ pueden contar con parámetros que se pueden habilitar o deshabilitar, cuyas configuraciones se pueden redefinir en este archivo), y ejecutar la simulación. Algunos módulos también se apoyarán de algún archivo tipo XML (eXtensible Markup Language) para configurar algunos parámetros de la red antes de ejecutar la simulación.

En la Figura 22 podemos observar la interfaz de OMNeT++ una vez ejecutada la simulación. En ella podemos observar que OMNeT++ durante el momento de la simulación cuenta con una gran cantidad de opciones e información que nos brinda la herramienta de software, entre las cuales se incluyen el control de la velocidad de la simulación y una consola de que muestra los eventos que ocurren durante la simulación.

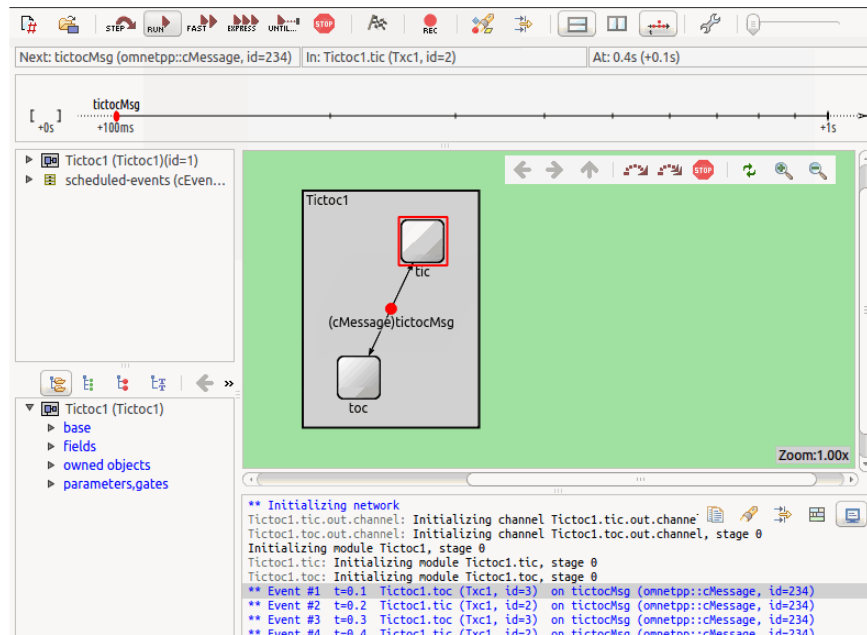


Figura 22. Ejemplo de una simulación corriendo en OMNeT++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019b).

Para concluir, OMNeT++, una vez que termina su simulación guarda los resultados dentro de una carpeta creada dentro del mismo proyecto que ejecutamos, con el nombre de “resultados”. En esta carpeta se encuentran los archivos sobre la información que el software ha recaudado sobre la simulación. Estos archivos se encuentran en formato .vec (datos recaudados en forma de vectores) y .sca (datos recaudados en forma de escalares). Estos datos se pueden mostrar por medio de gráficas, por lo que OMNeT++ cuenta con la capacidad de graficar los datos. Aunque también se tiene la

opción de poder exportar los datos para poder graficarlos mediante herramientas propias, por ejemplo, y recomienda la misma página de OMNeT++, utilizando la librería de pandas de Python.

Folder	File name	Config name	R	Run id	Module	Name	Count
/tictoc/result	Tictoc15-0.vec	Tictoc15	0	Tictoc15-0-20	Tictoc15.tic[S]	HopCount	6242
/tictoc/result	Tictoc15-0.vec	Tictoc15	0	Tictoc15-0-20	Tictoc15.tic[n]	HopCount	6236
/tictoc/result	Tictoc15-0.vec	Tictoc15	0	T		Count	6284
/tictoc/result	Tictoc15-0.vec	Tictoc15	0	T		Count	6330
/tictoc/result	Tictoc15-0.vec	Tictoc15	0	T		Count	6337
/tictoc/result	Tictoc15-0.vec	Tictoc15	0	T		Count	6310

Figura 23. Visualización para gráfico de resultados de los archivos .vec y .sca en OMNeT++ (OMNeT++, visitado: 3 dic 2019b).

3.4. Marco de software Inet (Inet Frameworks)

El marco de software INET es una biblioteca de software libre que cuenta con modelos y protocolos diseñados para el ambiente de simulación OMNeT++. Estos modelos están orientados a investigadores y estudiantes que trabajan con redes de telecomunicaciones, y son especialmente útiles para diseñar y validar nuevos protocolos o explorar escenarios. Debido a que INET está diseñado para la experimentación no poniendo restricciones para poder combinar los diferentes módulos que ofrece, así como los mismos también son modificables y su código se encuentra disponible en la página de INET. Por esto INET proporciona dos tipos de guías al usuario, una para utilizar las herramientas proporcionadas por el marco de software, y otra, orientada a desarrolladores, los cuales requieran hacer modificaciones o crear sus propios módulos para poder llevar a cabo sus experimentos. INET es una librería realmente útil, debido a la vasta cantidad de módulos que ofrece, entre los cuales se encuentra la posibilidad de poder simular las siguientes funciones:

- Capas OSI implementadas (física, capa de enlace, red, transporte, aplicación)
- Implementaciones de protocolos interconectables para varias capas
- Pila de red IPv4 / IPv6 (o cree su propia capa de red)

- Protocolos de capa de transporte: TCP, UDP, SCTP
- Protocolos de enrutamiento (ad-hoc y por cable)
- Interfaces cableadas / inalámbricas (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.)
- Capa física con nivel de detalle escalable (unidad de radio de disco a modelos de propagación detallados, representación de nivel de trama a nivel de bit / símbolo, etc.)
- Amplia gama de modelos de aplicación.
- Soporte de emulación de red
- Soporte de movilidad
- Admite el modelado del entorno físico (obstáculos para la propagación de radio, etc.)
- Separación de intereses
- Soporte de visualización



Figura 24. Ejemplificación de otras herramientas proporcionadas por OMNET++ (INET-Framework, visitado: 3 dic 2019b).

3.4.1. Servicios diferenciados (DiffServ)

La herramienta en la que principalmente nos apoyaremos para realizar la simulación objetivo de esta tesis, es de la librería de servicios diferenciados los cuales ofrece el marco de software INET. Primeramente, recordemos que servicios diferenciados es un mecanismo de calidad de servicio que tiene por objetivo clasificar, y marcar paquetes para que estos reciban un tratamiento especial dentro de la red, y de esta forma se pueda tratar de asegurar la calidad de la transmisión de estos paquetes.

En el marco de software INET, de los 8 bits del campo de ToS, únicamente toma en cuenta 6 de estos 8 bits, descartando la utilización de los bits de ECN. Esto con el propósito de utilizar los primeros 3 bits para otorgar una clasificación de tráfico a los paquetes y los siguientes 3 bits para entregar una probabilidad de descarte a los paquetes. Los servicios que maneja la implementación de servicios diferenciados en INET son:

- El Per Hop Behavior (PHB) predeterminado: generalmente se asigna al tráfico de mejor esfuerzo.
- Expedited Forwarding (EF): PHB está dedicado al tráfico de baja pérdida y baja latencia. Se utiliza a menudo para transportar tráfico de VoIP.
- Los PHB de Assured Forwarding (AF): aseguran la entrega en las condiciones prescritas; hay cuatro clases y tres probabilidades de descarte, por lo cual contamos con un total de doce codificaciones para el DSCP (differentiated services code point) separadas de AF11 a AF43, para el lenguaje que interpretado por INET.

En la Figura 25 se puede observar el interior del módulo para clasificar el tráfico el cual tiene por defecto INET, llamado egressTC. En esta figura podemos observar como el módulo simple mfClassifier cuenta con cuatro puertos de salida y uno de entrada. El tráfico que entra es clasificado por el módulo mfClassifier, en este caso para cuatro salidas. La primera cola de salida es para otorgar el servicio EF, las siguientes dos para los servicios AF, y una última en la que se entrega el servicio de BE.

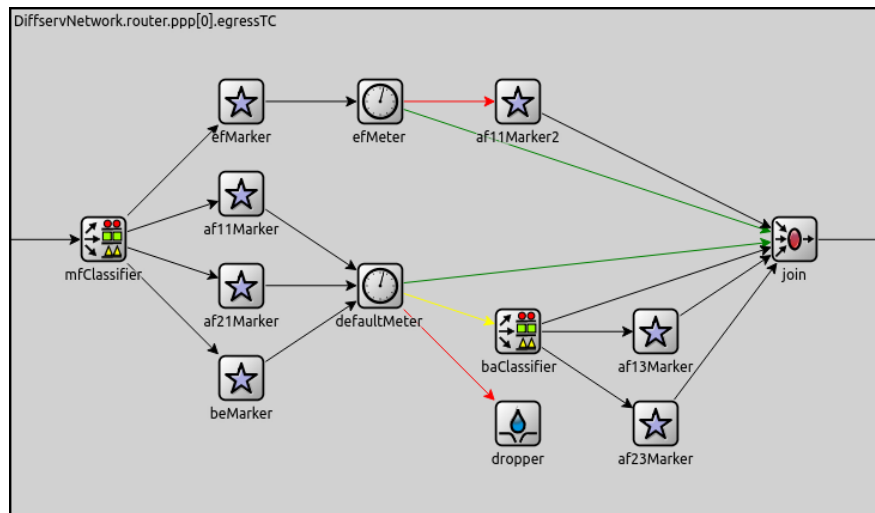


Figura 25. Colas de Servicios Diferenciados en OMNET++ (INET-Framework, visitado: 3 dic 2019b).

Identificar cómo es que está constituido este clasificador de tráfico internamente es muy importante, esto debido a que estos parámetros que nos permiten definir cómo es que repartimos los servicios se definen por medio de archivos XML. Estos cuentan con una lista de elementos que son utilizados como filtros, cada filtro tiene un puerto asignado, es decir, seleccionar la puerta de salida del clasificador es equivalente a seleccionar la calidad de servicio que se quiere otorgar a los paquetes. Los atributos para especificar la configuración de estos filtros son:

- @srcAddress, @srcPrefixLength: Indica la dirección IP de origen.
- @destAddress, @destPrefixLength: Indica la dirección IP de destino.
- @protocol: Indica protocolo de capa 4 del paquete IP. Su valor puede ser un nombre (por ejemplo, "udp", "tcp") o el código numérico del protocolo.
- @tos, @tosMask: Indican los bits del campo TypeOfService / TrafficClass del paquete IP.
- @srcPort: Indica el puerto de origen del paquete TCP o UDP.
- @srcPortMin, @srcPortMax: Indican un rango de puertos de origen.
- @destPort: Indica el puerto de destino del paquete TCP o UDP.
- @destPortMin, @destPortMax: Indican un rango de puertos de destino.

Se debe tener en consideración que todos los paquetes que no encajen con las características de algunos de los filtros que se hallan indicado en el archivo XML, se enviarán de forma predeterminada al servicio de BE.

En la Figura 26, en la parte superior, se presenta una red a la cual se desea implementar servicios diferenciados desde INET. La red cuenta con un único router, el cual es el encargado de clasificar la información. En la parte inferior de la misma figura se puede observar la lista de filtros en código en XML, para configurar la forma en que se realizará la clasificación en esta red.

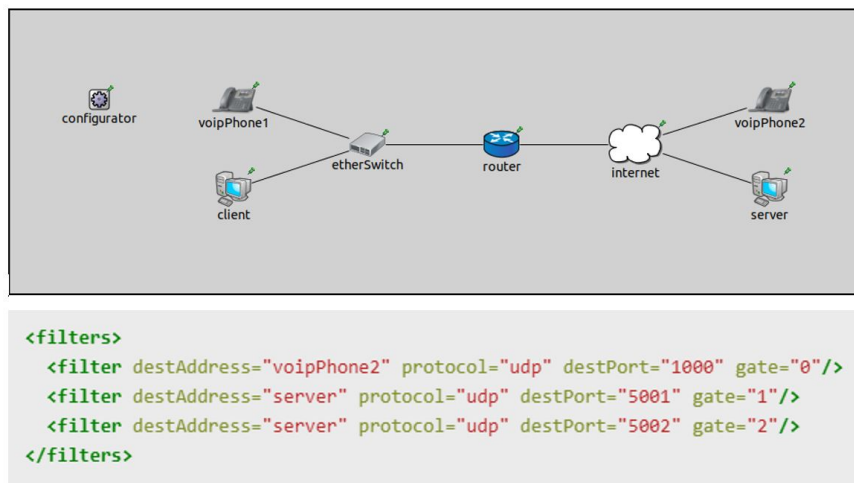


Figura 26. Ejemplificación de una red con su respectivo archivos XML para la implementación de Servicios Diferenciados (INET-Framework, visitado: 3 dic 2019a).

Observando el código en XML expuesto en la Figura 26, y comparándolo con la Figura 25, se observa que el host voipPhone2 se asigna el puerto cero, por lo que llegue a este cuenta con el servicio EF, mientras que el host server, cuenta con dos puertos por donde entran paquetes provenientes de los puertos 1 y 2, por lo cual tienen la calidad AF11 y AF21, respectivamente. Cabe reiterar que los paquetes los cuales no encajen con ninguna de las etiquetas especificadas en el archivo XML recibirán el servicio BE.

3.5. Lenguaje de Programación Python

Python es uno de los lenguajes de programación más utilizados actualmente, debido a la facilidad de entendimiento que se tiene hacia el lenguaje, así como la vasta

cantidad de herramientas que se han desarrollado para este lenguaje. Para los propósitos de esta tesis, se seleccionó este idioma para generar los scripts que necesitaremos para la comunicación entre diferentes partes que componen al sistema.

3.6. Puntos de Conexión (Sockets)

Los sockets son una herramienta de software que nos permiten comunicar a dos o más software entre ellos, a pesar de estos no utilicen el lenguaje. El paradigma que siguen los sockets es el de cliente-servidor, en la Figura 27 podemos ver cómo es que se logra la comunicación entre dos sockets.

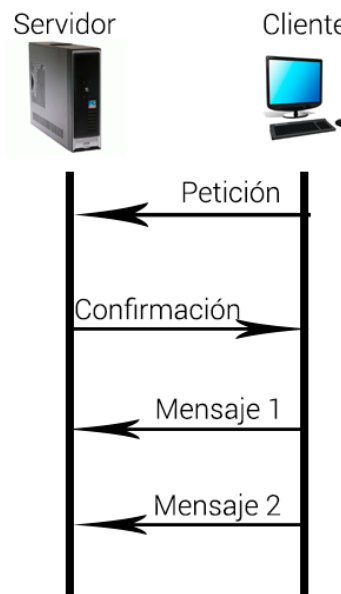


Figura 27. Funcionamiento general de un socket (ProgramarYa, visitado: 4 dic 2019).

El protocolo consiste en que el servidor se encuentra “escuchando” el medio a través de un puerto, el cual especificamos a través de la programación. A su vez el cliente envía una petición de conexión a la dirección IP del servidor y al puerto de escucha que se definió. Para que la comunicación pueda llevarse a cabo el servidor debe escuchar y enviar un mensaje de confirmación al cliente, en el que le indicara que se encuentra conectado al servidor. Además, le entregara un numero de puerto único y exclusivo para llevar a cabo la comunicación. Una vez hecho todo esto, cliente y servidor pueden intercambiar mensajes entre ellos.

3.7. Hoja de Cálculo y JADE

Para poder utilizar las hojas de cálculo con JADE es necesario contar con una librería de Java llamada APACHE POI. Esta librería nos permite la manipulación de archivos .xls y xlsx para poder crear, leer, escribir o modificar esta clase de archivos mediante líneas de código en Java. Debido a que JADE está implementado sobre el lenguaje de programación de Java, éste es compatible con las librerías diseñadas para este lenguaje de programación. En el caso de la presente tesis, los Agentes Inteligentes encargados de modificar la información de las tablas de los pacientes podrán realizar esta acción utilizando esta librería como herramienta.

Capítulo 4. Propuesta del protocolo

4.1. Propuesta del sistema

En la Figura 28 se muestra la representación del sistema mediante bloques, en el que se explica de forma generalizada el funcionamiento del sistema.

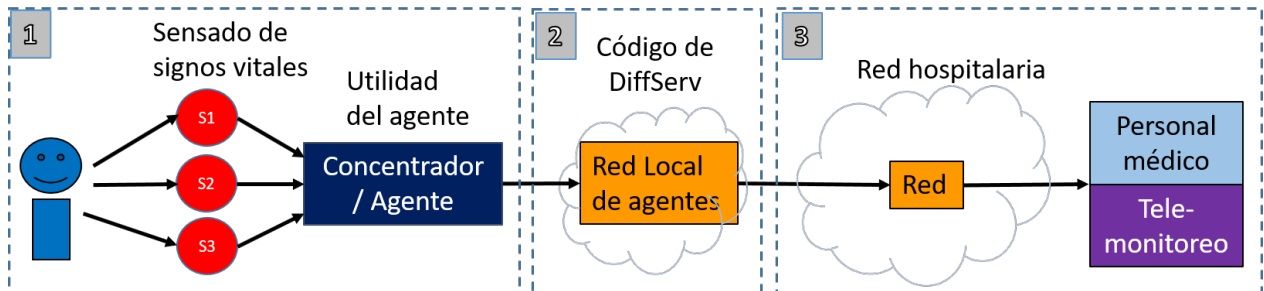


Figura 28. Diagrama del sistema propuesto.

- Bloque 1: Se puede observar al Paciente representado por la imagen con la carita feliz. A él están conectados varios sensores, que tienen la función de obtener los signos vitales del paciente para posteriormente enviarlos al Concentrador/Agente. El Concentrador/Agente calculará la gravedad del paciente y lo representará mediante un número real.
- Bloque 2: El Concentrador/Agente se conecta a una red local de agentes, junto con otros agentes que, de igual manera, tienen un número de gravedad representativo de la gravedad del paciente que monitorean. En este paso se lleva a cabo la negociación para decidir qué pacientes necesitan apartar recursos debido a la severidad que presentan, otorgando así un tipo de servicio basado de los disponibles en servicios diferenciados.
- Bloque 3: Se muestra como la información del paciente es transmitida a través de la red hospitalaria hacia el equipo de telemonitoreo.

Resumiendo lo anterior, el Concentrador/Agente otorgará un número representativo de la gravedad del paciente que se monitorea, este número se compartirá con los demás Concentradores/Agentes que se encuentren conectados a la red, y con estos datos se llevará a cabo la asignación de los servicios para posteriormente enviar la

información de cada paciente a través de la red hospitalaria, con la calidad de servicio que se les otorgaron durante el reparto.

En la Figura 29 se observa el funcionamiento del sistema de forma cerrada, este diagrama detalla de donde se obtiene la información y cuáles son las acciones que se deben realizar para asignar el tipo de servicio.

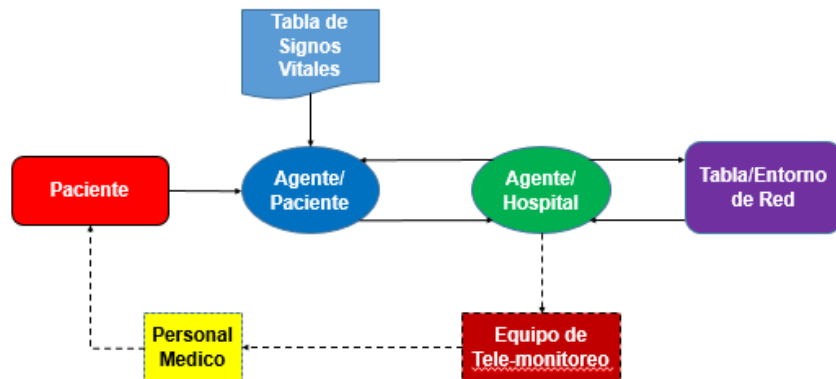


Figura 29. Diagrama del funcionamiento del sistema de forma general para un hospital.

- **Paciente:** El paciente es el individuo al que se monitorean los signos vitales. Este agente tiene la función de generar valores aleatorios para los signos vitales, además de también realizar la función de los sensores al transmitirlos hacia el Agente/Paciente.
- **Agente/Paciente:** Este se encargará de concentrar la información proveniente de un único paciente y de realizar la evaluación de la gravedad de este. Esta evaluación se lleva a cabo basado en la información contenida en "Tablas de signos vitales", estas tablas contienen criterios de clasificación que se utilizan en la actualidad por los enfermeros de hospitales. Posterior a la evaluación, el resultado de esta es enviada al Agente/Hospital.
- **Agente/Hospital:** Este agente representa al hospital en el que se encuentran alojados los pacientes. Este agente recibe la información de cada uno de los Agente/Paciente dentro de su red local y los almacena en una Tabla Local. Este Agente/Hospital se encuentra conectada a la red hospitalaria, éste se encuentra montado sobre el dispositivo de salida del hospital. Para poder llevar a cabo la negociación de los recursos de la red, los Agente/Hospitales compartirán su información entre ellos, centralizándola en la Tabla/Entorno.

- **Tabla/Entorno de red:** Esta tabla representa de manera abstracta que ocurre dentro de la red. Es decir, la tabla nos proporciona información que nos permite aproximar los recursos de la red que consumiremos. Además, la información contenida en esta tabla es la que se utiliza para la negociación de los recursos de la red.
- **Equipo de telemonitoreo:** Una vez realizada la evaluación, y otorgado el tipo de servicio para cada paciente. El equipo de telemonitoreo recibe la información del paciente y la despliega para la visualización del personal médico.
- **Personal médico:** El personal médico aplica las acciones que crea convenientes para mejorar el estado en el que se encuentra el paciente.

4.2. Identificación de entornos (Entorno Paciente y Entorno Red)

Identificar los entornos y los elementos que los componen es de gran importancia para entender el sistema. Este sistema cuenta con dos entornos. Apoyándonos de la Figura 30 se diferenciarán cada uno de estos y las partes que los componen.

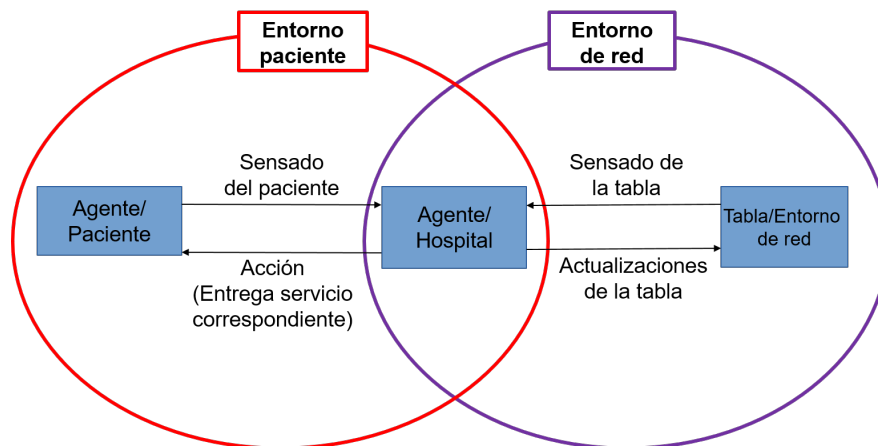


Figura 30. Identificación de Entorno Paciente y de Entorno de Red.

- **Entorno Paciente:** Este entorno se da debido a las acciones que pueden aplicar los médicos sobre el paciente para controlar la estabilidad de sus signos vitales. Si bien, todo el entorno no es controlado totalmente por los agentes, la información que se despliega a través de los equipos de telemonitoreo tiene la intención de que se realicen acciones que mejoren el estado de salud del paciente. El entorno

está generado por Agente/Paciente que sensa al paciente y envía la información obtenida al Agente/hospital, que despliega la información en sus equipos de telemonitoreo para que el personal médico pueda visualizarlo, y estos aplicar las acciones correctivas al paciente.

- Entorno de red Se encuentra formado por la cantidad de pacientes que se encuentran dentro de la red hospitalaria, y los recursos con los que cuenta la red. El entorno lo generan el Agente/Hospital en conjunto con la Tabla/Entorno. El Agente/Hospital actualiza la información contenida en la Tabla/Entorno dependiendo de los pacientes que este tenga, y la tabla entorno, una vez otorgado el tipo de servicio para cada paciente, le entrega éste al Agente/Hospital.

En la Figura 30, también se puede visualizar que el Agente/Hospital se encuentra dentro de ambos entornos, concatenándolos entre sí. Por lo que se puede visualizar que las acciones que se realizan para mejorar el estado del paciente depende tanto del estado del mismo paciente, así como del estado en el cual se encuentre la red.

4.3. Modelado computacional

En el diagrama expuesto en la Figura 31, se explica la secuencia de acciones que realiza el sistema cuando este se encuentra funcionando. En este también se detalla qué agente realiza qué acciones, además de resaltar qué pasos de la negociación y en que paso comienza esta.

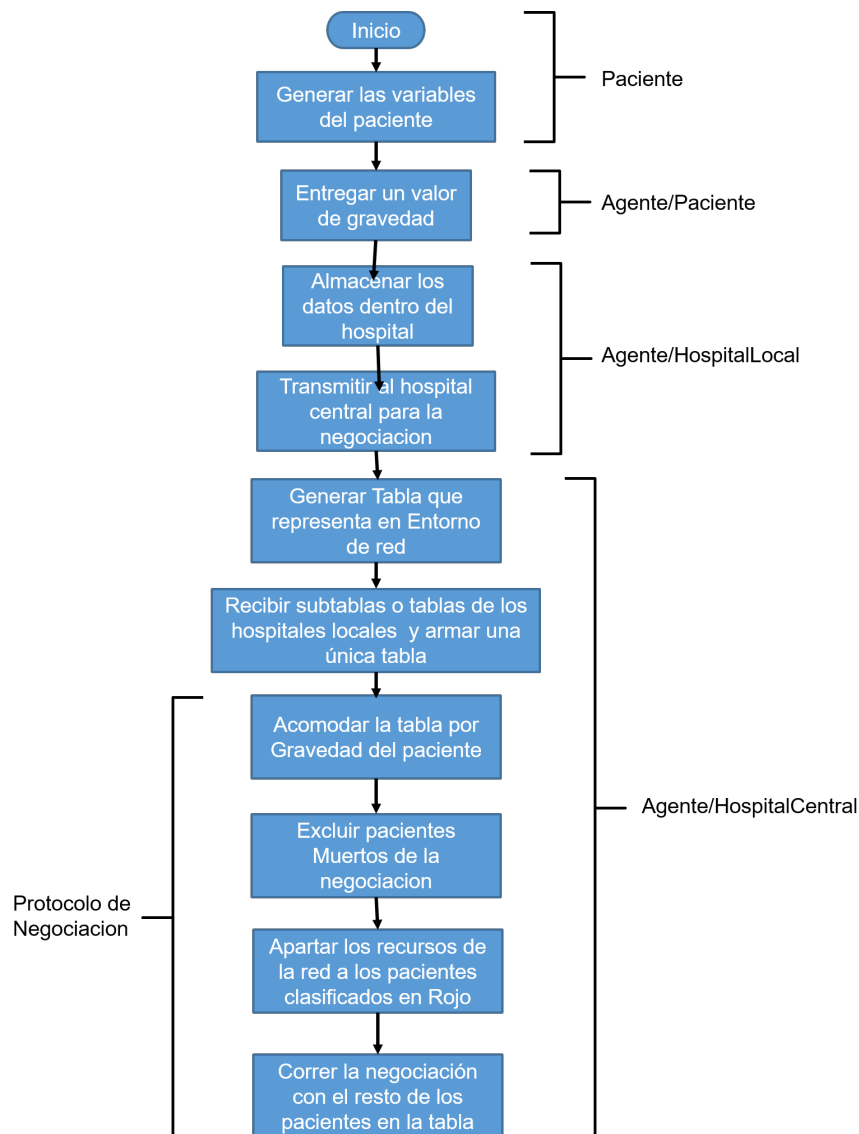


Figura 31. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.

En las siguientes subsecciones del capítulo entraremos a detalle sobre como esta constituido cada uno de los elementos del sistema.

4.3.1. Paciente

El Paciente es un agente que representa al paciente al que se le toman los signos vitales en la implementación. La función de este agente es la de generar valores para cada signo vital, que deben monitorizar los sensores en la implementación. En total contamos con seis variables que generará éste agente, las cuales pertenecen a sus

cinco signos vitales (la presión arterial requiere de dos variables). Estos signos vitales son Frecuencia Cardíaca, Frecuencia respiratoria, Presión Arterial (sistólica y diastólica), Saturación de Oxígeno y Temperatura Corporal.

El siguiente modelo muestra las variables utilizadas por este agente. Es importante mencionar que el valor otorgado para cada signo vital es aleatorio, y que este valor aleatorio se encuentra acotado dentro de los valores reales que estas pueden presentar. Cada variable aleatoria es independiente de las demás, no considerándose las combinaciones entre éstas para otorgar un valor a cada signo vital.

Paciente=<Frec_Card,Frec_Resp,Prec_Art_Sis,Prec_Art_Dis,Sat_Oxi,Temp>

donde:

- Frec_Card: Frecuencia Cardíaca
- Frec_Resp: Frecuencia Respiratoria
- Prec_Art_Sis: Presión Arterial Sistólica
- Prec_Art_Dis: Presión Arterial Diastólica
- Sat_Oxi: Saturación de Oxígeno
- Temp: Temperatura Corporal

A continuación, la Figura 32, muestra el diagrama de acción del agente Paciente. Éste describe cómo es que el agente otorga valores para cada signo vital.

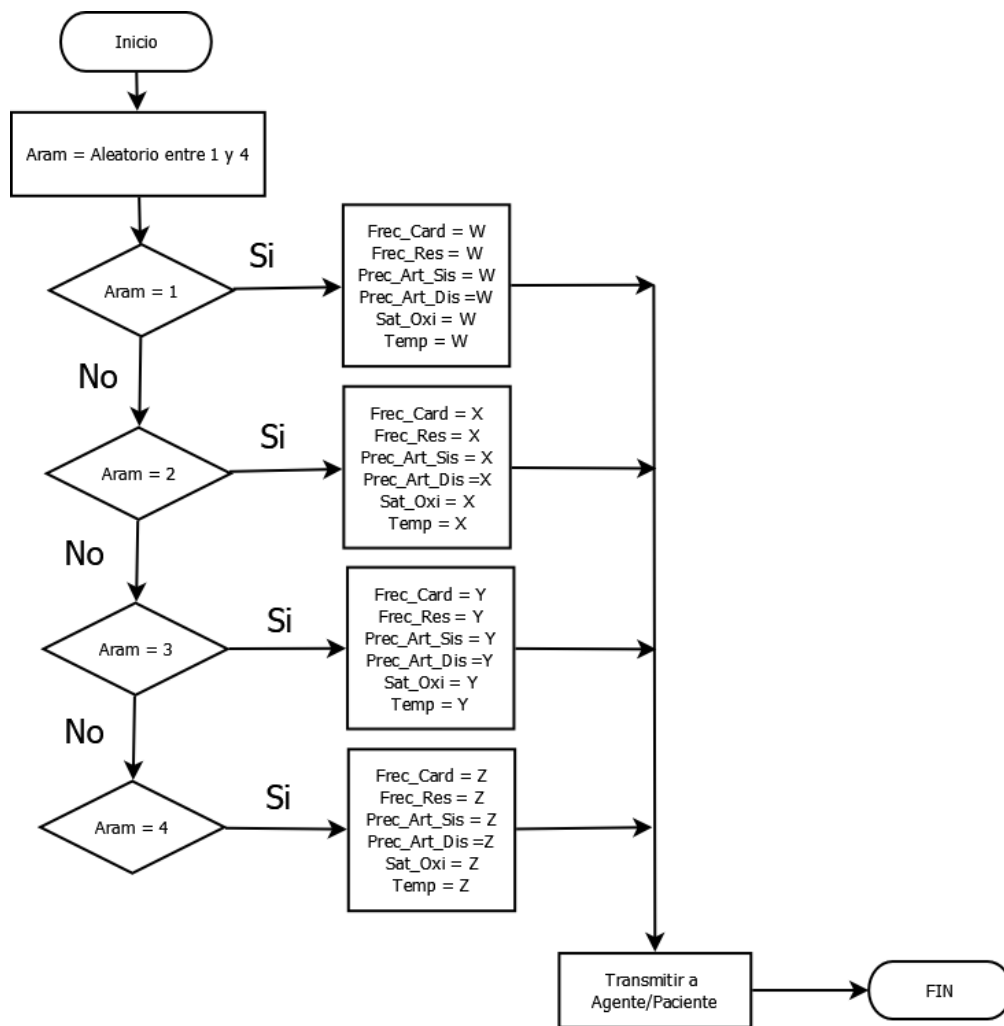


Figura 32. Diagrama de acción del Paciente para seleccionar los valores de los signos vitales

4.3.2. Agente/Paciente

El Agente/Paciente es el agente que representa nuestro concentrador de signos. En éste se llevará a cabo el cálculo de G, el cual es un número real que representa la abstracción de la gravedad en la que se encuentra el paciente. Este valor G es el que enviará al Agente/Hospital para la realización de la negociación.

El valor de G es calculado mediante la abstracción de peso que tiene el estado en el que se encuentra un signo vital en sí. Por ejemplo, en la Tabla 4 podemos observar los rangos posibles en la temperatura corporal, la última columna llamada Gravedad se puede observar que ésta llena por números enteros, estos números enteros son las abstracciones de gravedad que se otorgaron a cada una de las situaciones que se

pueden presentar para esta variable. En forma general, se le otorgó una abstracción de gravedad 1 para los rangos estables en los signos vitales y el igual número de abstracción más alto para los valores más altos y bajos de éstos. Esto último debido a que enfermeros consultados consideraron de igual importancia conocer ambos casos.

Tabla 4. Tabla de diagnóstico para la temperatura corporal

Rangos	Nombre	Descripción	Gravedad
<35	35	Hipotermia	3
36	37.5	Normotermia	1
37.5	39.5	Febrícula	2
39.5	41	Hipertermina	3

A continuación, la Tabla 5 muestra la tabla de asignación de pesos de gravedad para frecuencia respiratoria:

Tabla 5. Tabla de diagnóstico para la frecuencia respiratoria.

Rangos	Nombre	Descripción	Gravedad
Se suspende la respiración		Apnea	3
<14	14	Bradipnea	1
14	20	Eupnea	2
20	>20	taquipnea	3

Una vez se tiene la forma de asignar un número representativo de la gravedad en la que se encuentra cada signo vital, es necesario conocer la gravedad total del paciente. Para esto último se diseñó un algoritmo encargado de calcular la gravedad total del paciente, esto a partir de las asignaciones otorgadas a los diferentes estados que pueden presentar los signos vitales.

En la Figura 33 se muestra el diagrama de acción de este algoritmo, donde se recibe la información del sensor y se realiza una comparación entre esta y las tablas de pesos de los signos vitales. Una vez dada la gravedad a este signo vital se envía a un sumador, donde se suma con la gravedad del resto de los signos vitales.

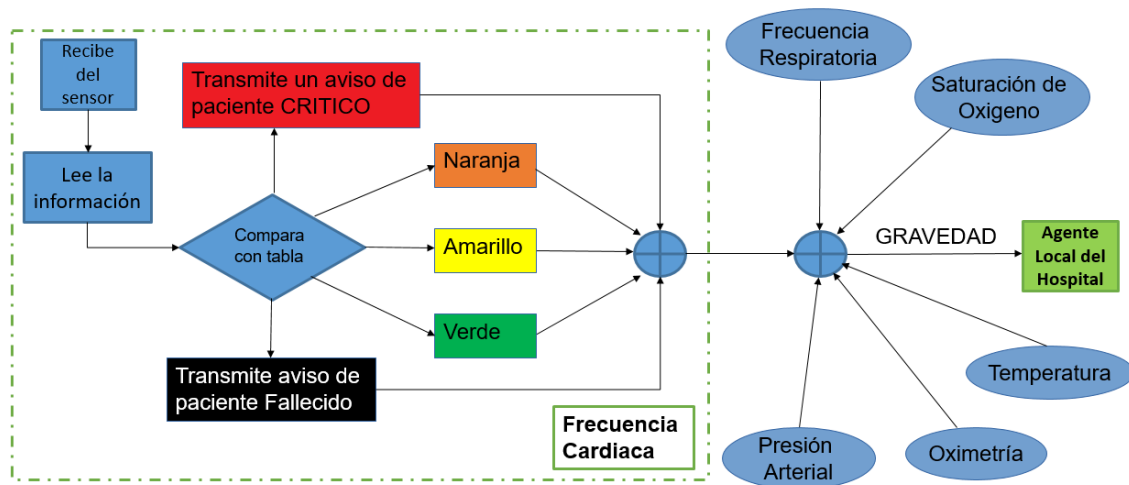


Figura 33. Diagrama de flujo de cómo se lleva a cabo el cálculo de la gravedad (G) en un paciente.

A continuación, se muestra la ecuación del modelo computacional del Agente/Paciente. La variable T es una variable encargada de definir sí se transmite o no la información de un paciente a través de la red hospitalaria. Esta variable puede ser 1 o 0 dependiendo de si transmite o no, respectivamente. El estado de la variable T depende del estado específico de uno de los signos vitales, que nos permita conocer si el paciente se encuentra muerto o no es rescatabable. De ser así esta variable evita la transmisión de la información para disponer de los recursos que ocuparía este paciente, y utilizarlos para aquellos pacientes que pueden mejorar su estado de salud.

$$\text{Paciente} = \langle \text{Id}, \text{G}, \text{T}, \text{SD} \rangle$$

donde:

- Id: nombre del paciente
- G: gravedad del paciente
- T: transmisión de la información del paciente
- SD: tipo de servicio diferenciado

En la Figura 34 se observa el diagrama de acción de una sección del cálculo de la gravedad del paciente (G). En este diagrama se crea la variable G y se inicializa en

ceros, mientras que la variable T se inicializa en modo transmisión, posterior a esto, la variable de la frecuencia cardíaca es recibida del paciente, evaluada y vaciada en la variable G. Una vez terminada la evaluación de este signo vital y el resultado de esta es vaciado en G. Una vez terminada la evaluación y se realiza el vaciado en G se pasa a evaluar el siguiente signo vital, que corresponde a la frecuencia respiratoria.

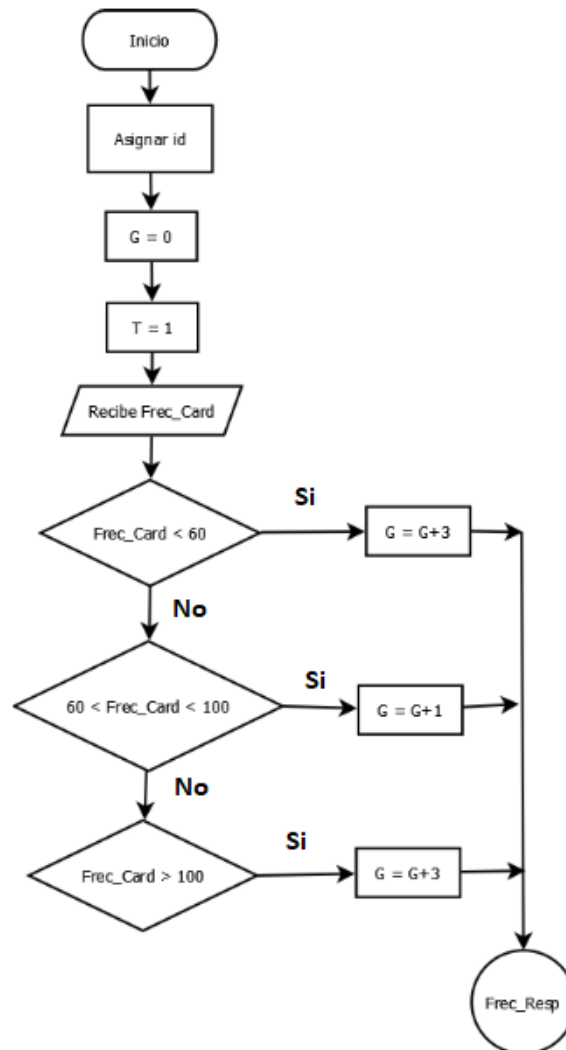


Figura 34. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Frecuencia Cardíaca.

El siguiente segmento del diagrama de acción (Figura 35) corresponde a la frecuencia respiratoria. En este diagrama se considera un caso en el que el paciente evaluado se encuentra muerto al contar con la respiración suspendida. Es importante recordar que la evaluación se hace por signo vital, por lo que el sistema ignora el estado del resto de las variables cambiando la variable de transmisión T a su modo de no transmisión.

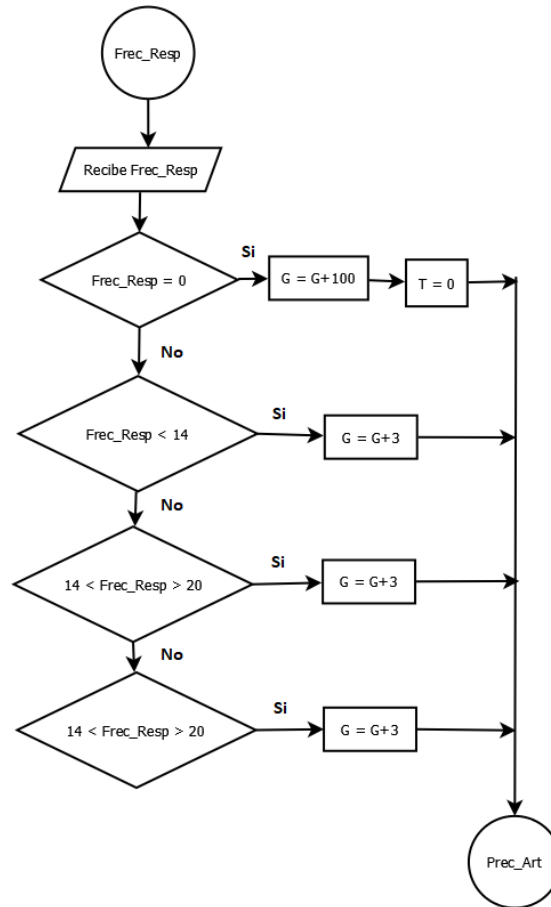


Figura 35. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Frecuencia Respiratoria.

La Figura 36 muestra el diagrama de acción para la presión arterial. La presión arterial se divide en presión arterial sistólica y presión arterial diastólica, esto debido a que se toman en consideración ambas variables para la asignación de G en este signo vital. A pesar de ser dos variables, se considera un solo resultado en representación de ambas. Los casos de las combinaciones de ambas variables son dados por la tabla de clasificación utilizada en hospitales en la actualidad.

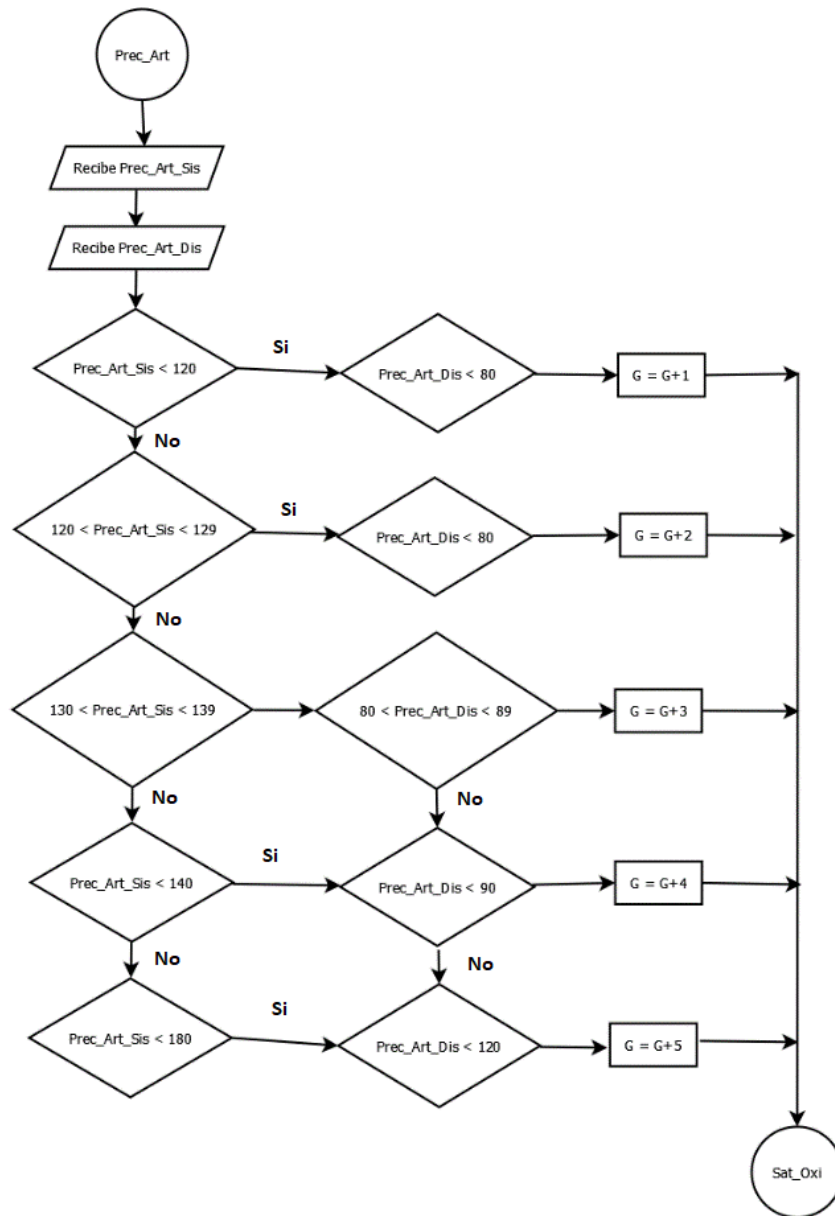


Figura 36. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Presión Arterial.

El siguiente segmento del diagrama de acción, que se muestra en la Figura 37, pertenece a la evaluación de la saturación de oxígeno:

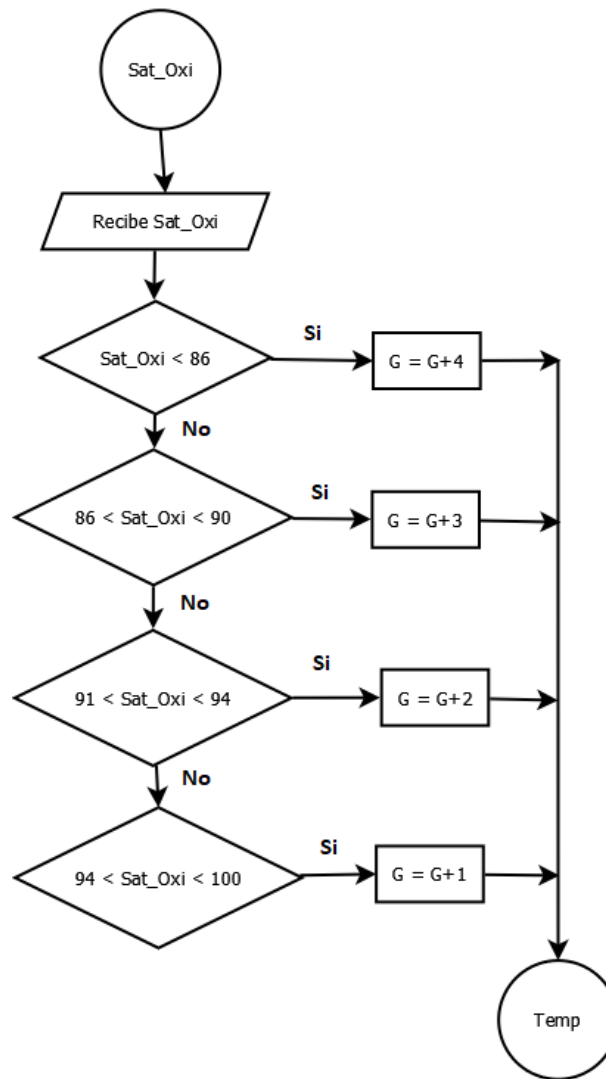


Figura 37. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Saturación de Oxígeno.

Segmento del diagrama de acción perteneciente a la evaluación de la temperatura corporal (Figura 38):

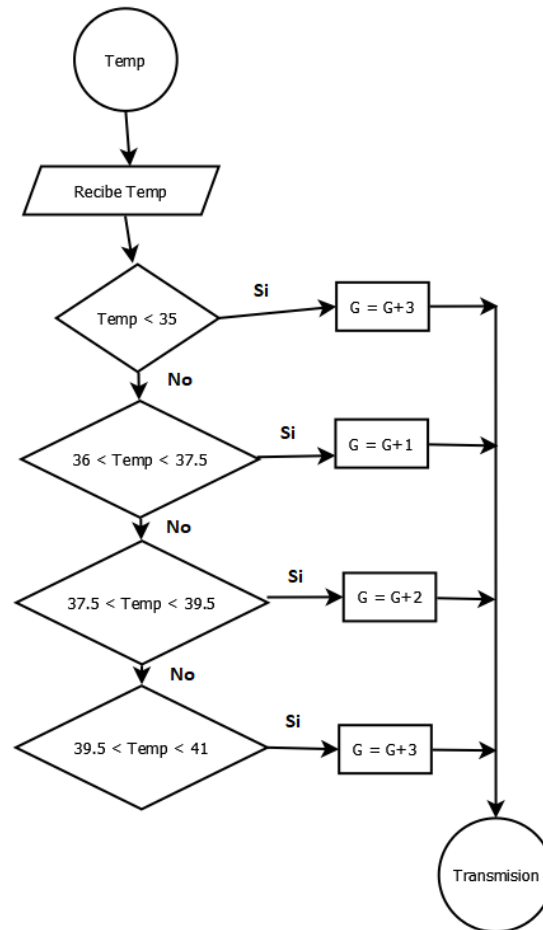


Figura 38. Sección de diagrama de acción para el cálculo de G: Temperatura Corporal.

En la Figura 39 se observa el final del diagrama de acción del sistema. Una vez que se realizó la evaluación de cada signo vital del paciente, y que se obtuvo un G representativo de la gravedad total del paciente, el sistema debe realizar la negociación y otorgar la calidad de servicio que corresponda a cada paciente. El diagrama considera que la negociación se llevó a cabo y que el resultado del tipo de servicio con el que se debe transmitir la información del paciente es informado a través de la variable SD, al Agente/Concentrador. La primera variable para evaluarse en este diagrama de acción es la variable T, la cual nos permitirá discernir si la información de este paciente debe transmitirse o no. En el caso que la variable T se encuentre en modo de transmisión se recibirá SD y la información se transmitirá con la calidad de servicio indicada por esta variable.

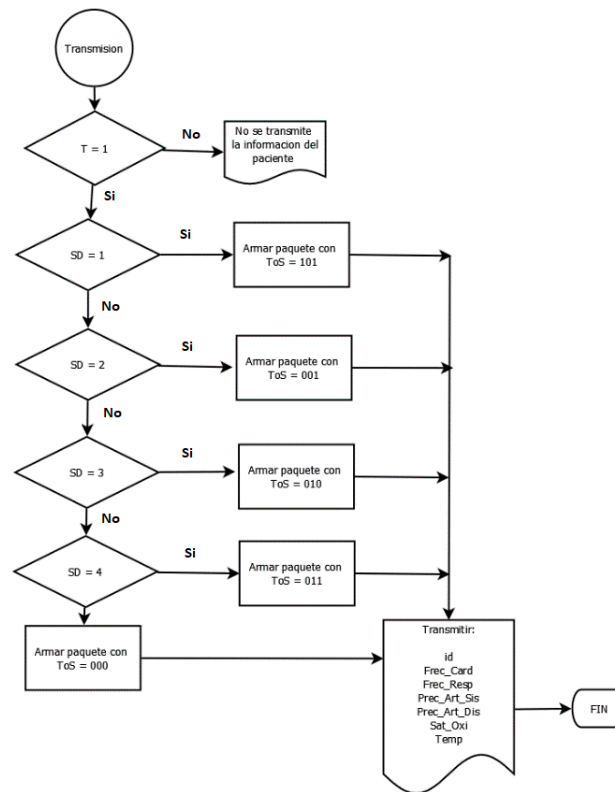


Figura 39. Diagrama de acción para el otorgamiento de tipo de servicio.

4.3.3. Agente/HospitalLocal

El Agente/HospitalLocal es el agente que se encuentra en el router de salida del hospital, el cual es encargado de concentrar la información de los pacientes que se encuentran alojados dentro del hospital. La información contenida en este agente se enviará posteriormente a un agente llamado Agente/HospitalCentral, para que este realice la repartición de recursos. Por lo que le corresponde a este agente colocar una etiqueta de identificación H, a la información de sus pacientes para poder conocer el hospital de procedencia de cada paciente, una vez que se encuentren dentro del hospital central.

Modelo de Agente/HospitalLocal=<Id, H, G, SD, SDNew, ECN>

donde:

- ID: Nombre del paciente

- H: Nombre del hospital
- G: Gravedad del paciente
- SD: Servicio diferenciado actual
- SDNew: Servicio diferenciado para actualizar

4.3.4. Agente/HospitalCentral

El Hospital/Central es el hospital encargado de crear la tabla Entorno de Red. Esto debido a que la negociación se realizará de forma centralizada, basándonos en la información contenido en la tabla de entorno de red. La información contenida en la tabla de entorno de red pertenece a los hospitales locales, en los que se encuentran alojados los pacientes.

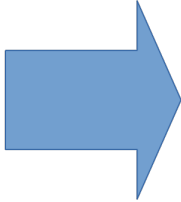
4.3.5. Agente/Entorno de red

El Agente/EntornoDeRed es el encargado de realizar la negociación de los recursos de red. Para lograr esto necesita realizar unos cuantos pasos antes de realizar la negociación, esto con el propósito de realizar un preprocesado de los datos con los cuales cuenta. Básicamente lo que se hace antes de correr la negociación sobre los datos, es identificar a los pacientes que se encuentran muertos o son insalvables por algún tratamiento. Además de también identificar a los pacientes que se encuentran en estado crítico, y son rescatables, para apartar un tipo de servicio que asegure la calidad e integridad de la transmisión de los datos de estos pacientes.

En la Figura 40 podemos observar el mapeo que se realiza entre los códigos disponibles en servicios diferenciados, y el sistema de triage que nosotros utilizaremos para la clasificación de los pacientes. Esta tabla de clasificación triage sigue en esencia al sistema de triage internacional, con la diferencia de que se agregó una clasificación de color naranja, entre la clasificación rojo y amarillo, a éste se le asignó el tipo de prioridad dos , esto con el propósito de tener a pacientes delicados que puedan tener

tiempos de espera mayores a los de un paciente crítico, pero menores a los de una atención mediata.

Código DiffServ	Descripción
111	Permanece igual
110	Permanece igual
101	Express Forwarding
100	Clase 4
011	Clase 3
010	Clase 2
001	Clase 1
000	Mejor esfuerzo



Prioridad	Descripción	Código DiffServ
1	Críticos	101 (EF)
2	Peligro a ser críticos	001 (Clase1)
3	Atención pronta	010 (Clase2)
4	Lesiones menores	011 (Clase3)
5	Muerto/no rescatable	No se realiza transmisión

Figura 40. Mapeo entre los códigos de Servicios Diferenciados y la implementación de nuestro triage hospitalario.

Los pacientes que sean clasificados en la prioridad 5, representada por el color negro, se excluirán de la negociación. Esto debido a que los pacientes que sean clasificados dentro de esta prioridad no deberán transmitir su información a través de la red. La manera de que el sistema pueda discernir a estos pacientes se da por medio de la variable T, al encontrarse el sistema con un signo vital que anuncie la muerte del paciente. Mientras que aquellos pacientes que se encuentren con un G mayor a 15, y no se haya detectado ningún parámetro que indique que el paciente se encuentre muerto o no sea rescatable, se clasificarán dentro de la prioridad 1. Por lo que el protocolo de negociación se encargará de repartir los recursos restantes entre el resto de los pacientes.

4.3.6. Negociación

Identificados a los pacientes a los que se les apartaran recursos, y aquellos que no es necesario se transmita su información a través de la red, se requiere ordenar a los pacientes de mayor gravedad a menor gravedad. Esto es sencillo de realizar debido a que es ese el propósito por lo que se calculó G en el Agente/Concentrador en principio. El tipo de juego que se escogió para realizar la negociación es un juego de forma extensiva, lo que significa que las acciones de un jugador afectan en las decisiones del próximo jugador a realizar sus movimientos. Por esta razón la importancia

de ordenar los pacientes de mayor a menor gravedad, debido a que cada paciente tomará el ancho de banda que necesite, y que pueda brindarle la red. Conforme más jugadores hayan realizado sus movimientos, los recursos disponibles en la red irán disminuyendo.

La Figura 41 muestra el algoritmo utilizado para ordenar a los pacientes de mayor a menor gravedad, basándonos enteramente de la variable G. Este algoritmo es la secuencia de instrucciones que se deben seguir para llevar a cabo el ordenamiento de listas mediante funciones, en una hoja de cálculo. Se requiere este algoritmo debido a que la hoja de cálculo es controlada por el Agente/HospitalCentral. Básicamente, en el algoritmo, los pacientes se jerarquizan según el valor de G y posteriormente son acomodados en orden basándose en esta jerarquización.

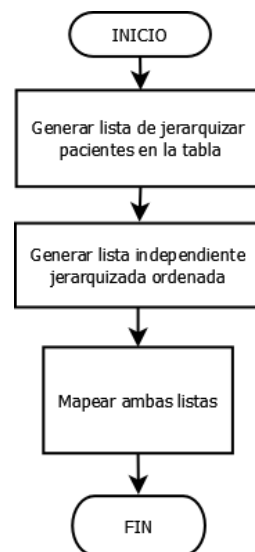


Figura 41. Diagrama de flujo para el SORT en las hojas de cálculo.

En la Figura 42 se muestra el protocolo de negociación. Para éste se utiliza un juego de forma extensiva, mientras que los movimientos que realizarán los pacientes para la toma de los recursos que necesitan, se realizarán utilizando estrategias dominantes. La única condición que restringe a un paciente de poder tomar un tipo de servicio es que éste no se encuentre disponible, entonces el paciente tomará el siguiente tipo de servicio que le brinde la mayor calidad de servicio que se encuentre disponible en la red.

En la figura los pacientes estas representados por P1, P2, P3, P4, etc. Mientras que

las acciones que puede realizar están representadas por 4 líneas; La línea azul significa que el agente ha tomado los servicios de EF, el amarillo los servicios de C1, el gris los de C2 y los naranjas los de C3. Es importante recalcar que conforme los pacientes vayan tomando los recursos que necesiten, el ancho de banda irá disminuyendo en la red.

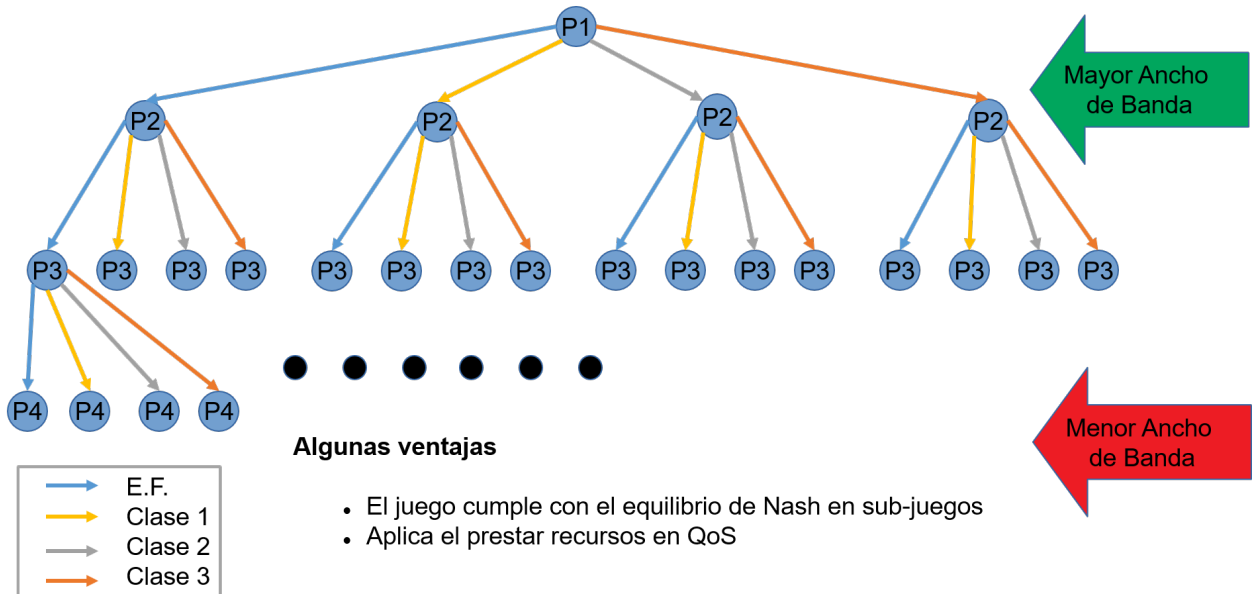


Figura 42. Protocolo de negociación de forma extensiva por sub-juegos dominantes.

Los pacientes que no alcancen a recibir un tipo de servicio de los que tiene disponible la red, saldrán de la negociación y le serán entregados el tipo de servicio de mejor esfuerzo para su transmisión.

La siguiente ecuación es el modelado computacional del entorno de red, en donde las variables EF, C1, C2 y C3, son las variables que nos permiten sentir el estado del entorno. La variable SD_New será la variable donde se guardará el tipo de servicio otorgado a cada paciente.

$$\text{Modelo de Tabla/Entorno} = \langle \text{Id}, H, G, \text{SDNew}, EF, C1, C2, C3 \rangle$$

donde:

- ID: Nombre del paciente
- H: Hospital/Local del cual proviene el paciente

- G: La gravedad del paciente
- SDNew: Servicio diferenciado otorgado
- EF: Cantidad de paquetes de EF
- C1: Cantidad de paquetes de AF1
- C2: Cantidad de paquetes de AF2
- C3: Cantidad de paquetes de AF3

En la Figura 43 se muestra el diagrama de acción del protocolo de negociación, este explica el algoritmo utilizado para la repartición de los servicios siguiendo el juego de forma extensiva, y los tipos de servicio disponible en la red.

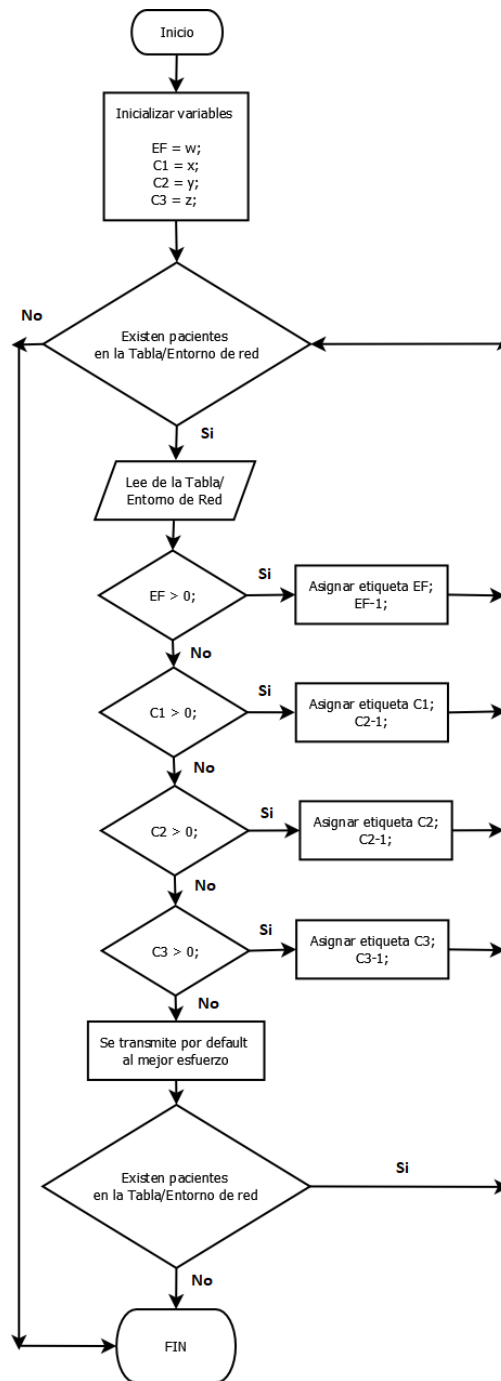


Figura 43. Diagrama de acción para la clasificación de los pacientes

4.3.7. Configuración de OMNET++

La red simulada en OMNET++ cuenta básicamente con tres de los elementos proporcionados por el marco de desarrollo Inet, estos son:

- **StandarHost:** Este módulo Inet es un host IPv4 que cuenta con las capas y aplicaciones SCTP, TCP y UDP. El reenvío en IP se encuentra deshabilitado de forma determinada. Este módulo se encuentra configurado de forma determinada para representar el nodo de una red cableada, utilizando puertos tipo ethg de OM-NET++. En la presente tesis se utilizó este módulo para representar tanto a los pacientes como a los equipos de telemonitoreo. También se representó un cliente y un servidor para insertar tráfico de fondo utilizando UDP como protocolo de transmisión.
- **EtherSwitch:** Este módulo es un switch en internet, este debe configurarse de acuerdo al tipo de arquitectura que utilice nuestra red. Por defecto este módulo utiliza half-duplex CSMA/DC en la capa MAC. Éste se utilizó en la tesis para interconectar a los pacientes con el router de salida del hospital.
- **Router:** El módulo router acepta interfaces inalámbricas, Ethernet, y PPP. De manera predeterminada el router acepta conexiones alámbricas tipo full-duplex, simulando cable de par trenzado. La cantidad de entradas de este router depende de las conexiones tipo Ethernet y PPP que existan en el router, es decir, que el router genera un puerto tipo Ethernet o PPP al momento de realizar una conexión a éste. En la tesis se utilizaron como dispositivos de entrada-salida de los hospitales, además de representar la nube de Internet con uno de estos.

También se utiliza un cuarto módulo llamado IPv4NetworkConfigurayot, este módulo realiza por defecto una configuración automática de las tablas de direcciones y de enrutamiento de los elementos que se utilizan en la red que creamos. Este módulo también admite configuraciones manuales especificando el parámetro y el dispositivo en particular que desea configurarse, esto se especifica mediante un archivo XML. El módulo se encarga de realizar las configuraciones especificadas y configurara el resto de la red de forma automática, por lo que no es necesario hacer una configuración completa de la red al activar el modo manual, sino que solo es necesario especificar los parámetros que necesitamos y el módulo se encargará de realizar el resto de la configuración por sí mismo.

Capítulo 5. Escenario y Resultado

5.1. Hospitales San Quintín - Ensenada

A continuación, se muestran los resultados de un escenario donde se simuló enviar información de pacientes que se encuentran en un hospital de San Quintín a un hospital localizado en la ciudad de Ensenada. Ambos hospitales pertenecientes al municipio de Ensenada, Baja California.

Este escenario toma en cuenta que el hospital de San Quintín es de nivel 1, mientras que el hospital de la ciudad de Ensenada es de nivel 2. Por lo que se pretende que los médicos pertenecientes a la ciudad de Ensenada brinden apoyo a médicos y enfermeros del hospital de San Quintín, por medio de equipo de telemonitoreo.

La Figura 44 muestra la red que se simuló en OMNET++. En esta simulación se tiene un equipo de telemonitoreo en Ensenada por cada paciente que está siendo monitoreado en San Quintín. Cada paciente perteneciente a San Quintín está representado por un nodo que tiene la figura de una persona, este nodo está configurado como un StandarHost en OMNET++. Todos los pacientes están conectados a un Switch, llamado SwithsSQ que a su vez está conectado al RouterSQ. Este es el router de salida del hospital de San Quintín. El RouterSQ entra a la nube de Internet, este es representado por un router al que no se le implementó el protocolo de servicios diferenciados, esto con la intención de imitar la posibilidad de que algún router por los que viaja la información no cuente con este protocolo habilitado. La nube tiene una salida hacia el router de entrada al hospital de la ciudad de Ensenada, RouterEns. El RouterEns va hacia el SwitchEns, al que están conectados los equipos de monitoreo que despliegan la información de los pacientes de San Quintín. Los equipos de telemonitoreo que se encuentran en la ciudad de Ensenada están configurados como StandarHost y se representan gráficamente por una pantalla.

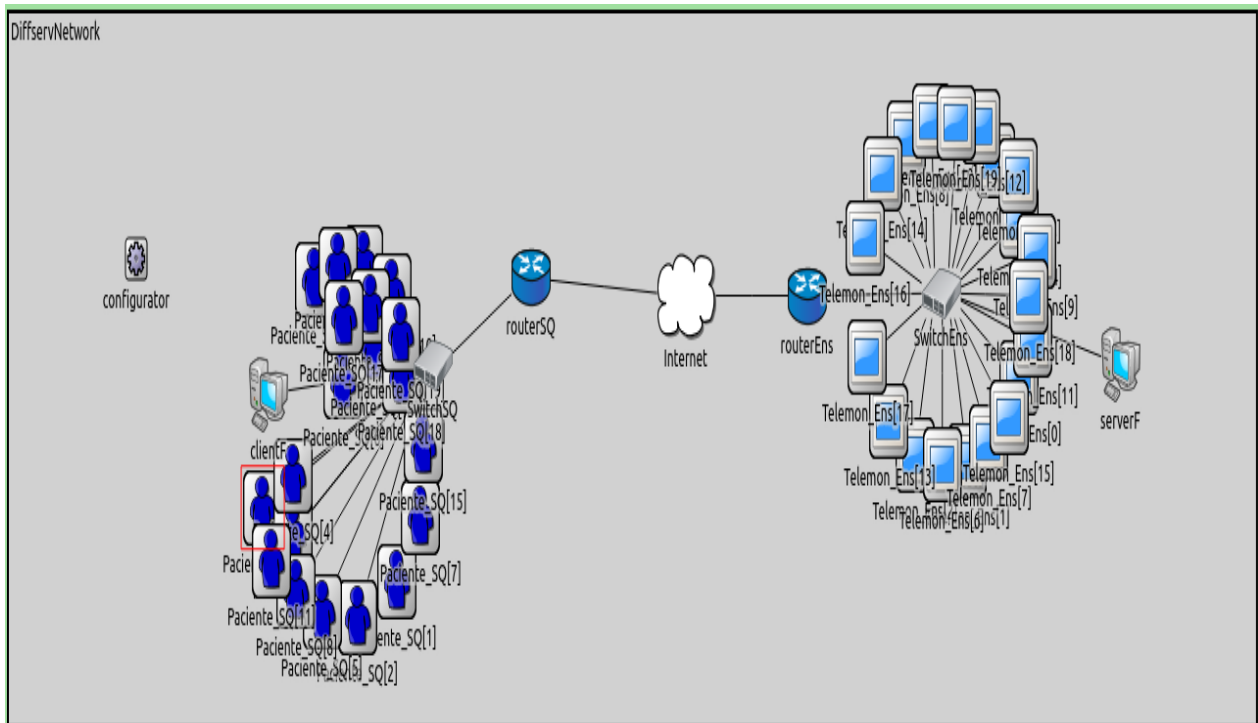


Figura 44. Red hospitalaria entre San Quintín y Ensenada simulada en OMNET++.

En ambos extremos de la Figura 44 también se pueden observar dos computadoras llamadas *clientF* y *serverF*, una en el hospital de San Quintín y otra en el hospital de la ciudad de Ensenada, respectivamente. Estas máquinas son las encargadas de insertar el tráfico de fondo a la red enviando paquetes tipo UDP, desde el *clientF* hasta el *serverF*.

La Tabla 6 fue creada por los agentes *Paciente*, *Agente/Paciente* pertenecientes al hospital de San Quintín, y el agente *HLSQ* (hospital Local de San Quintín). Esta tabla es el entorno de red que se encuentra en el hospital central. Esta tabla muestra cómo es que se encuentra la tabla antes de correr el protocolo de negociación sobre ésta. Es importante mencionar que esta tabla se genera desde la capa de aplicación de nuestro sistema, por lo que en la Figura 48 (Capa física del sistema) no se observa el hospital central, debido a que éste no transmite una vez realizada la negociación.

Tabla 6. Tabla de pacientes locales del hospital de San Quintín

Hospital	Paciente	Frec_Card	Frec_Resp	Prec_Art_Sis	Prec_Art_Dis	Sat_Oxi	Temp	G	T
HLSQ	Miranda	124	18	160	116	69	40	15.001	1
HLSQ	Armando	172	22	121	82	77	36	13.002	1
HLSQ	Valeria	78	38	179	101	81	40	15.003	1
HLSQ	Daniella	161	32	190	124	78	37	16.004	1
HLSQ	Carmen	85	18	129	82	90	40	10.005	1
HLSQ	Fabian	77	18	104	30	96	40	7.006	1
HLSQ	Ricardo	158	10	148	108	74	37	15.007	1
HLSQ	Ada	177	16	190	123	55	38	15.008	1
HLSQ	Sebastian	148	20	195	121	89	39	14	1
HLSQ	Elsa	205	40	125	83	92	36	11.01	1
HLSQ	Alonzo	93	35	110	78	94	40	10.011	1
HLSQ	Raul	178	32	165	109	60	37	15.012	1
HLSQ	Veronica	73	46	157	108	89	40	14.013	1
HLSQ	Lorenzo	189	42	156	95	83	36	15.014	1
HLSQ	Aurora	155	29	154	97	50	36	15.015	1
HLSQ	Victor	135	14	194	120	53	37	14.016	1
HLSQ	Laura	107	23	128	84	68	37	13.017	1
HLSQ	Gabriela	73	8	138	88	78	36	12.018	1
HLSQ	Cesar	214	17	108	30	87	37	9.019	1
HLSQ	Serena	163	40	192	131	92	40	16.02	1

5.1.1. Clasificación de pacientes

En la Tabla 7 se puede observar la tabla anterior una vez que se ha realizado la negociación. En esta tabla se observa que los pacientes que contiene han sido acomodados en orden con respecto a la gravedad del paciente (G), de mayor a menor. También se observa una nueva columna que se agregó, llamada "criticidad". Esta es una variable que funciona para apartar servicios a los pacientes que tienen una gravedad superior a 16. La columna "DiffServ" es la variable en donde se guarda el tipo de servicio que los agentes han otorgado a cada uno de los pacientes.

Tabla 7. Tabla resultado de la repartición de recursos

Posición	Hospital	Paciente	G	T	Criticidad	DiffServ
1	HLSQ	Serena	16.02	1	1	EF
2	HLSQ	Daniella	16.004	1	1	EF
3	HLSQ	Aurora	15.015	1	0	EF
4	HLSQ	Lorenzo	15.014	1	0	C1
5	HLSQ	Raul	15.012	1	0	C1
6	HLSQ	Ada	15.008	1	0	C1
7	HLSQ	Ricardo	15.007	1	0	C2
8	HLSQ	Valeria	15.003	1	0	C2
9	HLSQ	Miranda	15.001	1	0	C2
10	HLSQ	Victor	14.016	1	0	C2
11	HLSQ	Veronica	14.013	1	0	C3
12	HLSQ	Sebastian	14	1	0	C3
13	HLSQ	Laura	13.017	1	0	C3
14	HLSQ	Armando	13.002	1	0	C3
15	HLSQ	Gabriela	12.018	1	0	C3
16	HLSQ	Elsa	11.01	1	0	BE
17	HLSQ	Alonzo	10.011	1	0	BE
18	HLSQ	Carmen	10.005	1	0	BE
19	HLSQ	Cesar	9.019	1	0	BE
20	HLSQ	Fabian	7.006	1	0	BE

La gráfica de la Figura 45 se muestra la relación entre los pacientes y la gravedad de éstos. En la gráfica se puede observar una línea de color naranja, esta línea indica la gravedad a partir de que los pacientes son considerados en estado crítico, por lo que se les otorga el tipo de servicio correspondiente para prioridad 1, a los pacientes que se encuentren en este estado se les otorgara el tipo de servicio EF en servicios diferenciados. Aquellos pacientes que se encuentren por debajo de este límite entraran en la negociación para competir por el resto de los recursos de la red. En la tabla se puede observar que Daniela y Serena se encuentra sobre la línea de color naranja, por lo que recibirán una etiqueta EF cada una de ellas. También se tiene un tipo de servicio EF perteneciente a Aurora, el cual fue asignado durante la negociación, esto debido a que al entorno se le dio la capacidad de entregar un tipo de servicio EF durante la negociación.

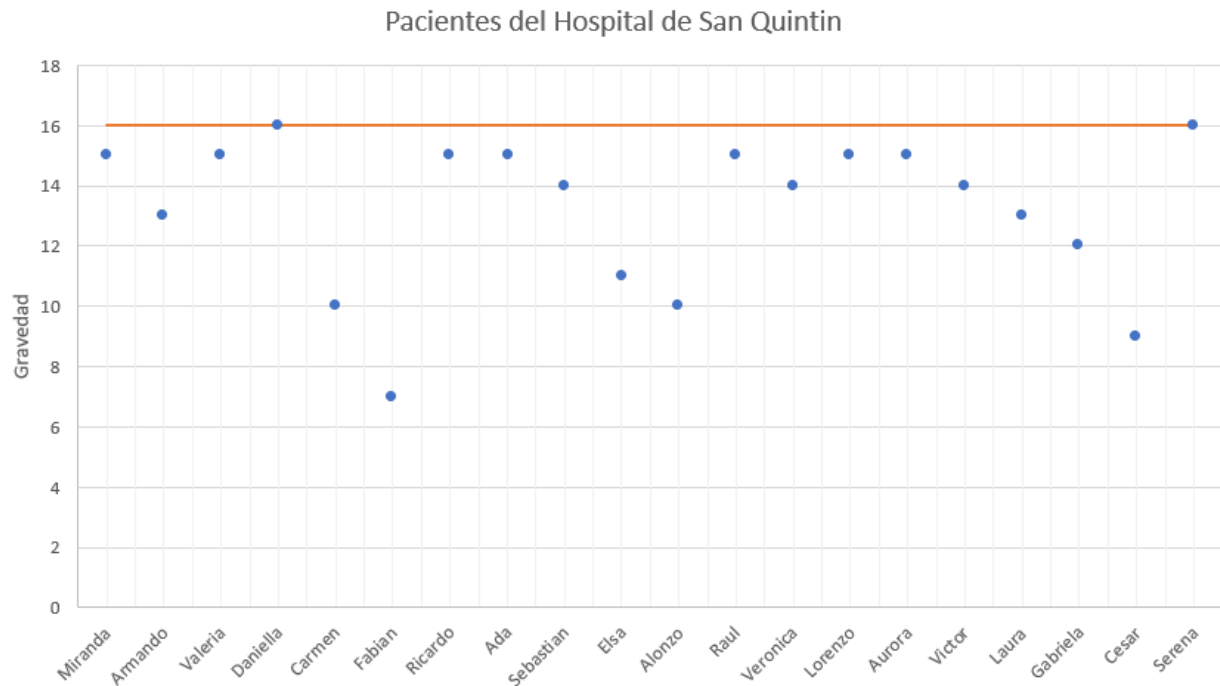


Figura 45. Relación entre los pacientes basado en la gravedad.

5.1.2. QoS de los pacientes

A continuación, se muestran los resultados obtenidos una vez realizada la simulación en OMNET++ con los datos obtenidos en las tablas de las figuras 46 y 47. Es importante mencionar que para la simulación es realizada desde el nodo del Agente/Paciente al equipo de telemonitoreo. Esto debido a que en la simulación se evalúa considerando que la comunicación entre los sensores y el Agente/Paciente ya fue llevada a cabo, y que, a partir de este punto, el resto de la transmisión se realizará utilizando el protocolo Ethernet. Esto debido a que la presente tesis trabaja en exponer la idea de un sistema que pueda clasificar pacientes para otorgarles calidad de servicio, dejando el trabajo sobre el análisis del intercambio de protocolo para otros trabajos de tesis. La presente tesis tampoco considera el ensamblado de un tipo de información específica en el nodo final de la transmisión, sino que se centra en medir los parámetros de calidad de servicio de cada paciente con respecto al resto una vez entregado el tipo de servicio por la negociación. Por lo que se decidió tomar un protocolo de stream proporcionado por OMNET++ para poder analizar qué pasa con estos parámetros al ser transmitida. Específicamente se utilizó un stream de audio como

datos para poder medir los parámetros.

El entorno de desarrollo OMNET++ no nos ofrece herramientas de gestión de redes en la que podamos visualizar o tomar información que nos permita conocer qué tan congestionada se encuentra la red, por lo que se decidió variar la tasa de transmisión de las líneas existentes entre los routers. Esto permite lograr diferentes niveles de la congestión de manera más sencilla, sin agregar más nodos a la red, o colocando tráfico de fondo exagerado en ClienteF y ServerF.

Los valores seleccionados se hicieron mediante prueba y error. Los valores que hacían notar una diferencia lo suficientemente notable para realizar nuestras lecturas fueron las velocidades de 2688kbits, 2048kbits, 1024kbits y 768kbits. Estos presentados de mayor a menor debido que al tener una mayor velocidad de canal existe menos congestión en la red, y al tener una menor velocidad de canal la congestión aumenta, si se mantiene el mismo tráfico en ambos casos.

Velocidad de Canal 2688k

Telemon_Ens[0] Primero analizaremos la gráfica vectorial del retardo de la Figura 46 para el equipo Telemon_Ens[0], en esta gráfica se puede observar que la transmisión se lleva a cabo a una velocidad de 50 ms constantes y no se tiene pérdida de paquetes.

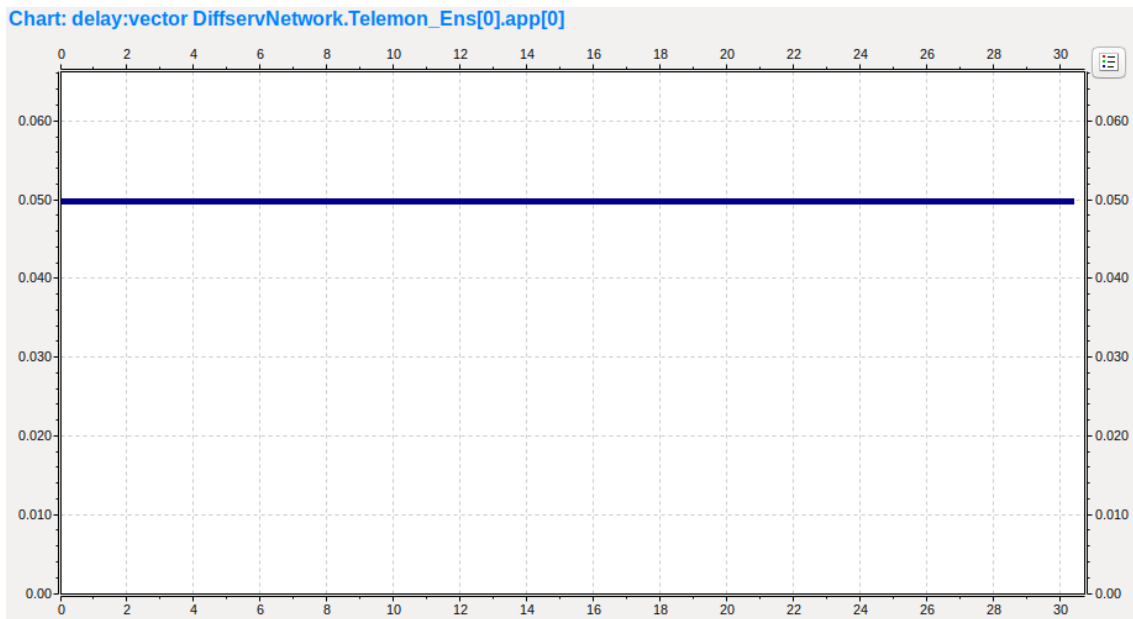


Figura 46. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.

La Figura 47 muestra la gráfica de la misma transmisión, pero implementando servicios diferenciados. Esta gráfica comparada con la anterior (Figura 46) no presenta cambio alguno. Es importante recordar que el equipo de Telemon_Ens[0] está asignado a Serena, por lo que de acuerdo nuestra tabla está cuenta con un tipo de servicio EF.

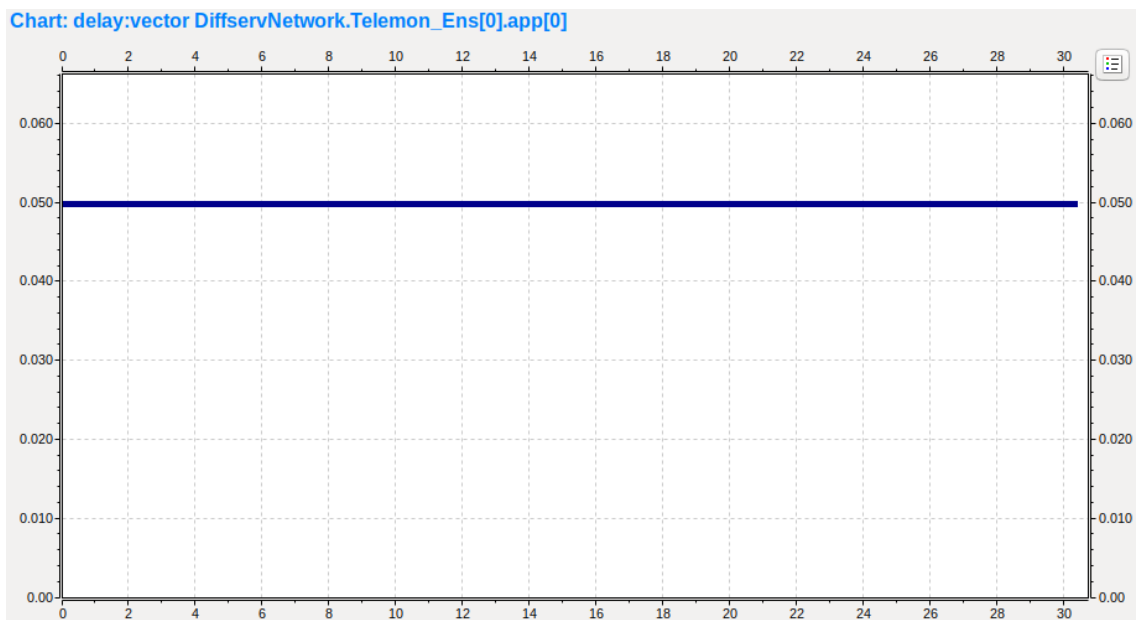


Figura 47. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[12] La siguiente gráfica (Figura 48) pertenece al equipo de Telemon_Ens[12]. En la gráfica se puede observar que al igual que las gráficas anteriores se tiene un valor constante de 50 ms de delay, no se presenta Jitter ni pérdida de paquetes al transmitir sin servicios diferenciados. La integridad de las transmisiones para los equipos de TelemonEns del 0 al 11 permanecieron prácticamente iguales, haciendo notar un cambio significativo en este mismo equipo de Telemon_Ens[12] pero al realizar la transmisión con servicios diferenciados.

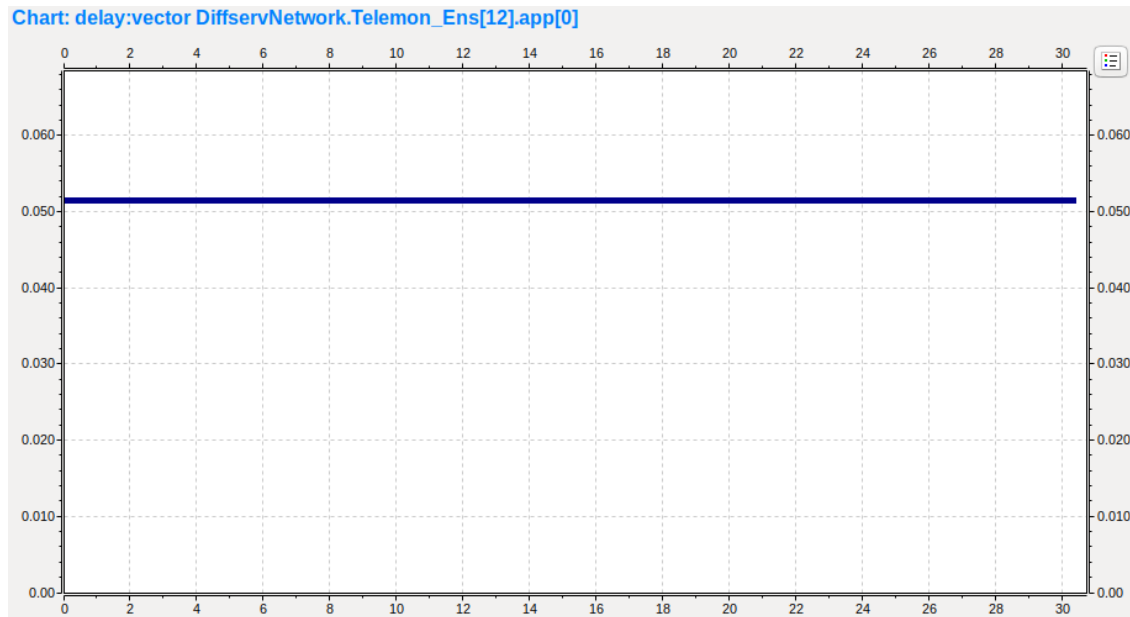


Figura 48. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[12] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.

Esta Figura 49 muestra la gráfica resultado de la transmisión del equipo de Telemon_Ens[12], trabajando con servicios diferenciados. En se puede observar la gráfica presenta menor retardo, pero se presenta jitter en esta. Es importante mencionar que este nodo transmitía la información perteneciente al paciente Laura a la que se le asignó un tipo de servicio C3.

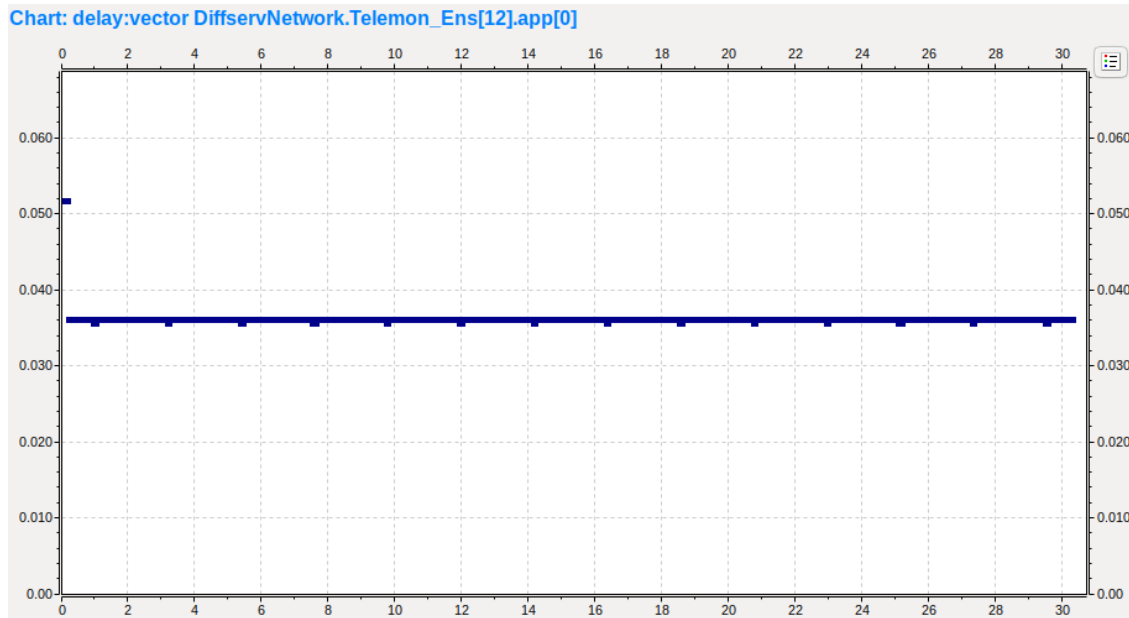


Figura 49. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[12] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.

TelemonEns_13 La Figura 50 presenta la gráfica perteneciente a la transmisión del equipo de Telemon_Ens[13] sin servicios diferenciados. Se observa que ésta se mantiene igual a las gráficas anteriores manteniendo el valor de 50 ms de retardo, sin presentar jitter ni pérdida de paquetes.

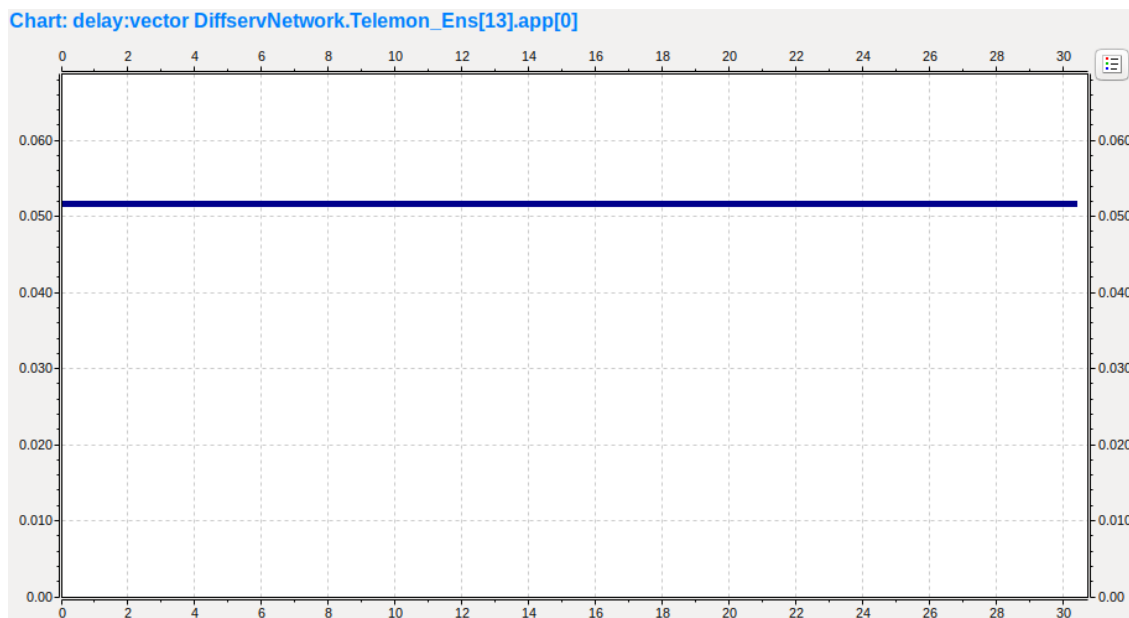


Figura 50. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[13] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.

En cambio, la Figura 51, muestra que al tener los servicios diferenciados activados se tiene un retardo en la transmisión de 40 ms. También se observa que al principio de la transmisión se presenta una variación en el retardo de 10 ms, y que existe una gran pérdida de paquetes. Este equipo de Telemon_Ens[13] recibe la información de Armando que cuenta un tipo de servicio C3.

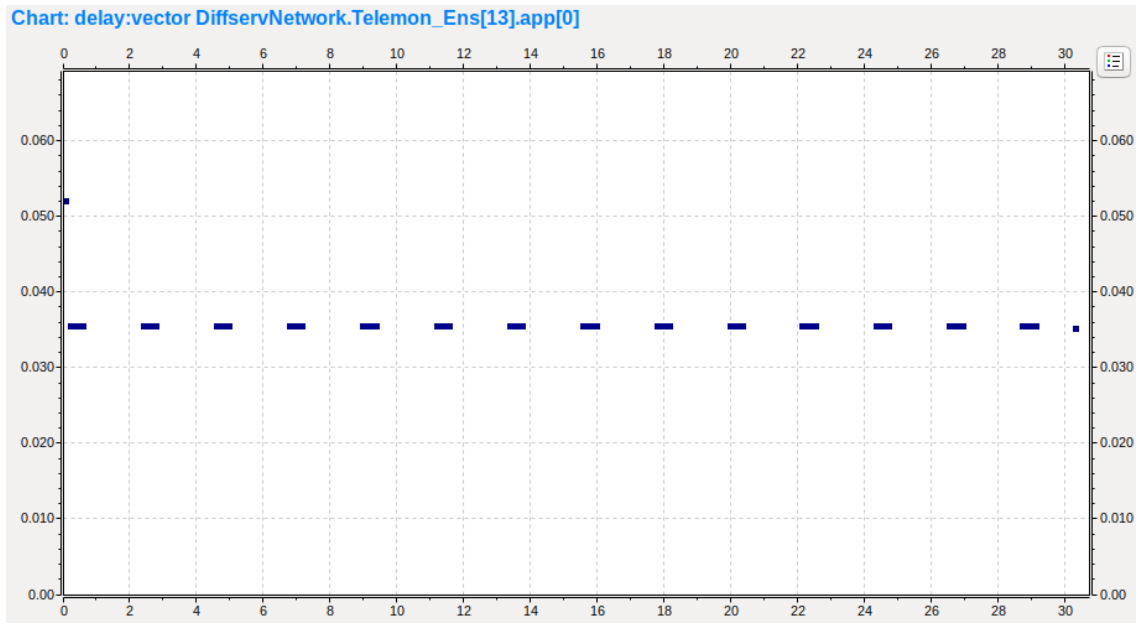


Figura 51. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[13] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[19] La Figura 52 muestra la gráfica del equipo Telemon_Ens[19] sin servicios diferenciados. Se observa que se continúa teniendo una transmisión limpia, sin problemas, presentando 50 ms de retardo, no variación en el retardo, ni pérdida de paquetes.

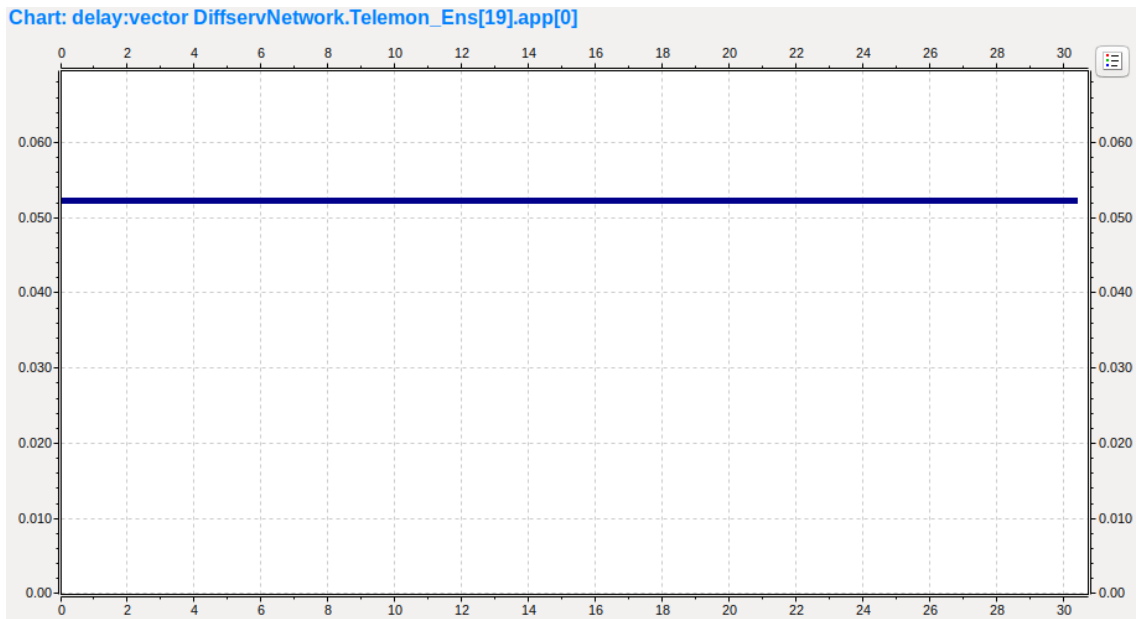


Figura 52. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2688k, sin Servicios Diferenciados.

En cambio, en el equipo de Telemon_Ens[19] con servicios diferenciados (Figura 53) se observa un comportamiento muy parecido al del equipo de Telemon_Ens[13] con servicios diferenciados. Presentando un retardo cerca de los 35 ms, con una variación de retardo al principio de la transmisión de 17 ms, y con pérdida de paquetes. Este equipo de Telemon_Ens[19] corresponde al paciente Fabian con el tipo de servicio BE.

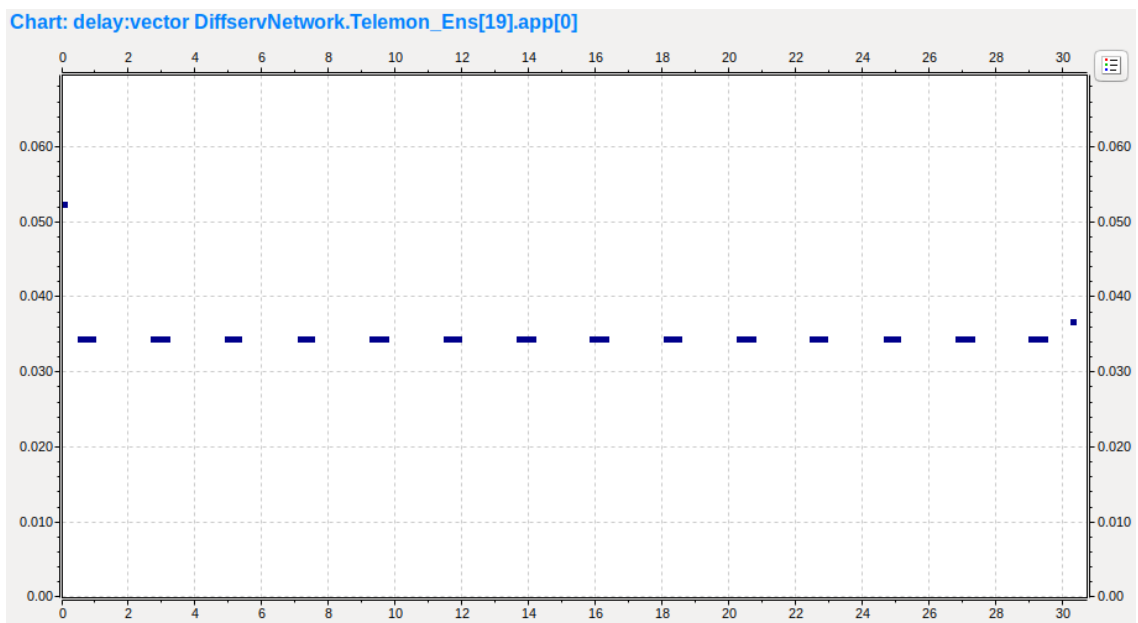


Figura 53. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2688k, con Servicios Diferenciados.

Velocidad de Canal 2048k

Telemon_Ens[0] Al disminuir la velocidad del canal, es decir, al aumentar la congestión de la red se obtuvo la gráfica para el equipo de Telemon_Ens[0] sin servicios diferenciados, mostrada en la Figura 54, tiene un retardo de 50 ms, y no presenta variación en el retardo, ni pérdida de paquetes.

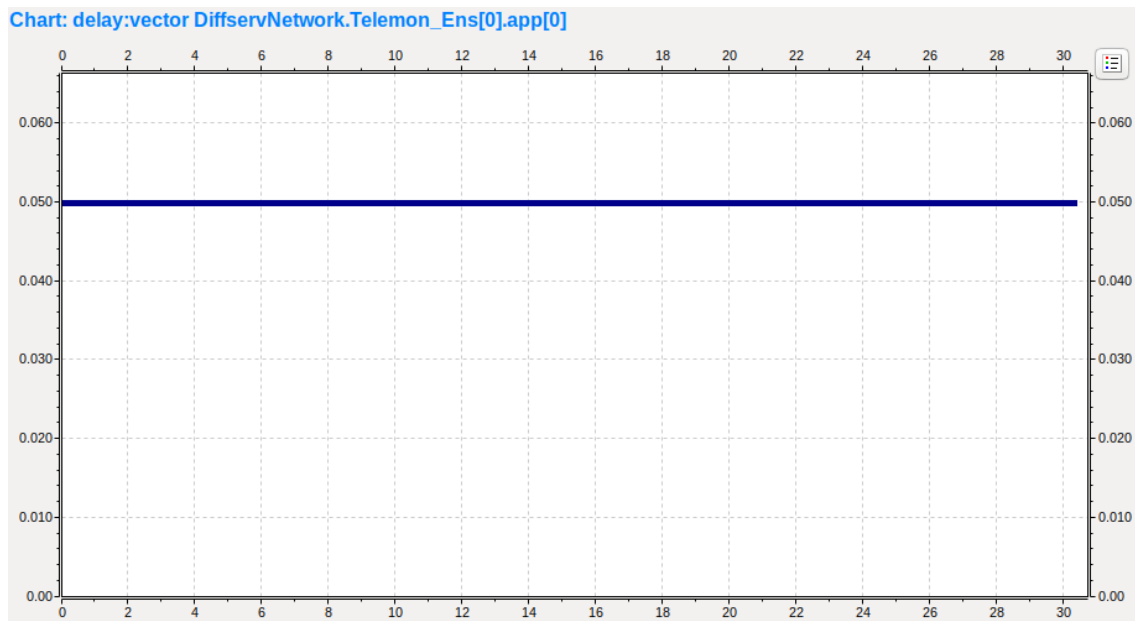


Figura 54. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2048k, sin Servicios Diferenciados.

Para este mismo equipo de Telemon_Ens[0] pero con calidad de servicio (Figura 55) presenta los mismos parámetros que su contraparte, sin implementación de servicios diferenciados. Este equipo de telemonitoreo pertenece a Serena, con un tipo de servicio EF.

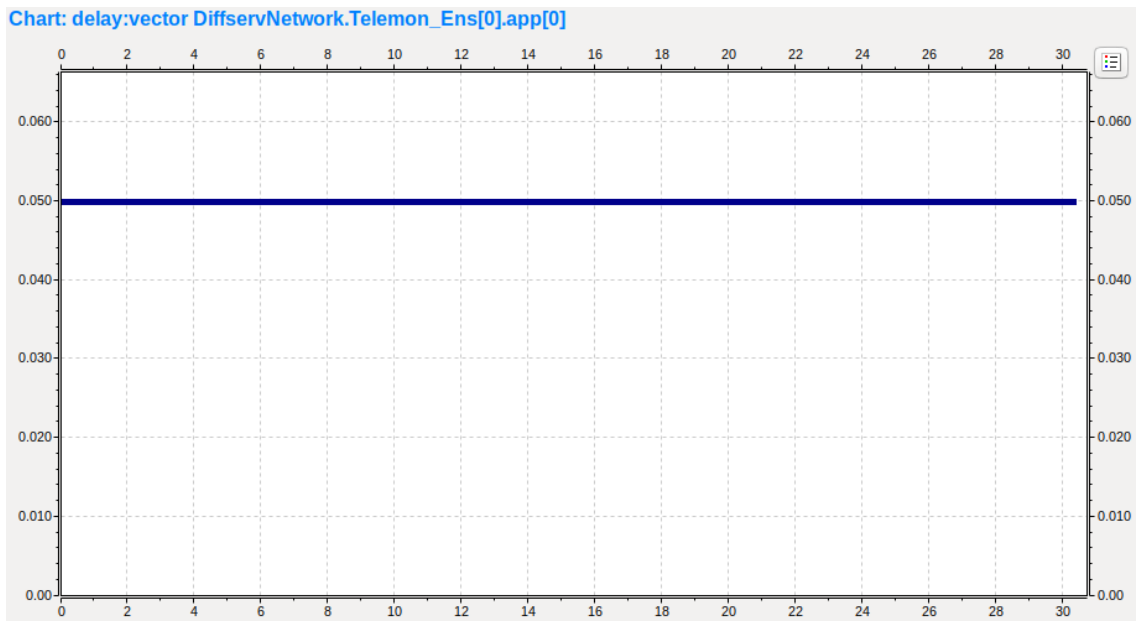


Figura 55. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[9] Al aumentar la congestión de la red, disminuyendo la velocidad de canal, se presentó el mismo comportamiento en los parámetros de calidad de servicio para los equipos Telemons_Ens del 0 al 8. A continuación se observa la gráfica resultante de la transmisión del equipo de Telemon_Ens[9] sin servicios diferenciados (Figura 56). En gráfica se puede observar que los parámetros se mantienen casi constantes, aunque aún así puede observar una diferencia muy pequeña entre equipo de Telemon_Ens[0] y el equipo Telemon_Ens[9], donde el ultimo tiene un retardo ligeramente mayor al primero.

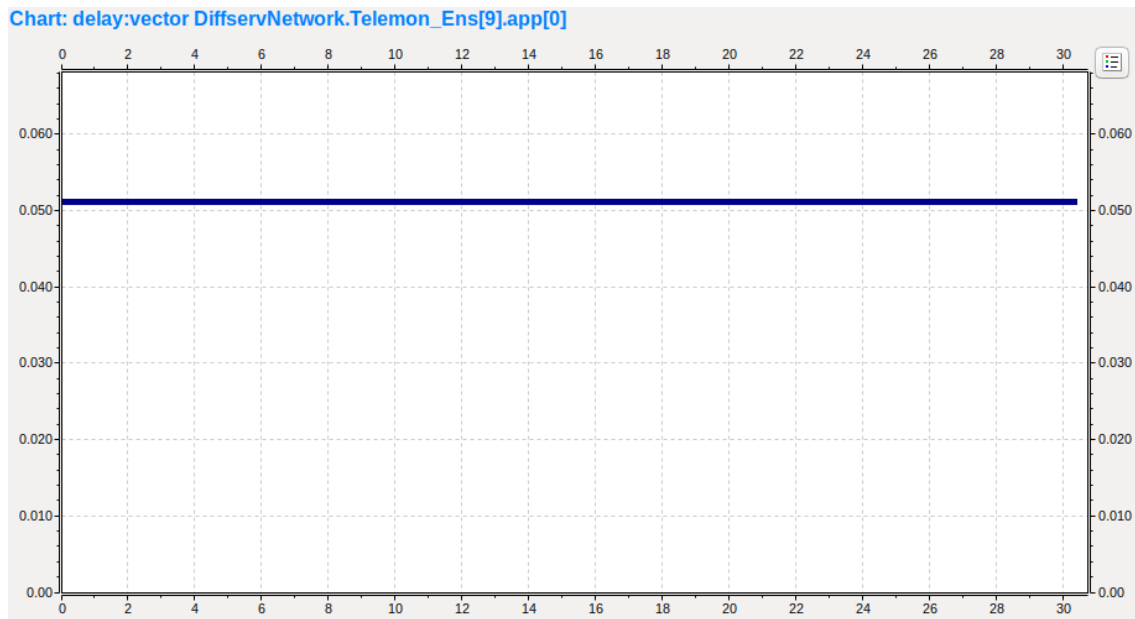


Figura 56. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[9] con velocidad de canal a 2048k, sin Servicios Diferenciados.

El comportamiento explicado en la gráfica anterior se presenta en los siguientes equipos de Telemon_Ens del 9 en adelante al no contar con servicios diferenciados habilitado. A continuación, se muestra la gráfica (Figura 57), donde se visualiza el valor máximo que alcanza el retardo en el equipo de Telemon_Ens[19] que pertenece a Fabian.

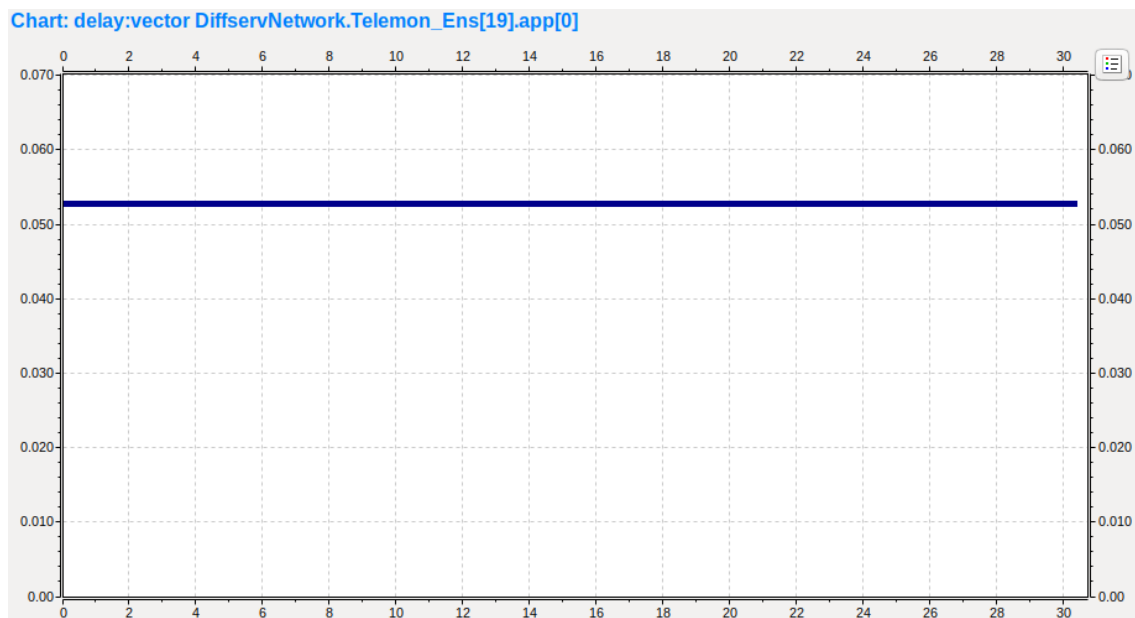


Figura 57. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2048k, sin Servicios Diferenciados.

En cambio, en la gráfica de nuestro equipo de Telemon_Ens[9] con servicios diferenciados (Figura 58) se observa nuevamente que el retardo es inferior a los 50 ms segundos, pero la transmisión presenta una gran cantidad de pérdida de paquetes. Esto a pesar de que este equipo de Telemon_Ens[0] recibe la información de Victor, al que se le asignó un tipo de servicio C2 durante la negociación.

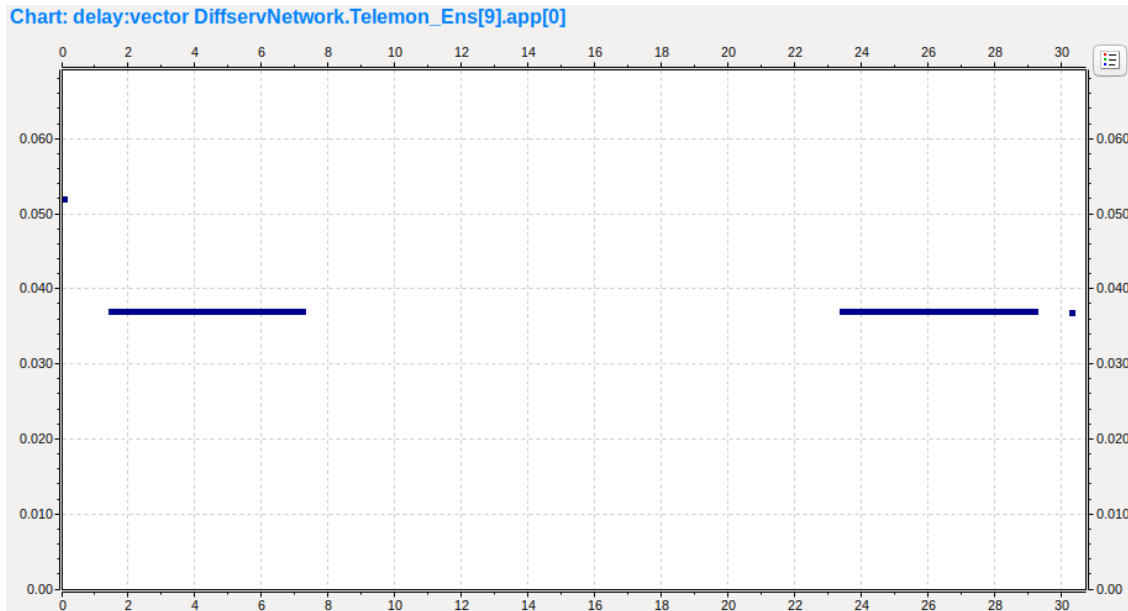


Figura 58. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[9] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.

Conforme vamos avanzando en la lista de nuestros pacientes, se puede observar que entre más abajo están en la lista de la tabla de entorno de red, más es afectada es la calidad de su transmisión. A continuación, se exponen las figuras 59, 60 y 61, que muestran las gráficas de los equipos de Telemon_Ens[10], perteneciente a Veronica, 15 perteneciente a Elsa, y 19 perteneciente Fabian. Estos cuentan con tipo de servicio C3, BE y BE, respectivamente.

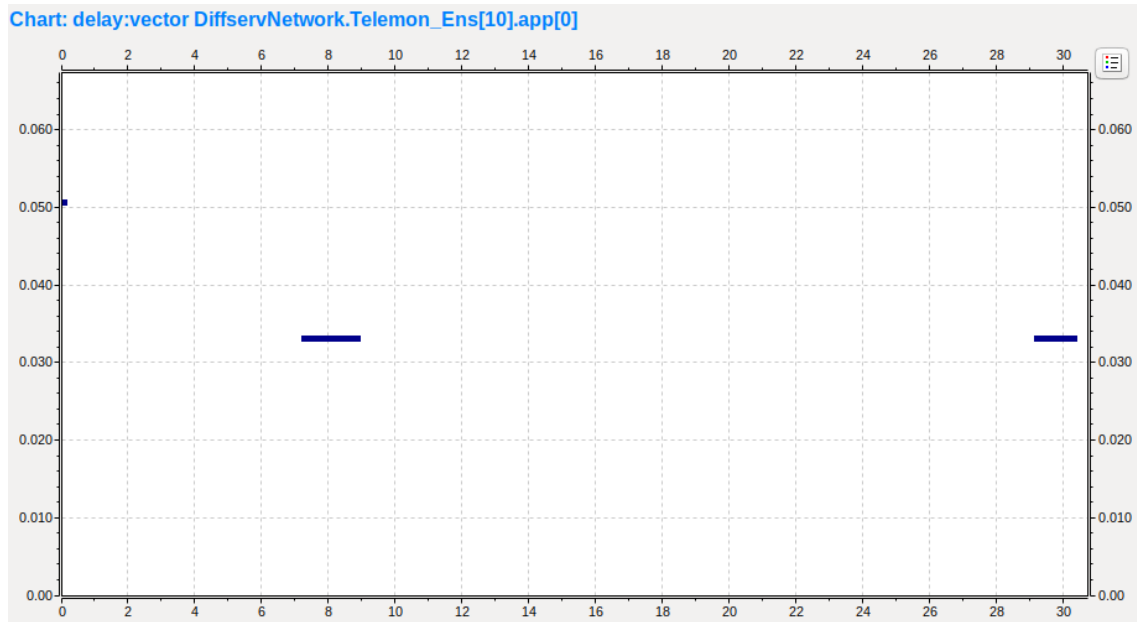


Figura 59. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[10] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.

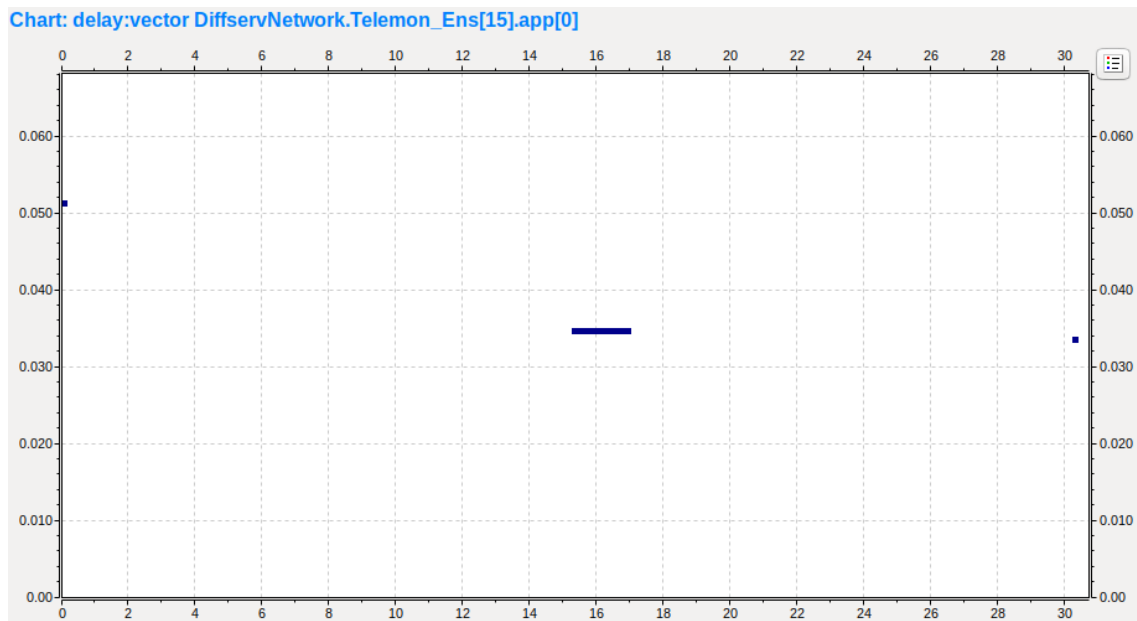


Figura 60. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[15] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.

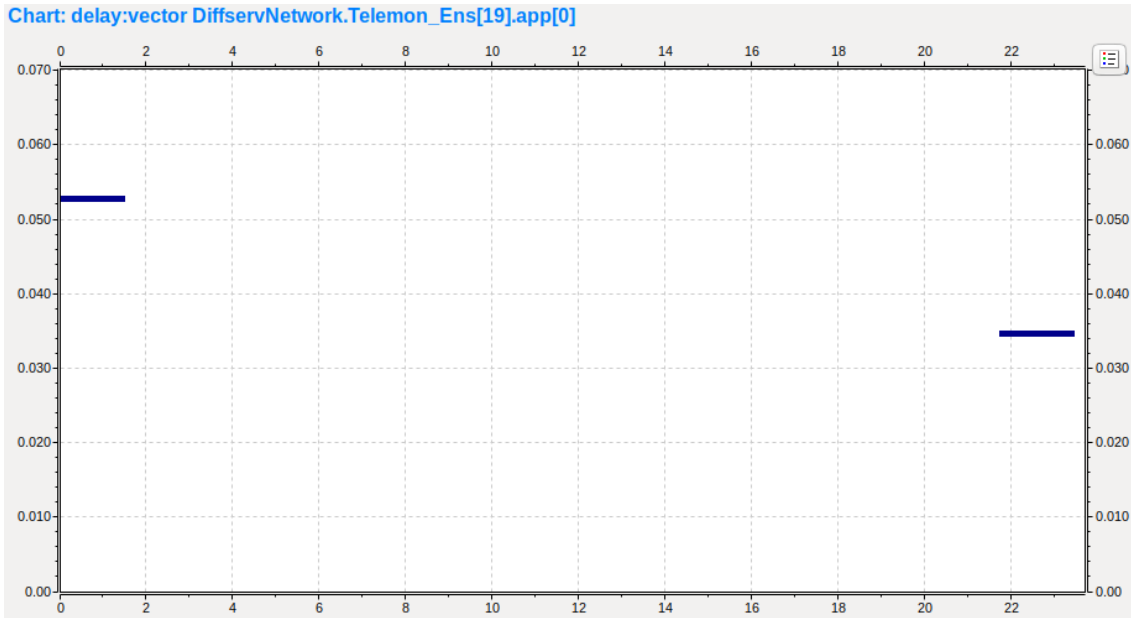


Figura 61. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[19] con velocidad de canal a 2048k, con Servicios Diferenciados.

Velocidad de Canal 1024k

Telemon_Ens[0] En la siguiente gráfica (Figura 62) se visualiza cómo es que recibió la información el equipo de Telemon_Ens[0] de Serena sin calidad de servicio, en este caso se observa que la congestión de la red es suficiente para tener un retardo a 200 ms, y una variación en el retardo que se presenta durante los primeros 5 segundos de transmisión, a partir de este tiempo la transmisión se queda en 200 ms estables de retardo.

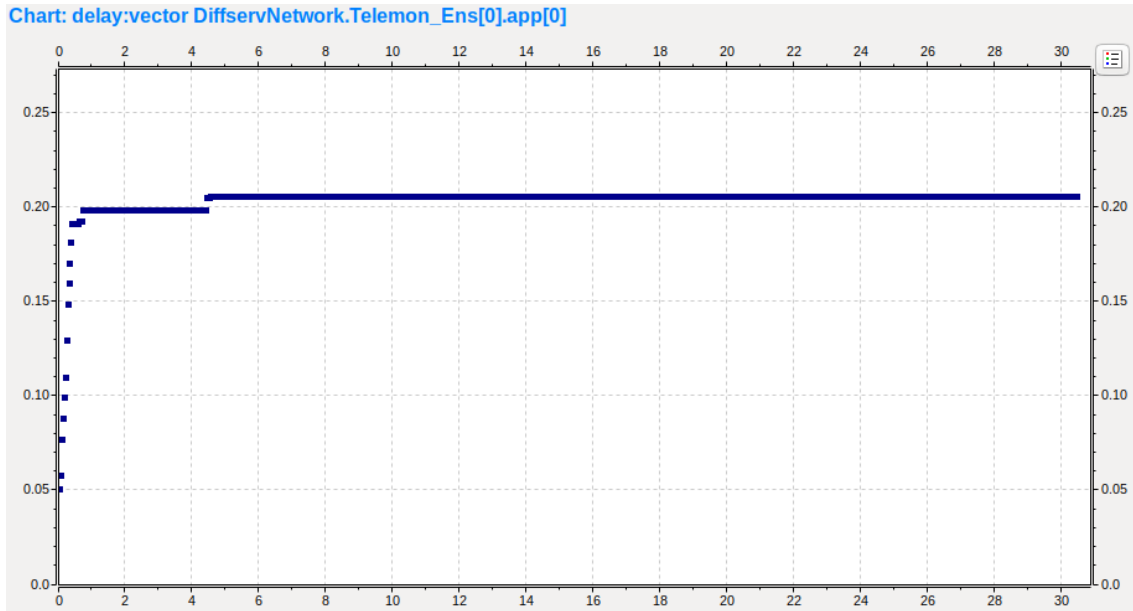


Figura 62. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.

Por el contrario, en la gráfica que muestra los resultados de Serena aplicando servicios diferenciados (Figura 63) se observa que el retardo es mucho menor, de algunos 85 ms aproximadamente, y que la transmisión tiene una ligera variación en el retardo al principio de la transmisión. El equipo transmite la información de Serena con tipo de servicio EF.

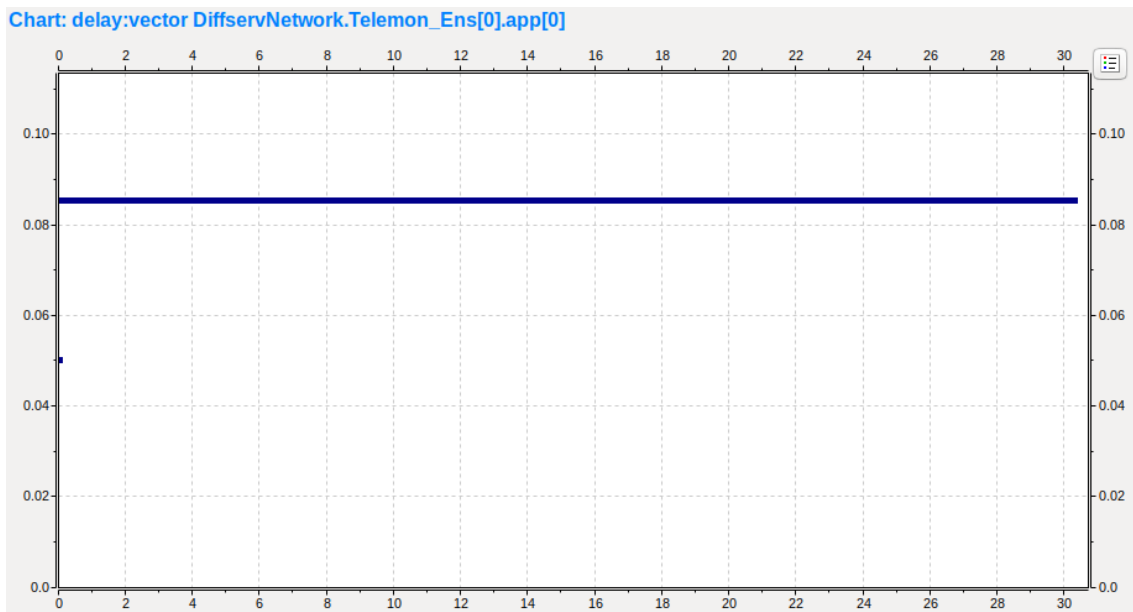


Figura 63. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[4] El comportamiento que presentan en los primeros 5 equipos de Telemon_Ens. En las gráficas de las figuras 64 y 65, en las que se observa el comportamiento obtenido sin la implementación de servicios diferenciados, así como con la implementación de servicios diferencias del equipo de Telemon_Ens[4]. En la gráfica de equipo de telemonitoreo sin servicios diferenciados (Figura 64) se tiene jitter al principio de la transmisión, después se mantiene un retardo constante por arriba de los 200 ms. En cambio, la gráfica de la simulación que cuenta con servicios diferenciados (Figura 65), la transmisión es prácticamente invariable en el retardo con un valor aproximado de 58 ms. Este equipo de telemonitoreo transmite la información de Raul al que se le otorgó un tipo de servicio C1.

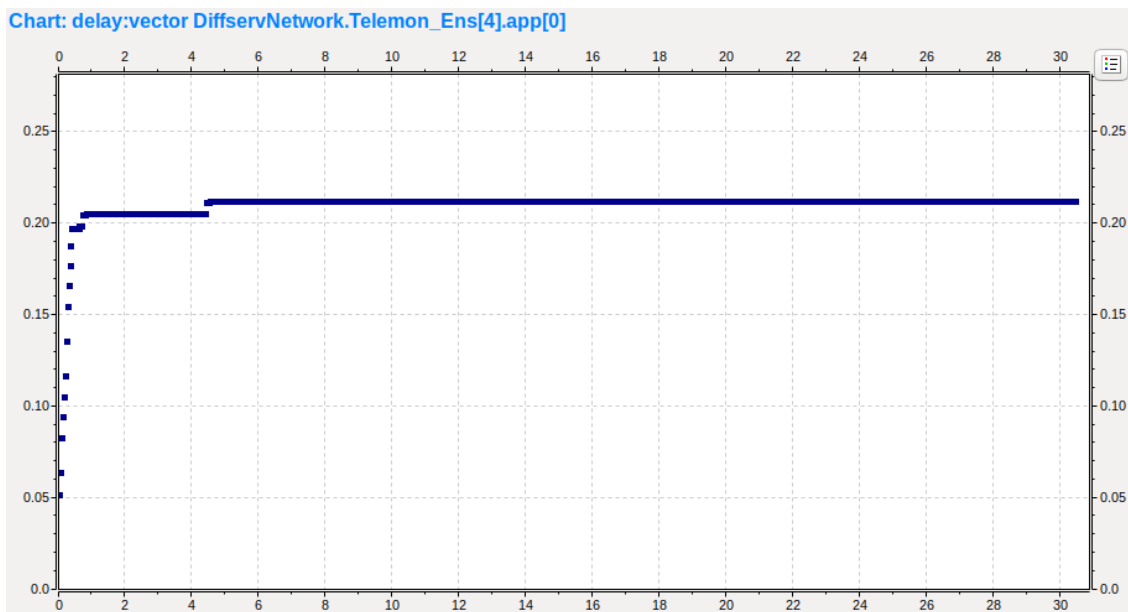


Figura 64. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.

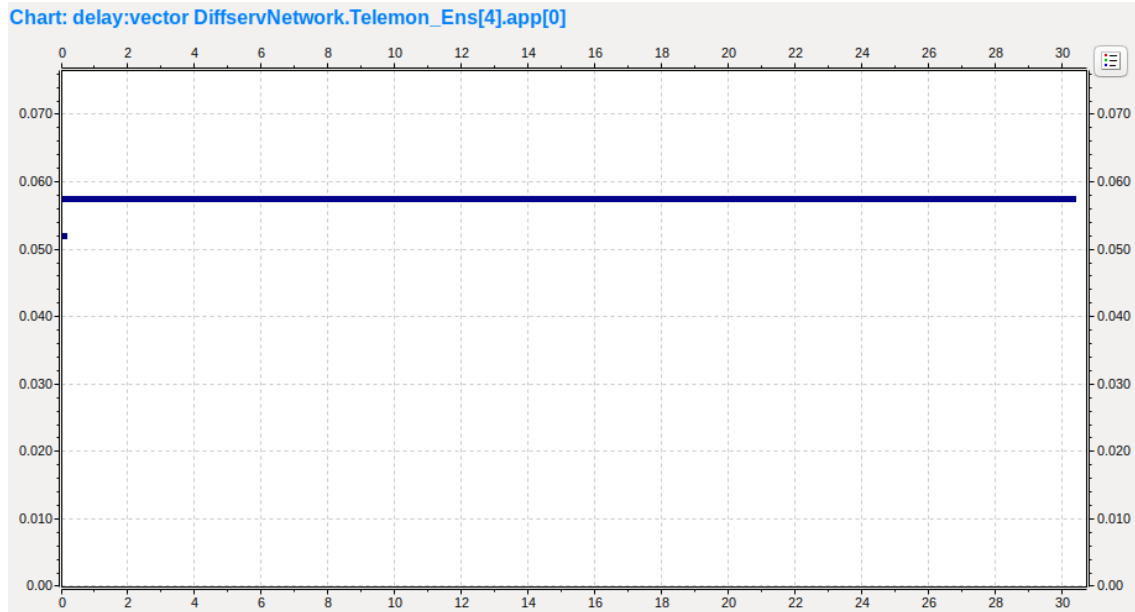


Figura 65. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[5] En el caso del equipo de Telemon_Ens[5] sin servicios diferenciados (Figura 66) se tiene una gráfica muy parecida a los equipos TelemonEns anteriores, pero manteniendo un retardo mayor a los 200 ms y el jitter inicial en la transmisión.

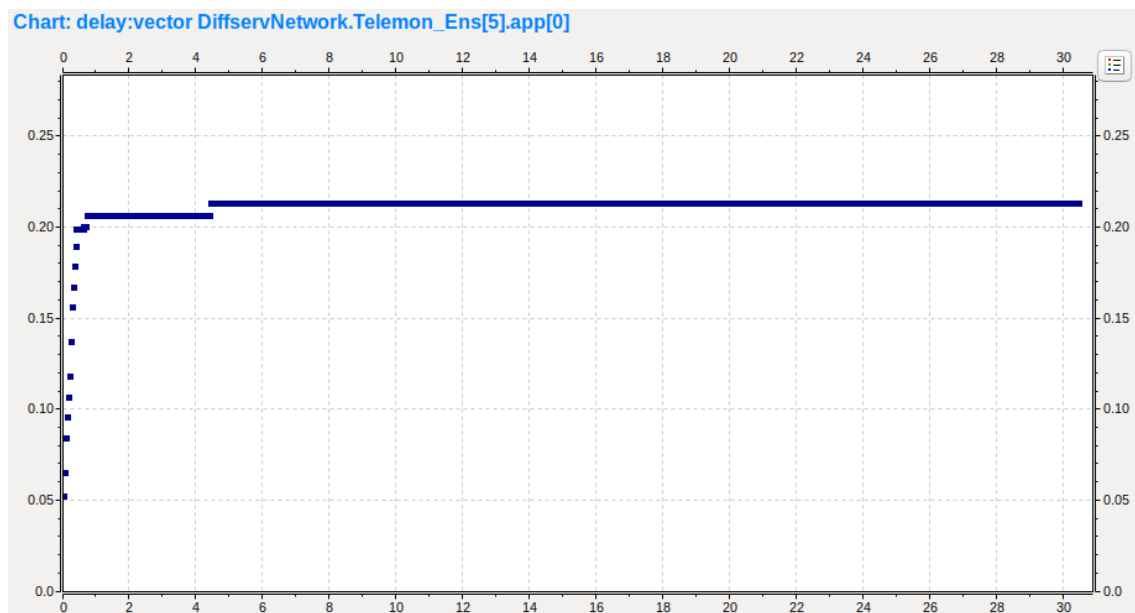


Figura 66. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[5] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.

En la Figura 67 se comienza a tener pérdidas de paquetes al implementar servicios

diferenciados, donde a pesar de tener un retardo de 40 ms prácticamente constante la cantidad de paquetes perdidos es excesiva. El equipo transmite la información de Ada con un tipo de servicio C1.

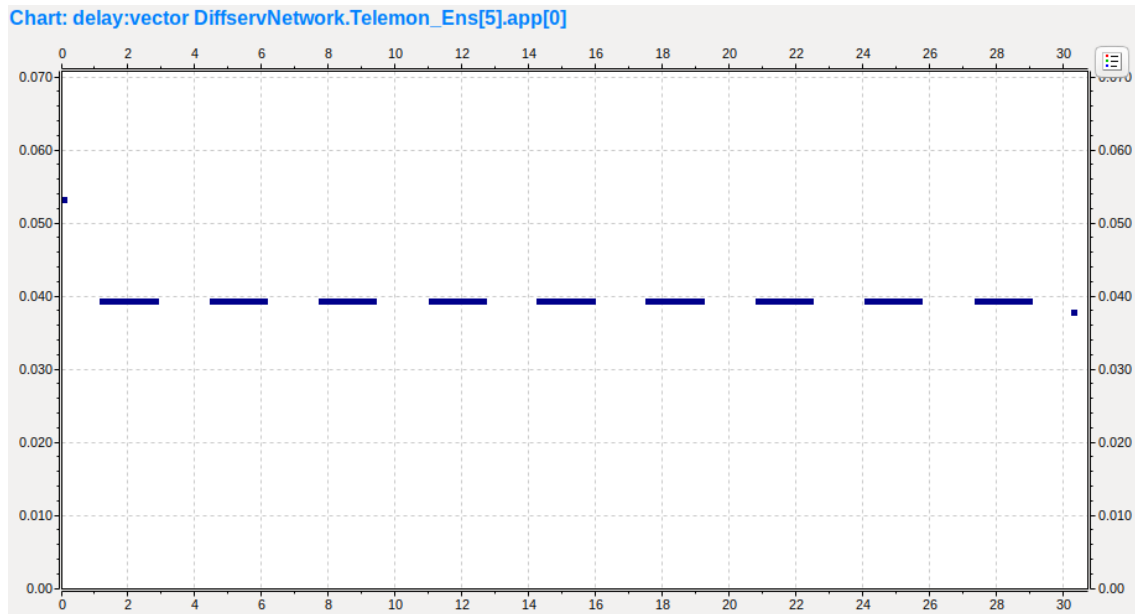


Figura 67. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[5] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[7] En gráfica mostrada por la Figura 68 se observa que conforme avanzamos en nuestra lista de pacientes sin servicios diferenciados, comienza a existir jitter el cual oscila en 20 ms aproximadamente.

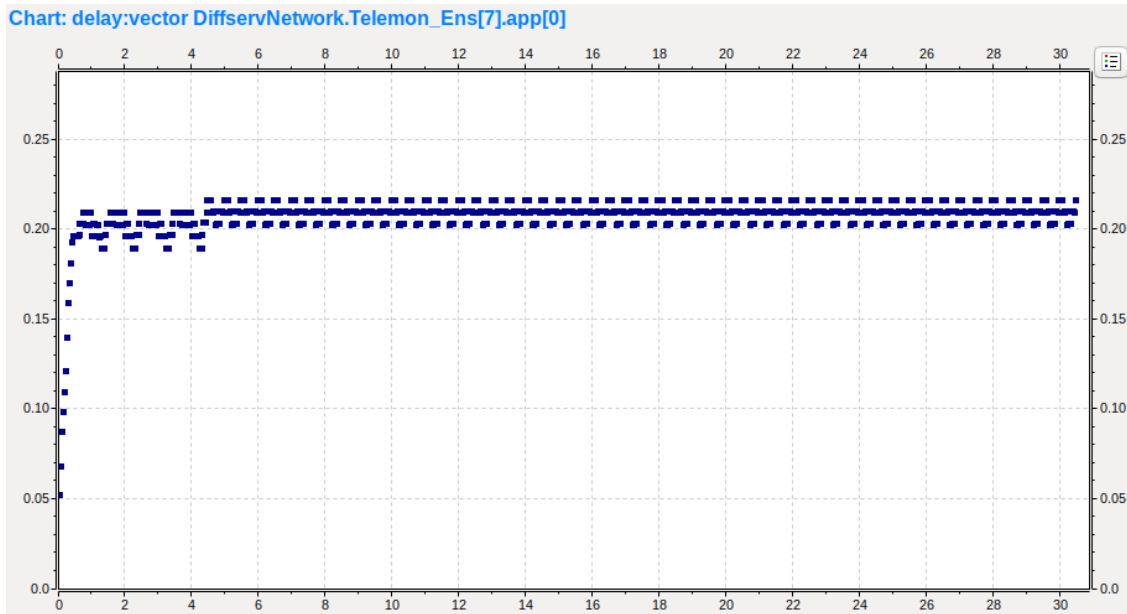


Figura 68. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[7] con velocidad de canal a 1048k, sin Servicios Diferenciados.

En la Figura 69 se muestra la gráfica con servicios diferenciados. Se puede observar como este equipo de telemonitoreo la cantidad de información recibida es prácticamente nula debido a la pérdida de paquetes en la transmisión de la información.

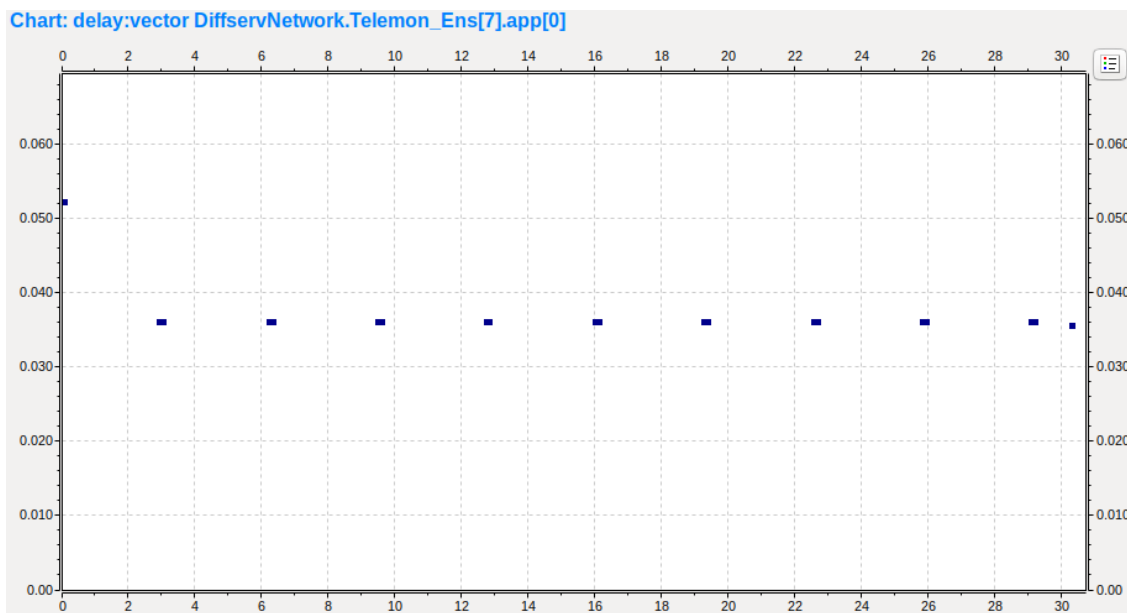


Figura 69. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[7] con velocidad de canal a 1048k, con Servicios Diferenciados.

Velocidad de Canal 768k

Telemon_Ens[0] El primer equipo de telemonitoreo sin la implementación de servicios diferenciados mostrado en la Figura 70 presenta un retardo de 270 ms, donde la transmisión inicia con variación al retardo durante los primeros 2 segundos de transmisión.

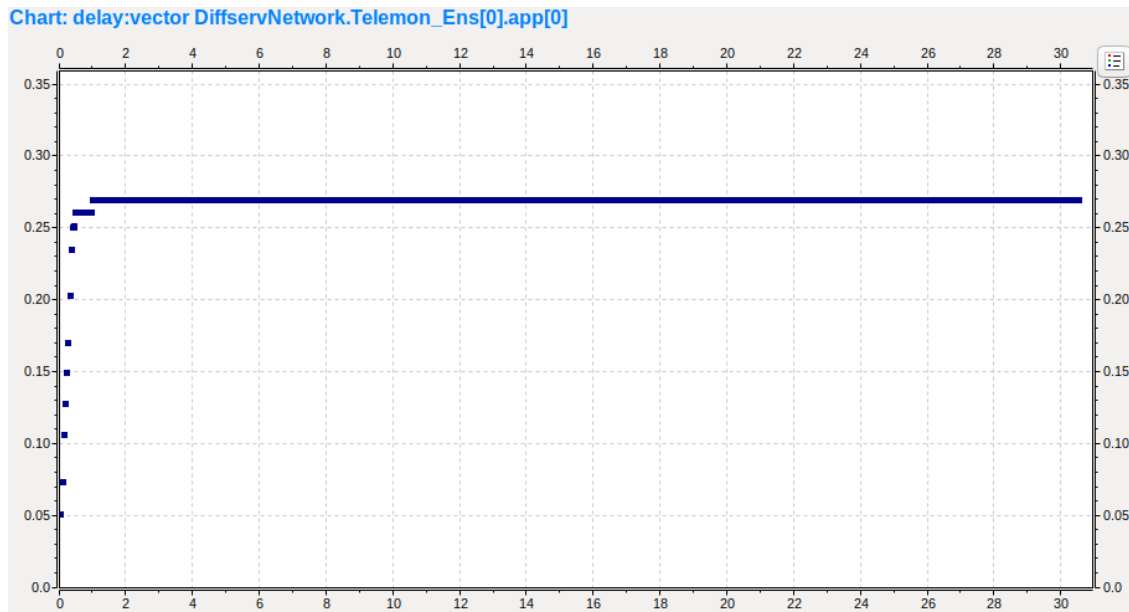


Figura 70. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 768k, sin Servicios Diferenciados.

En contraparte la gráfica que muestra el desempeño de la transmisión del equipo de Telemon_Ens[0] con la implementación de servicios diferenciados (Figura 71) muestra un retardo constante de 110ms. Recordemos que este equipo pertenece a Serena con tipo de servicio EF.

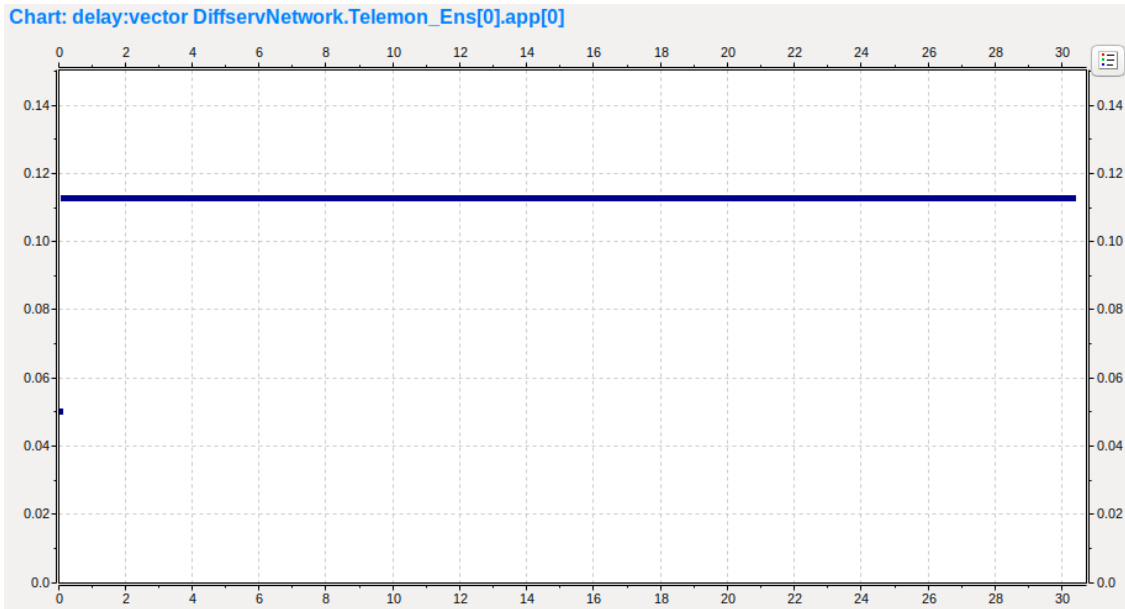


Figura 71. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[0] con velocidad de canal a 768k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[3] Conforme avanzamos en la tabla de clasificación se puede observar que las gráficas pertenecientes a la simulación sin aplicar servicios diferenciados comienzan a mostrar menor calidad con respecto a los pacientes que se encuentran más arriba en la tabla. A continuación, la Figura 72 muestra la gráfica perteneciente al equipo Telemon_Ens[3], presentando un retardo de 270 ms y variación en el retardo próximo a los 10 ms.

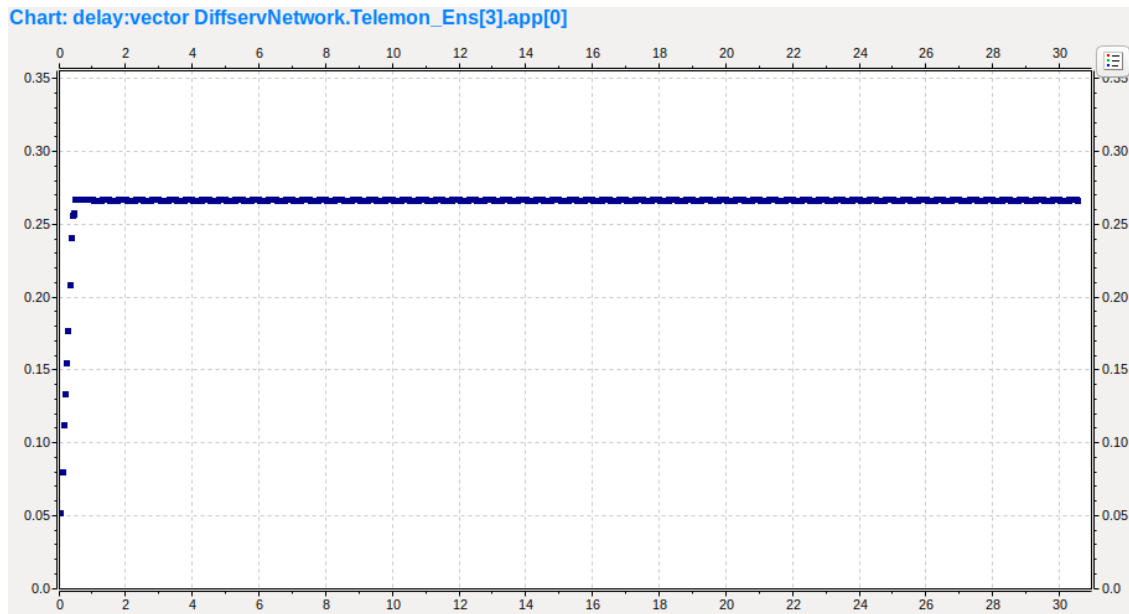


Figura 72. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[3] con velocidad de canal a 768k, sin Servicios Diferenciados

Comparando la gráfica de la Figura 73 con la de la Figura 72, se observa que el retardo de la transmisión es de 70 ms prácticamente constantes, Este equipo de tele-monitoreo pertenece a Lorenzo, quien tiene asignada una calidad de servicio C1.

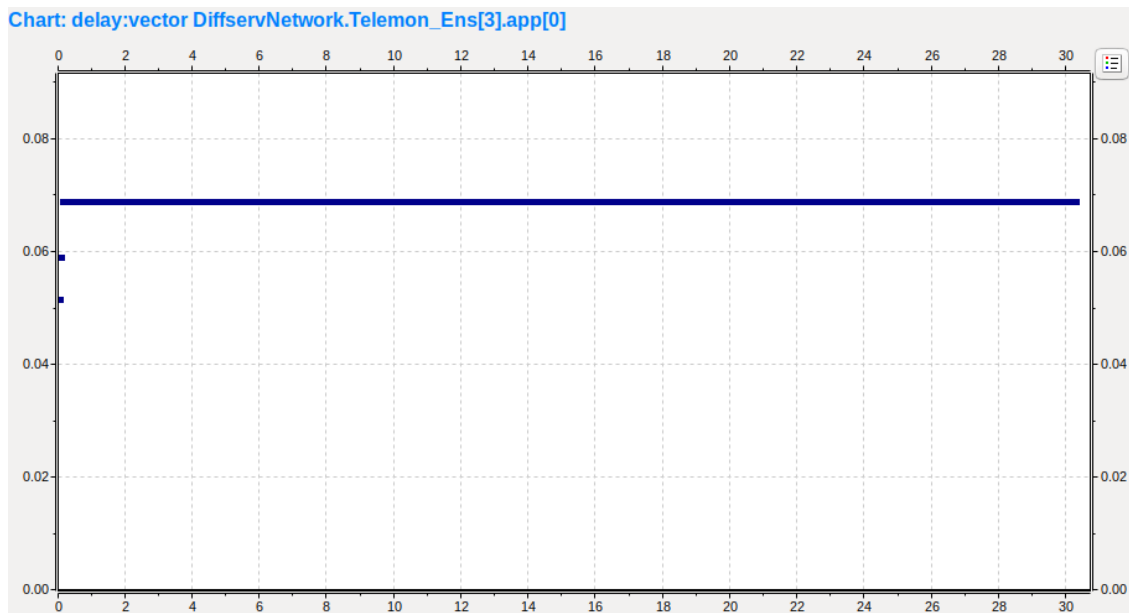


Figura 73. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[3] con velocidad de canal a 768k, con Servicios Diferenciados.

Telemon_Ens[4] En el equipo de Telemon_Ens[4], en su gráfica sin servicios diferenciados (Figura 74) se tiene un retardo de 270 ms y variación en el retardo ligeramente menor a los 10 ms.

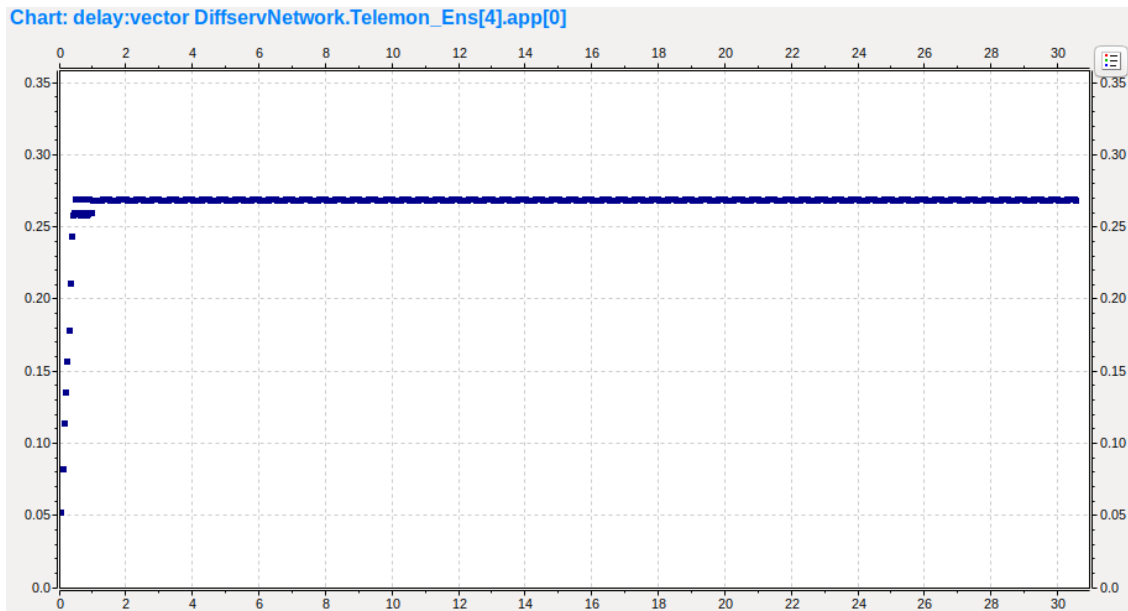


Figura 74. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 768k, sin Servicios Diferenciados

En la gráfica mostrada en la Figura 75, se puede observar que las gráficas pertenecientes a los Telemon_Ens con servicios diferenciados, el sistema pudo otorgar una buena calidad a los primeros cuatro usuarios que se encuentran hasta arriba en la tabla del entorno de red. En la misma gráfica se puede apreciar la gran cantidad de pérdidas de paquetes durante la transmisión. Este equipo de monitoreo pertenece a Raul, quien tiene asignado un tipo de servicio C1.

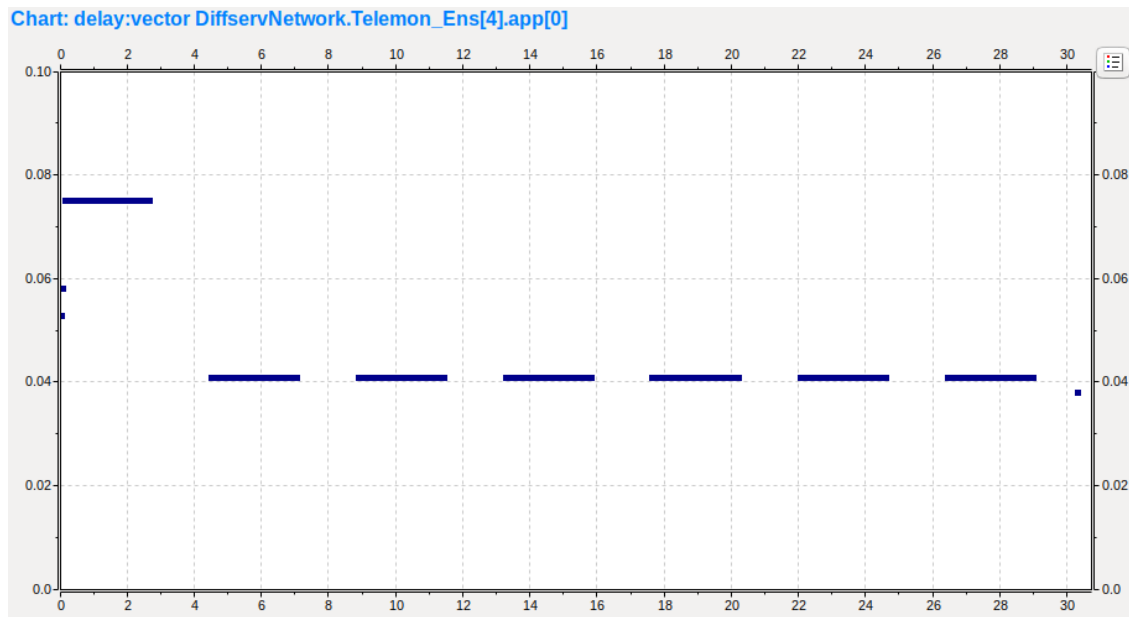


Figura 75. Retardo de transmisión al equipo de Telemon_Ens[4] con velocidad de canal a 768k, con Servicios Diferenciados.

Capítulo 6. Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1. Conclusiones

El presente trabajo de tesis simuló una red triage para obtener y transmitir información médica de un paciente a través de la red Internet, otorgando preferencia a los pacientes más graves.

Para lograr esto se apoyó en una sociedad de agentes inteligentes, encargada de clasificar la información de los pacientes de acuerdo a su gravedad dentro de una red hospitalaria, utilizando los signos vitales como parámetros de clasificación.

Los agentes otorgan la calidad de servicios basados en códigos de servicios diferenciados, favoreciendo a los pacientes de mayor gravedad mediante la clasificación de tráfico dentro de la red.

El presente capítulo tiene el objetivo de exponer los resultados y conclusiones derivadas del trabajo de investigación, presentar las aportaciones de este trabajo de tesis para la resolución del problema propuesto y al estado del arte, y además, brindar recomendaciones y propuestas para trabajo futuro sobre esta línea de investigación.

6.1.1. Conclusiones sobre la capa de aplicación

- Se encontró una forma de abstraer el estado en el que se encuentra un paciente, basándose en las tablas de clasificación de estados en signos vitales que utiliza el personal médico para clasificar a sus pacientes. Se asignó una utilidad a cada situación presentada en las tablas de diagnóstico de cada signo vital. La suma de todos los diagnósticos es el valor representativo del estado del paciente.
- Se utilizó dicha abstracción del estado de un paciente para, por medio de una sociedad de agente, poder conocer el estado de un paciente con respecto del resto, dentro de una red hospitalaria. Poder realizar esta comparativa entre el estado en que se encuentra un paciente contra el resto de los pacientes permitió crear una lista ordenada que muestra los pacientes del más grave, al menos grave.

- Se creó una forma de identificar a los pacientes que pueden ser considerados pacientes en estado crítico, esto basado en que el valor representativo de la gravedad es alto. Una vez identificado esta clase de pacientes se les otorgaron recursos de la red, priorizando la transmisión de estos pacientes sin necesidad a que entren en la negociación de recursos.
- Se logró diferenciar a los pacientes que se encuentran muertos, o aquellos los que no se puede salvar su vida a través de acciones, para excluirlos de la negociación de recursos y de esta forma tener una mayor cantidad de recursos disponibles para aquellos pacientes que se encuentren en estado crítico y se pueda preservar su vida mediante la realización de acciones.
- Se realizó un protocolo de negociación que imitara de cierta forma la repartición de recursos que se llevan a cabo en los hospitales, otorgando los recursos que requería un paciente según van siendo atendidos, cuyo orden de atención es la lista de los pacientes ordenados por gravedad para el protocolo expuesto en la tesis.
- La metodología en la que se apoyó para llevar a cabo el diseño del protocolo permite, además de comprender mejor las partes que componen el sistema para el propio diseñador, facilitando así su explicación. Permite intuir la escalabilidad de la parte del control del sistema a otras tecnologías de redes.

6.1.2. Conclusiones sobre la capa física

- Se observó que al tener baja congestión dentro de la red hospitalaria en la que no se aplicaron servicios diferenciados, la transmisión se realiza de una manera efectiva y eficiente para todos los pacientes existentes en la red. En contraparte se observó también, que, al activar servicios diferenciados sobre una red con baja congestión, se reparten los recursos de los pacientes que se encuentran más abajo en la lista otorgándose los a los pacientes que se encuentran con más gravedad. En baja congestión esto resulta ser contraproducente para los últimos pacientes que se encuentran a lo largo de lista, debido a que la transmisión de los pacientes más graves tiene buena calidad sin necesidad de implementar servicios diferenciados.

- Se observó también que, al tener niveles de congestión alta, la calidad de servicio se asegura a los que están primero en la lista resultante de la negociación. En el caso de la presente tesis, la congestión aplicada a la red llegó a un punto en donde los tres pacientes con calidad de servicio EF fueron los únicos que mantuvieron los parámetros de calidad a niveles correctos para la transmisión del audio, cumpliendo en objetivo de que la integridad de los pacientes más críticos se priorizara al resto cuando existen pocos recursos en la red.

6.2. Recomendaciones

- Debido a que para una congestión baja de la red la información transmitida de los pacientes que se encuentran en la parte inferior de la tabla, al no aplicar servicios diferenciados, se ve menos afectada que aplicando los servicios diferenciados. Se recomienda realizar un estudio sobre la carga de la red para conocer a qué porcentaje de congestión la red trabaja sin afectar transmisiones que ya cuentan con una buena calidad de servicio.
- Buscar un simulador que controle la implementación de sus servicios diferenciados por medio de variables que puedan ser dinámicas en tiempo real, esto con el propósito de poder darle dinamismo al sistema.
- Se recomienda que, durante la implementación del sistema, éste se programe tomando en consideración la información, estructura y lenguaje en el que se encuentra programados los expedientes electrónicos. Esto con el propósito de que pueda ser una herramienta que se sea capaz de trabajar y coexistir con las tecnologías existentes.

6.3. Aportaciones

- El modelo y la simulación de un sistema capaz de clasificar pacientes por la gravedad de salud en la que se encuentran, basándonos en el estado de sus signos vitales, utilizando como tecnología de apoyo los agentes inteligentes.

- El algoritmo que permite calcular la gravedad de un paciente por medio de agentes inteligentes.
- Un protocolo de agentes que permite conocer el estado de un paciente con respecto a otros.

6.4. Publicaciones resultado del trabajo de investigación

Se tuvo una participación en el consorcio de posgrados de la Conferencia Internacional en Aplicaciones de las Redes de Computadoras (ICCNA, por sus siglas en inglés), llevado a cabo por el ITM (Instituto Tecnológico de Mexicali) los días 6, 7 y 8 de Noviembre de 2018. El artículo presentado en el consorcio llevo por título: Modelado basado en agentes para gestión de flujos de señales biomédicas en red de sensores.

MEMORIA: Aplicaciones de las redes computacionales modernas. ISBN: 978-607-97901-1-0

6.5. Trabajo futuro

- Agregar a los parámetros para la clasificación el historial médico del paciente, así como las heridas externas que estén presentes, con el propósito de completar el cuadro de factores para el triage hospitalario implementado en la actualidad por el personal de salud.
- Sofisticar el algoritmo para que interprete el estado del paciente a través de las formas de onda de las señales obtenidas, en lugar de basarse en tablas de triage utilizadas por el personal médico.
- Conseguir dinamismo en el protocolo de negociación, es decir, que las tablas y los parámetros otorgados por el protocolo puedan actualizarse en tiempo real mientras el paciente siga en cirugía, observación o recuperación.
- Buscar una manera de sensar la transmisión que está realizando un paciente, para decidir si ésta se transmite con la calidad correcta o no. De no ser así buscar

la forma de omitir la transmisión de un paciente debido a las condiciones de la red y no al estado de salud del paciente, como lo presentó esta tesis.

- Implementación del sistema mediante la creación de dispositivos y programas de software expuestos en éste y futuros trabajos.

Literatura citada

- Ahmad, I., Kazmi, J. H., Shahzad, M., Palensky, P., y Gawlik, W. (2016). Co-simulation framework based on power system, AI and communication tools for evaluating smart grid applications. *Proceedings of the 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT ASIA 2015*.
- Álvarez Leiva, C. y Macías Seda, J. (2001). Triage: generalidades. *Revista Emergencias y Catástrofes*, **2**(3): 125–133.
- Bajracharya, A. R., Uchiyama, A., Hiromori, A., Yamaguchi, H., y Higashino, T. (2011). Implementation of a data collection mechanism in electronic triage system using wireless sensor devices. *Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN*, pp. 986–989.
- Belligemine, F., Caire, G., y Greenwood, D. (2008). Developing multi-agent systems with JADE. *Wiley series in agent technology*.
- Botti Navarro Vicente Juan, Sierra Carles, O. S. (visitado: 2 dic 2019). Sistemas multi-agente master aepia. *Universitat Politècnica de València - UPV*. Recuperado de: <https://www.youtube.com/playlist?list=PL6kQim6ljTJsvQtDTPLc7aBrL55WVeftD>.
- Brandt, F., Conitzer, V., y Endriss, U. (2012). Computational Social Choice. *Multiagent Systems*, p. 213.
- Carrillo, A. M. y California, B. (2017). Evaluación del desempeño en la transmisión de señales biomédicas en un ambiente inalámbricos en redes 6LoWPAN. *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California Maestría en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones con orientación en Telecomunicaciones*.
- Chien, C. V., Love, B. J., y Clara, S. (2016). Applications and Services. Vol. 79277. pp. 83–110.
- Chong, H. A. y Gan, K. B. (2017). Development of automated triage system for emergency medical service. *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering, ICAEES 2016*, pp. 642–645.
- Cisco (visitado: 4 dic 2019). Implementación de políticas de calidad del servicio (QoS) con DSCP. *Cisco*. Recuperado de: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/quality-of-service-qos/qos-packet-marking/10103-dscpvalues.html.
- Fernandez Barcell, Manuel (2008). Introducción a las redes de sensores inalámbricas. *Wireless Sensor Network*, pp. 1–20.
- Fernández Illescas, G. J. (2006). Triage : atención y selección de pacientes. *Trauma*, **9**(2): 48–56.
- FIPA (visitado: 3 dic 2019). The foundation for intelligent physical agents. recuperado de: <http://www.fipa.org/>.
- Fortino, G., Russo, W., y Savaglio, C. (2016). Agent-oriented Modeling and Simulation of IoT Networks. *IEEE*.

- Georgopoulos, V. C. y Stylios, C. D. (2018). Fuzzy cognitive maps for decision making in triage of non-critical elderly patients. *ICIIBMS 2017 - 2nd International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences*, pp. 225–228.
- Guerrero Martinez, J. F. (2011). Tema 2 - Bioseñales. *Ingeniería Biomédica Curso 2010-2011*, pp. 1–29.
- Harz., A. C., Franco, E. D. I. H., y Pinto, D. C. (2007). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas. *Inge Cuc*, **8**(1): 163–172.
- INET-Framework (visitado: 3 dic 2019a). Showcases: Differentiated services. recuperado de: <https://inet.omnetpp.org/docs/showcases/general/diffserv/doc/index.html>.
- INET-Framework (visitado: 3 dic 2019b). User's guide. recuperado de: <https://inet.omnetpp.org/docs/users-guide/>.
- JADE (visitado: 3 dic 2019). Jade administration tutorial. recuperado de: <https://jade.tilab.com/documentation/tutorials-guides/jade-administration-tutorial/>.
- Kirsche, M. y Hartwig, J. (2013). Poster Abstract: A 6LoWPAN Model for OMNeT++. *Computer Networks and Communication Systems Group*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/262172201_A_6LoWPAN_model_for_OMNeT_poster_abstract.
- Kirsche, M. y Schnurbusch, M. (2014). A New IEEE 802.15.4 Simulation Model for OMNeT++ / INET. *Computer Networks and Communication Systems Group*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/265337296_A_New_IEEE_802154_Simulation_Model_for_OMNeT_INET.
- Loria, J., De, R., García-regalado, J. F., Arellano-hernández, N., y Loría-castellanos, J. (2016). Triage hospitalario. *Clínica de Urgencias M. y T. Gutt Fundación Santa Fe de Bogotá*, (June): 1393–1403.
- Luqman, F. (2011). TRIAGE: Applying context to improve timely delivery of critical data in mobile ad hoc networks for disaster response. *2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PERCOM Workshops 2011*, pp. 407–408.
- Niels Aakvaag, J.-E. F. (2006). Redes de sensores inalámbricos. *Revista ABB 2/2006*, pp. 39–42.
- Okamoto, T., Saito, T., y Shigeno, H. (2013). A energy efficient data collection method by two types routes selection in triage networks. *Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA*, pp. 9–16.
- Olvera-Arreola, S. S. y Cadena-Estrada, J. C. (2011). El triaje hospitalario. *Revista Mexicana de Enfermería Cardiológica*, **19**(3): 119–121.
- OMNeT++ (visitado: 3 dic 2019a). Omnet++ simulation manual. recuperado de: <https://doc.omnetpp.org/omnetpp/manual/>.
- OMNeT++ (visitado: 3 dic 2019b). Omnet++ tutorials. recuperado de: <https://docs.omnetpp.org/tutorials/tictoc/>.

- Pérez, W. S., Gómez Muñoz, M., Bragulat, E., y Álvarez, A. (2010). Triage: A key tool in emergency care. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, **33**(SUPP1): 55–68.
- Ping Liu, S. C. E. & I. W. (2006). Quantifying Bandwidth Gain of Triage QoS Protocol and Mobility Effects Ping. En: *MILCOM 2006 - 2006 IEEE Military Communications conference*, Washington, DC, USA. IEEE.
- ProgramarYa (visitado: 4 dic 2019). Usando sockets en java. una simple aplicación cliente servidor usando sockets. *Curso De Java Avanzado*. Recuperado de: <https://www.programarya.com/Cursos-Avanzados/Java/Sockets>.
- Rahmat, M. H., Annamalai, M., Halim, S. A., y Ahmad, R. (2013). Agent-based modelling and simulation of emergency department re-triage. *BEIAC 2013 - 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium*, pp. 219–224.
- Raza, M., Aslam, N., Le-Minh, H., Hussain, S., Cao, Y., y Khan, N. M. (2018). A Critical Analysis of Research Potential, Challenges, and Future Directives in Industrial Wireless Sensor Networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, **20**(1): 39–95.
- Reyes Cruz, L. A. (2017). Análisis del impacto del número de usuarios y tasa de datos ofrecida en el traspaso entre resumideros de una WBAN/WPAN enfocada a aplicaciones de sistemas del cuidado de la salud. *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*.
- RFC3168 (visitado: 3 dic 2019). The addition of explicit congestion notification (ecn) to ip. *Network Working Group*. Recuperado de: <https://tools.ietf.org/html/rfc3168>.
- Romero, E. (1998). Redes de comunicaciones industriales. *Escuela de Ingeniería, Eléctrica Universidad Central de Venezuela*.
- Sakanushi, K., Hieda, T., Shiraishi, T., Ode, Y., Takeuchi, Y., Imai, M., Higashino, T., y Tanaka, H. (2013). Electronic triage system for continuously monitoring casualties at disaster scenes. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, **4**(5): 547–558.
- Silva, J. D. C., Rodrigues, J. J. P. C., Proenc, M. L., de Carvalho Silva, J., y Rodrigues, J. J. P. C. (2017). IoT Network Management: Content and Analysis. *IoT Network Management*, pp. 821–825.
- Soler, L. M. (2013). Sistemas de clasificación de pacientes. *Gestión y administración de servicios*. Recuperado de: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/33776/2/apuntes_clasificacion_de_pacientes.pdf.
- Toguchi, Y. y Shigeno, H. (2012). CDS-based routing scheme considering node properties in Triage network. *Proceedings - 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, WAINA 2012*, pp. 514–519.
- Uchida, N. (2017). Implementations of Data Triage Methods for DTN based Disaster Information Networks. *IEEE*.
- Vidal, J. M. (2010). Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples. Obtenido de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.215.1990&rep=rep1&type=pdf>.