



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Máster Universitario
en Tecnologías, Sistemas y
Redes de Comunicaciones

Simulación de una Red de Comunicaciones para el Control de Radiaciones en Aplicaciones Médicas

Autor: Franklin Gustavo Jiménez Peralta

Director 1: Miguel Ángel Rodríguez Hernández

Fecha de comienzo: 01/04/2017

Lugar de trabajo: E.T.S.I. Telecomunicaciones

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es realizar el diseño de una red de comunicaciones que permita llevar el control de la cantidad de radiación que un paciente recibe a lo largo de su vida en pruebas de diagnóstico o tratamientos curativos. El diseño se realiza haciendo uso de una herramienta de simulación basada en Omnet++, la cual permite analizar las características principales del desempeño de la red: ancho de banda, pérdida de paquetes, retardo extremo a extremo y jitter, así como el estudio del impacto que generará el tráfico generado sobre las redes de comunicaciones.

Se pretende que este trabajo sirva como guía para lo que será un sistema denominado Banco Nacional de Dosis de Radiación con sede en la Ciudad de Valencia (Centro Nacional de Dosimetría), donde cada uno de los centros de salud de España que trabajen con equipos radiológicos envíen la información de sus pacientes a una base de datos que permita el registro y almacenamiento de los mismos para mejorar la asistencia médica dentro de lo que será un nuevo concepto de Smart Hospital.

Metodología

La metodología a usarse en el presente trabajo será mediante pruebas de simulación realizadas en el entorno de Omnet++, haciendo uso de un simulador de redes All-IP, el cual permite la caracterización de fuentes de tráfico heterogéneo. Se analizarán características importantes dentro del rendimiento de la red para luego en base a resultados determinar el impacto que genera tal envío de información.

Además se realiza dos tipos de simulaciones, la primera para la región Castilla-La Mancha con información real proporcionada por el Centro Nacional de Dosimetría sobre la cantidad y distribución de equipos y una segunda extendida a nivel nacional donde se hacen estimaciones del número de equipos radiológicos en base a la información previa y a valores proporcionales de acuerdo al número de habitantes de cada provincia.

Desarrollos teóricos realizados

Como punto de partida se realiza un análisis de las radiaciones ionizantes y la importancia del control de las mismas, posteriormente se detalla la caracterización de las fuentes de tráfico de datos y su configuración en el entorno del simulador para eventos discretos Omnet++, además del cálculo del retardo producido por el proceso MPLS y la clasificación de tráfico tomando como referencia las categorías del servicio MacroLAN.

Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio

Se construyó un modelo de red de acceso Metro-Ethernet y núcleo MPLS para simular flujos de tráfico de datos (información radiológica de pacientes) entre los distintos centros de salud (fuentes generadoras de tráfico) y el Centro Nacional de Dosimetría (servidores consolidados), se caracterizaron fuentes de tráfico de datos, configuración de varios escenarios y además el análisis de las características más importantes de la red.

Todo el proceso descrito llevó muchas horas de estudio, desde el aprendizaje del simulador Omnet++, distintas pruebas y errores a la hora del desarrollo práctico del proyecto, además del problema de consumo de memoria del simulador, ya que la cantidad de datos que se genera tras una simulación es muy alta.

Resultados

Como resultados del presente trabajo se tiene tanto el diseño de la red para el Banco Nacional de Dosis de Radiación a nivel de provincias para toda España mismo que será usado en futuras pruebas e investigaciones y el análisis de los principales parámetros de QoS (Calidad de Servicio): consumo de ancho de banda, retardos, jitter y pérdidas de paquetes, además del impacto que genera tal envío de información a través de la red.

Además mediante el uso de este sistema se podrá simular varios tipos de tráfico, entre ellos la transmisión de imágenes DICOM para el diagnóstico de pacientes, o estudios epidemiológicos a nivel nacional. Por otra parte, una base de datos con toda la información de la inspección radiológica en España abre muchas oportunidades para mejorar la asistencia en la atención médica a los pacientes.

Líneas futuras

Como próximo paso y en base al sistema creado en el presente trabajo de investigación para conformar la red del banco nacional de dosis de radiación, estará la simulación de la misma con datos 100% reales sobre el número de centros radiológicos, número de equipos y distribución tanto de los centros como de los equipos a nivel de cada una de las provincias de España, además de la adición de otras fuentes de tráfico de voz y video, para el posterior análisis del comportamiento de la red.

Publicaciones

Como parte de este trabajo de investigación surge una publicación en el congreso “Workshop on Innovation on Information and Communication Technologies (ITACA-WIICT 2017)” con el tema “Simulation of a Communication System in Castile-La Mancha for a National Radiation Dose Data Bank”.

Abstract

The objective of this work is the creation of a communications network based on the model of a Smart Hospital, which allows the transmission of data about the clinical history of a patient about the doses of radiation that can receive in a certain medical activity.

Using a simulation tool based on Omnet ++, which uses modules of the INET Framework, a network of converged accesses with sources of heterogeneous IP traffic was designed, which was configured to define several scenarios to measure the operation of the network, this tool allows the analysis of important parameters in the performance of the network, such as bandwidth measurements, packet loss, extreme to extreme delay, and jitter.

Autor: Jiménez Franklin, email: fraji@teleco.upv.es
Director 1: Rodríguez Miguel, email: marodrig@upvnet.upv.es
Fecha de entrega: 09-09-17

ÍNDICE

I.	Introducción	4
II.	Centro Nacional de Dosimetría (CND)	6
III.	OMNET++	7
IV.	Descripción del Escenario en Omnet++	8
V.	Diseño e Implementación	9
V.1.	Caracterización de Fuentes de Datos	9
V.1.1.	Tamaño de las Fuentes a Utilizar	10
V.1.2.	Tipos de Fuentes de Tráfico Definidas.....	10
V.2.	Retardo por MPLS	11
V.3.	Parámetros de Calidad de Servicio (QoS)	12
V.3.1.	Clasificación del Tráfico	12
VI.	Configuración del Escenario en Omnet++	12
VI.1.	Módulo Concentrador	12
VI.1.1.	Configuración de Fuentes de Datos en Omnet++ (DataSize.xml – ConfigTraffic.xml)	13
VI.2.	Módulo Nube MPLS	14
VI.2.1.	Configuración de Nube MPLS en Omnet++ (internetCloud.xml)	14
VI.3.	Módulo Router	15
VI.3.1.	Configuración de Parámetros de QoS y Gestión de Colas	15
VI.4.	Módulo Cloud Privada	17
VI.5.	Configuración del Escenario General en Omnet++ (omnet.ini)	17
VII.	Simulación y Análisis de Resultados	18
VII.1.	Primera Fase (Región Castilla-La Mancha).....	19
VII.1.1.	Análisis de Resultados	20
VII.2.	Segunda Fase (Nivel Nacional).....	24
VII.2.1.	Análisis de Resultados	26
VIII.	Conclusiones y Trabajo Futuro	31
	AGRADECIMIENTOS	31
	BIBLIOGRAFÍA	31
	Anexo A:	33

I. INTRODUCCIÓN

La radiación ionizante es un tipo de energía que la podemos encontrar en diversas situaciones, de forma natural ya sea en fuentes como el suelo el agua o la vegetación, o de manera artificial mediante fuentes de generación de energía nuclear o en equipos médicos para fines de diagnósticos o terapéuticos. En cuanto a la exposición a dosis de radiación esta podría conllevar varios efectos si ésta no se controla, ya que a medida que aumenta el nivel de radiación al cual se expone una persona también lo hace el peligro para su salud, por otra parte las dosis de radiación en bajo nivel pero a largo plazo también podría traer efectos nocivos para la salud de las personas.

Se denomina radiación ionizante a aquella energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas capaz de provocar ionización en el medio que atraviesa, es decir que sea capaz de extraer electrones de sus estados ligados al átomo, llegando de esta manera a modificar el estado de la materia. [1]

Las radiaciones ionizantes pueden ser peligrosas para la salud de las personas sin embargo debido a su uso en varios campos (industria, medicina, investigación) se debe analizar los pros y contras de su uso.

Uno de los campos donde el uso de las radiaciones ionizantes ha sido muy extendido y particularmente beneficioso es la medicina, donde sus aplicaciones van desde la esterilización de material quirúrgico hasta pruebas de diagnóstico radiológicas o tratamientos curativos de enfermedades. A pesar de los beneficios del uso de las radiaciones ionizantes dentro de la medicina el control de las dosis recibidas por las personas se hace necesario, es por ello que la Unión Europea en su directiva 2013/59/EURATOM decreta que desde el año 2018 todos los países miembros, deben establecer requisitos para que los equipos utilizados en radiología, deben tener la capacidad de transferir la información de cantidad de radiación producida por el equipo durante el procedimiento al registro de la exploración.[2]

Dicha transferencia de información requerirá de una red entre centros de salud radiológicos interconectados entre sí, donde cada uno de ellos cuenta con diferentes servicios, con el único fin de crear un modelo de Smart Hospital para mejorar tanto la asistencia médica a pacientes y además cubrir todas las necesidades que una institución de salud lo requiera ya sea en aspectos sociales como operativos.

Por lo tanto, el objetivo es montar dicho sistema de comunicaciones a nivel nacional, el mismo que permita la transmisión e intercambio de la información radiológica de pacientes entre cada uno de los centros de salud y el Centro Nacional de Dosimetría, este sistema denominado “Banco Nacional de Dosis a Pacientes”, permitirá llevar un historial con el registro de las dosis de radiación que los pacientes reciben a lo largo de toda la vida.

Dicho sistema de comunicaciones enlazará distintos centros de salud a una base de datos, en un nuevo concepto de atención integral “Smart Hospital” (Fig.1).

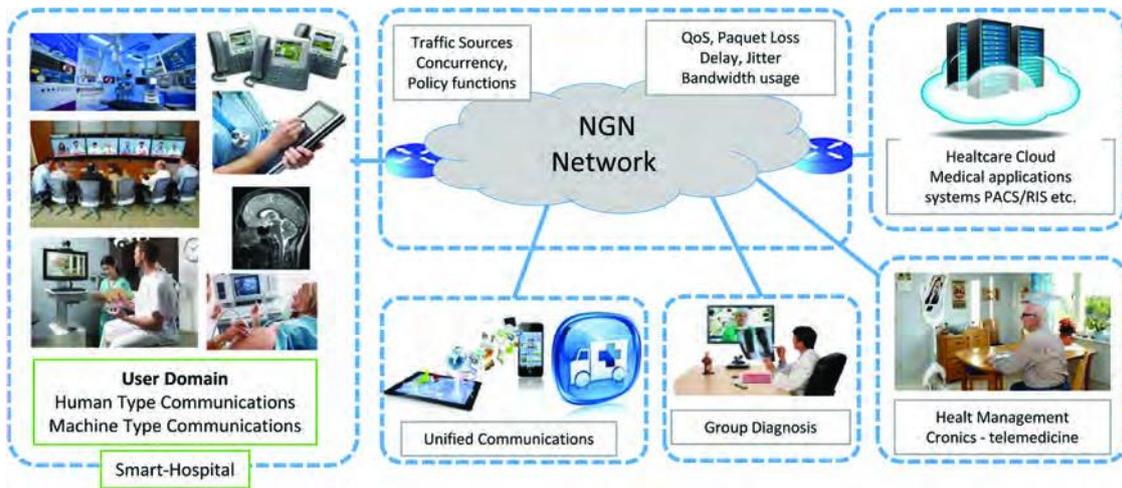


Fig.1. Modelo de Comunicaciones de un Smart Hospital. [3]

La figura 1 muestra el modelo de red de un Smart Hospital. Se compone de diferentes servicios los cuales se dividen en dos grupos: HTC (Human Type Communications) y MTC (Machine Type Communications), el presente trabajo se centrará en el segundo grupo que corresponde al envío de fuentes de texto e imágenes, además el modelo de un Smart Hospital cuenta con un núcleo de red de acceso convergente NGN (Next Generation Network) y de servicios cloud los mismos que brindan ventajas ya que la gestión y el mantenimiento se lo realiza de forma remota.

Este proyecto se centra en el uso de una herramienta de simulación basada en Omnet++ la misma que está diseñada concretamente para analizar redes de acceso convergente con fuentes de tráfico IP heterogéneas las mismas que son totalmente configurables y permiten la optimización del escenario de comunicaciones de un Smart Hospital, siendo capaz de analizar parámetros importantes en el desempeño de la red y así evaluar la calidad de la comunicación.

La presente memoria está estructurada de la siguiente manera, la sección II habla del Centro Nacional de Dosimetría y de la necesidad de la creación del sistema “Banco Nacional de Dosis a Pacientes”. En la sección III se presenta una breve introducción al entorno de Omnet++ y su funcionamiento. La sección IV muestra una breve descripción del escenario en Omnet++. La sección V corresponde al diseño e implementación del escenario. La sección VI muestra la configuración del escenario paso a paso en Omnet ++ donde se detalla los módulos utilizados y su configuración. La sección VII presenta la simulación y análisis de resultados, donde se describirá todo el proceso del diseño de la topología de red, primeramente para el caso de la región Castilla-La Mancha con datos reales de la cantidad y distribución de equipos y luego para el caso extendido a nivel nacional donde se realizan aproximaciones de los equipos en función a la población de cada provincia, además se realiza el análisis de los resultados de los principales parámetros de QoS (Calidad de Servicio): consumo de ancho de banda, retardos, pérdidas de paquetes, jitter y el impacto del envío de la información radiológica. Para finalizar la sección VIII muestra las conclusiones y trabajo futuro.

II. CENTRO NACIONAL DE DOSIMETRÍA (CND)

El Centro Nacional de Dosimetría con sede en Valencia (España), tiene como labor principal, prestar servicios de dosimetría externa a los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, de las instalaciones radiológicas y radiactivas de las instituciones sanitarias públicas del Sistema Nacional de Salud.

Igualmente, el CND se encarga del control dosimétrico de los Grupos Radiológicos de los distintos Planes Provinciales de Emergencia Nuclear, bajo la supervisión del Consejo de Seguridad Nuclear. Por último, también presta servicio dosimétrico a diversas instituciones universitarias de investigación y a un número reducido de instituciones sanitarias privadas. [4]

Dentro de las normativas más actuales que debe acoger el CND se encuentra la siguiente, que el Consejo Europeo en la directiva (2013/59/EURATOM) obliga a todos los estados miembros de la Unión Europea a que a partir del año 2018 establezcan requisitos más estrictos en cuanto a la dosis de radiación que debe proporcionarse a los pacientes, el registro y la notificación de las dosis de los procedimientos médicos, el uso de niveles de referencia para diagnóstico y la disponibilidad de equipos indicadores de dosis, donde el objetivo principal es velar por la protección de las personas respecto a los efectos nocivos del uso médico de las radiaciones ionizantes.

En este sentido surge la necesidad de la creación de un sistema denominado “Banco Nacional de Dosis a Pacientes”. El Banco Nacional de Dosis a Pacientes comprende una serie de factores como son: el almacenamiento de datos identificativos del paciente, almacenamiento del tipo de exploración o tratamiento, almacenamiento de los datos identificativos de la Institución sanitaria y del equipo con el que se ha realizado la exploración o tratamiento, almacenamiento de las dosis recibidas, y el almacenamiento de las imágenes obtenidas, todo esto a través de un sistema que facilite la gestión y la atención a los pacientes.

En este sentido con el registro y almacenamiento de la información se puede lograr evitar duplicidad de exploraciones, detectar equipos o procedimientos cuyas dosis estén por encima de la media de sus homólogos en otras instalaciones, además del acceso de la información al paciente, siguiendo así la directriz europea y el derecho a la toma de decisiones por parte del paciente.

La creación del proyecto Banco Nacional de Dosis de Radiación a Pacientes, requiere la interconexión de miles de equipos radiológicos que envíen la información de los pacientes a una base de datos para el registro y almacenamiento de la misma, por tanto se precisa de un estudio mediante simulación del sistema de comunicaciones mismo que sirva como introducción al proyecto de Banco Nacional de Dosis de Radiación a Pacientes, y que permita apreciar cómo será el funcionamiento del sistema una vez ejecutado.

III. OMNET++

Omnet++ es un simulador de eventos discretos orientado a objetos con arquitectura abierta y componentes modulares, esta herramienta es de gran utilidad en el análisis de redes de comunicaciones, redes ad-hoc, estudio de protocolos y en general permite modelar todo sistema basado en eventos discretos.

Esta herramienta de simulación utiliza módulos los cuales están programados en lenguaje C++ y pueden ser de dos tipos: simples (elementos básicos) y compuestos (formado por varios módulos simples), estos módulos se comunican entre sí a través del paso de mensajes y los mismos pueden ser jerárquicamente utilizados además de ser reutilizables tanto módulos simples como compuestos.

La figura 2 muestra la estructura de modelado de Omnet++, dicho modelo se define en archivos NED (.ned), donde pueden combinarse tanto módulos simples como compuestos, el paso de mensajes se realiza a través de puertas (gates), las cuales son las interfaces de entrada y salida de un módulo, de esta manera se crean conexiones las cuales también pueden ser configuradas con parámetros como velocidad del enlace, retardo y tasa de error, para de esta manera semejarse más a una comunicación real.

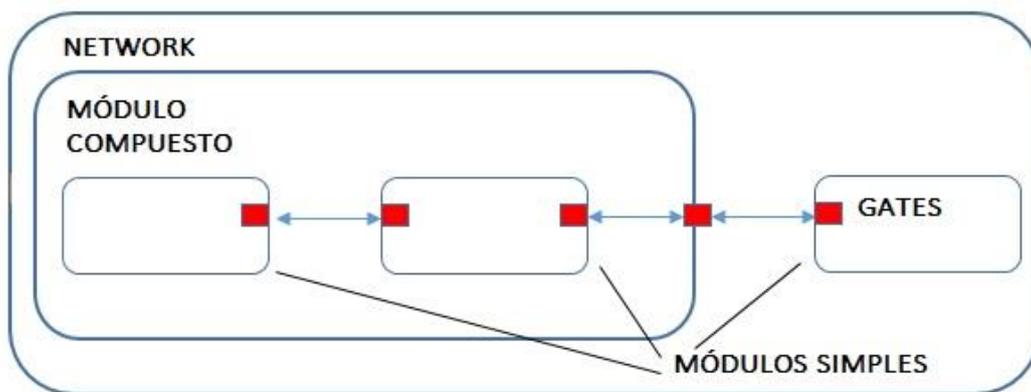


Fig. 2. Estructura de modelado en Omnet++.

Entorno a Omnet++ existen varios modelos de simulación y arquitecturas, entre ellos INET, MiXiM, Castalia, los cuales proporcionan componentes específicos de acuerdo al área en la que se vaya a trabajar.

Omnet++ además admite el uso de parámetros y variables estadísticas que determinan el comportamiento de un módulo, los mismos pueden ser configurados ya sea mediante los ficheros NED, mediante el fichero de configuración general omnet.ini o también mediante un fichero XML (Extended Markup Language).

Para desarrollar un proyecto en Omnet++ estos son los pasos generales a seguir:

1. Definir la estructura de la red, es decir los módulos a utilizar, conexiones requeridas, todo esto en el editor GNED.
2. Crear módulos en caso de ser necesario.

3. Crear y configurar el archivo omnet.ini, donde se establecen parámetros importantes de la simulación.
4. Ejecutar el proyecto mediante la interfaz gráfica Tkenv.
5. Analizar los resultados.

IV. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO EN OMNET++

El escenario general de este proyecto (fig.3) basado en un modelo de Smart Hospital está compuesto por un conjunto de Centros de Salud que trabajan con equipos radiológicos, los mismos que se estarán comunicando constantemente con la Cloud privada tanto para el envío como para la búsqueda de información médica o el historial clínico de un paciente.

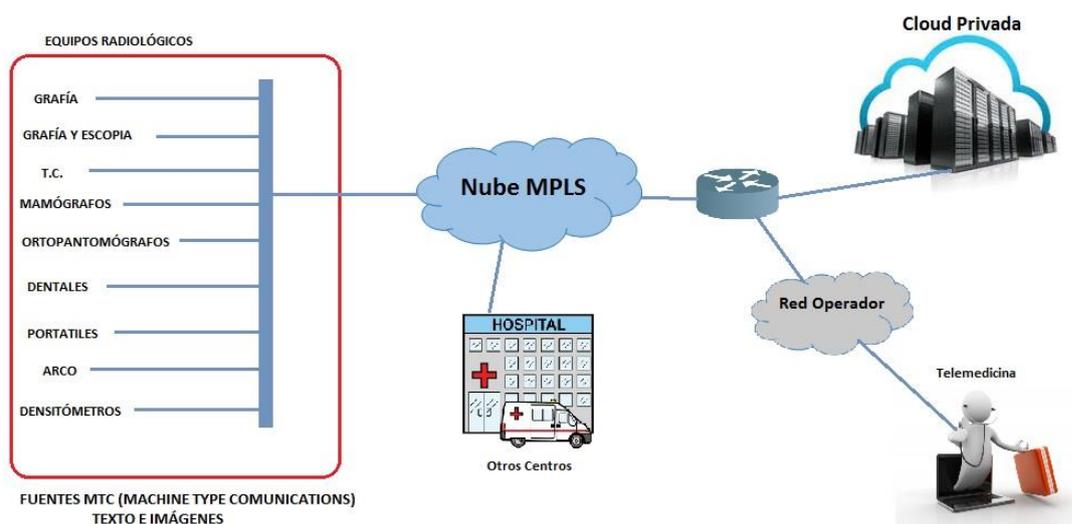


Fig. 3. Escenario general de un Smart Hospital.

En la creación de la topología de la red existen varios módulos (Fig.4), los cuales tienen su función específica dentro de la red, los módulos utilizados son:

1. Centro Radiológico: En este módulo actúa como generador de tráfico, en él se puede caracterizar fuentes de tráfico heterogéneo, en este proyecto serán nueve fuentes generadoras de tráfico de datos.
2. Nube MPLS: Realiza la ingeniería de tráfico, simulando el proceso desde que el tráfico sale del centro radiológico hasta que llega a la Cloud privada, utilizando la conmutación de etiquetas multiprotocolo o MPLS (Multiprotocol Label Switching).
3. Router: Es el enrutador principal de la red y es usado principalmente para realizar funciones de calidad de servicio QoS a la entrada de la Cloud privada que es el sitio donde se une todo el tráfico de la red.
4. Cloud Privada: Encargado de almacenar todo el tráfico de la red (servidores consolidados).
5. Configurator: Este módulo asigna direcciones IP y configura el enrutamiento estático para una red IPv4.

6. Enlace Centro Radiológico – Nube MPLS: configurable a valores de 10Mbps, 100Mbps o 1Gbps
7. Enlace Nube MPLS – Cloud Privada: Configurable a cualquier valor.

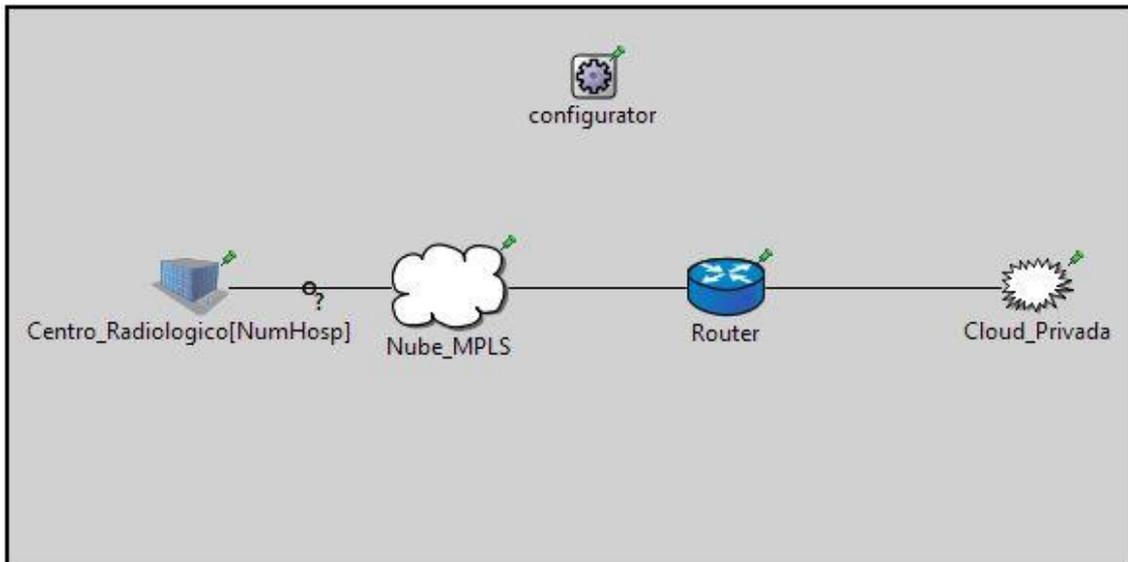


Fig. 4. Topología del modelo de la red implementada en Omnet++

V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo primeramente se introduce la caracterización de las fuentes de tráfico utilizadas en este proyecto, además del cálculo del retardo producido en la nube MPLS y los parámetros de calidad de servicio QoS y clasificación de tráfico tomada en cuenta en el proyecto.

V.1. CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE DATOS

Dado que el proyecto está basado en comunicación generada por máquinas (MTC), el tráfico estará basado tanto en la transmisión de ficheros de datos y/o imágenes.

La caracterización de las fuentes de datos se divide en dos partes, la primera en donde se configura tanto el tamaño como el número de ficheros de texto e imágenes, y la segunda donde se define la forma del envío de esa información (ráfagas). La fig.5 muestra los perfiles a configurar en una fuente de datos.



Fig. 5. Perfil de una fuente de datos.

Los parámetros para caracterizar las fuentes de datos son los siguientes:

	Parámetro	Descripción
Fichero	textResourceSize	Tamaño de cada recurso de texto en Bytes
	imageResourceSize	Tamaño de cada imagen en Bytes
	numResources	Número de recursos de texto contenidos en cada fichero
	numImages	Número de imágenes contenidas en cada fichero
Ráfaga	numPackets	Número de ficheros enviados en cada sesión
	sendInterval	Tiempo entre el envío de un fichero y el siguiente
	numBurst	Número de sesiones
	BurstInterval	Tiempo para volver a transmitir una ráfaga o empezar una sesión

Tabla 1. Parámetros de fuentes de datos.

Dentro de los parámetros a configurar en una fuente de datos, el tamaño y tipo de recurso de texto que se genera es algo importante ya que estos perfiles junto con el número de equipos y el tiempo de retransmisión definirán la cantidad de tráfico en la red.

V.1.1. TAMAÑO DE LAS FUENTES A UTILIZAR

Para el tamaño se han escogido dos tipos de ficheros, los mismos que contendrán toda la información asociada a un paciente necesaria para llevar el control de la actividad radiológica que lleva esa persona.

El primer fichero tendrá un tamaño de 1000 Bytes y corresponde a una trama que contiene varios campos como son: información de identificación del paciente, dosis de radiación recibida, tipo de exploración realizada, hora y fecha del estudio, nombre y especialidad del médico, entre otros.

El segundo fichero a utilizarse tendrá un tamaño de 160 KBytes, el cual corresponde al tamaño de trama con la cual trabaja el sistema denominado “Dosewatch” [5], mismo que es una solución de administración de dosis de radiación, diseñado para recopilar y analizar automáticamente la radiación recibida por los pacientes.

Dicha trama aparte de contener la información radiológica del paciente, incluye una imagen comprimida la misma que puede ser usada para revisión médica más no para diagnóstico. Además trabaja bajo el estándar DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) [6], el mismo que permite la transmisión de imágenes médicas en formato digital.

V.1.2. TIPOS DE FUENTES DE TRÁFICO DEFINIDAS

Las fuentes de tráfico de datos definidas en este proyecto corresponden a nueve tipos de equipos de radiodiagnóstico utilizados por centros de salud a nivel nacional, la descripción de cada uno se realiza a continuación:

- **Grafía:** Referida principalmente a equipos de rayos X, donde según el procedimiento utilizado se obtiene una imagen estática.
- **Escopía:** Referida también a equipos de rayos X, donde luego del procedimiento utilizado se obtiene una imagen dinámica, la diferencia entre los equipos de grafía y escopía se encuentra en el espectro de la energía que disipe y la diversidad de la exploración a utilizar.
- **T.C. (Tomografía Computarizada):** Es un procedimiento con imágenes que usa equipos especiales de rayos X para crear imágenes detalladas o exploraciones de regiones internas del cuerpo.
- **Mamógrafos:** Corresponde a un tipo específico de toma de imágenes que utiliza rayos X de baja dosis para detectar en forma temprana el cáncer de mama.
- **Ortopantomógrafo:** Hace referencia a una radiografía panorámica, la cual es una técnica radiológica que representa, en una única película, una imagen general de los maxilares, la mandíbula y los dientes.
- **Dentales:** Correspondiente principalmente a equipos de rayos X dentales.
- **Portátiles:** Corresponde a equipos de Rayos X portátiles, los mismos que se pueden transportar y montar en cualquier sitio, son usados principalmente para atenciones domiciliarias.
- **Arco:** Son equipos de rayos X que permiten trabajar viendo en todo momento la situación real de la intervención, facilitando la reducción de las fracturas, la introducción de agujas intraoseas, fijadores, clavos intramedulares, entre otros.
- **Densitómetros:** también llamada absorciometría de rayos X, utiliza una dosis muy pequeña de radiación ionizante para producir imágenes del interior del cuerpo (generalmente la parte inferior de la columna y las caderas) para medir la pérdida de hueso.

V.2. RETARDO POR MPLS

Se ha definido un retardo producido por el proceso MPLS y dado que la gestión de la red se realizará desde el Centro Nacional de Dosimetría con sede en Valencia se ha tomado un retardo aproximado en función a la distancia desde la sede a cada una de las provincias.

Dado que la transmisión de la información se realizará a través de las redes Metro-Ethernet basada en conexiones punto a punto mediante Fibra Óptica, el retardo se puede aproximar con la siguiente fórmula:

$$\text{Retardo} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}} \quad (1)$$

V.3. PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

Dentro de los parámetros de QoS a analizar en este proyecto está la medida del ancho de banda, análisis de pérdida de paquetes, retardo extremo a extremo y jitter, los cuales forman parte de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) [7] que proporciona el operador.

Las principales tareas para gestionar el tráfico en una red están basadas en tres principios que son: identificar el tráfico, agrupar o clasificar el tráfico en este caso haciendo uso de la arquitectura Diffserv la cual permite clasificar el tráfico en categorías, y finalmente definir políticas de QoS para cada clase de servicio con el objetivo de garantizar un caudal o calidad mínima a cada uno de ellos.

V.3.1. CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO

Tomando como referencia el servicio MacroLAN [7] y con el fin de obtener una simulación lo más similar posible a un entorno real, el tráfico podrá ser agrupado según los 4 tipos que se presentan a continuación:

- **Multimedia:** Es el tráfico al cual se le da máxima prioridad, es utilizado principalmente para servicios de voz, sensible al retardo y jitter, además se le garantiza un caudal determinado.
- **Oro:** Considerado como tráfico crítico y en tiempo real, principalmente utilizado para servicios de video y datos con prioridad, requiere bajo retardo a cambio de tener más pérdidas de paquetes.
- **Plata:** Tráfico de menor prioridad, no es en tiempo real, este tráfico puede ser descartado en períodos de congestión, es la clase por defecto cuando el cliente no contrata gestión de QoS, el retardo es secundario.
- **Gestión:** Tipo de tráfico no comercializado, utilizado internamente por el operador.

VI. CONFIGURACIÓN DEL ESCENARIO EN OMNET++

En el presente capítulo se detalla la configuración realizada en cada uno de los módulos utilizados, primeramente el módulo concentrador donde se realiza la caracterización de las fuentes de datos, luego el módulo Nube MPLS con su configuración en Omnet++, además el módulo router en donde se configuran los parámetros de calidad de servicio y gestión de colas, luego el módulo cloud privada y finalmente la configuración del escenario general en Omnet++.

VI.1. MÓDULO CONCENTRADOR

Este módulo se encuentra formado por varios elementos (ver fig.6).

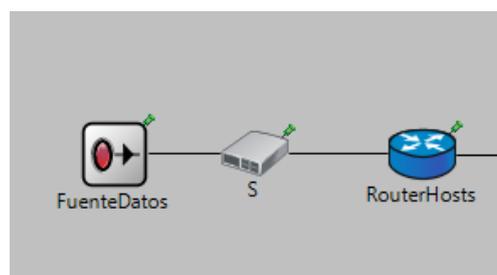


Fig. 6. Módulo concentrador implementado en Omnet++.

El modulo concentrador tiene tres funciones específicas las cuales son:

1. Generador de tráfico (Fuente de datos): Contiene un vector de hosts que representan cada servicio ofrecido por el centro radiológico.
2. Nodo sumidero (Switch): Une todo el tráfico generado por las fuentes.
3. Verificador de funciones de Calidad de servicio (Router): realiza tareas de QoS a la salida de los centros radiológicos donde se tiene enlaces limitados a velocidades de 10Mbps, 10Mbps y 1Gbps

VI.1.1. CONFIGURACIÓN DE FUENTES DE DATOS EN OMNET++ (*DataSize.xml – ConfigTraffic.xml*)

En esta parte se debe realizar la configuración de las fuentes de tráfico de datos, para la cual se tienen dos ficheros XML, el primero donde se detalla tamaño y número de los recursos de texto e imágenes, un ejemplo de configuración se muestra a continuación:

```

<data-size id="Grafia">
  <textResourceSize type="constant" value="1000" /> />
  <imageResourceSize type="constant" value="0" />
  <numResources type="constant" value="1" />
  <numImages type="constant" value="0" />
</data-size>
```

Primeramente para la configuración del fichero (*DataSize.xml*) se coloca el identificador (id), que hace mención al tipo de fuente que se está caracterizando, luego en este caso para el equipo de “Grafia” se configura la cantidad y tamaño del fichero a enviar, de esta manera se tiene un fichero de texto de tamaño 1000 Bytes y 0 imágenes ya que en el fichero de texto están contenidos todos los campos necesarios con la información radiológica del paciente.

El segundo fichero que corresponde a los perfiles de las fuentes y define la caracterización de las ráfagas en las fuentes de datos, un ejemplo de esta configuración se muestra a continuación.

```

<data-profile id="60x60">
  <numPackets type="constant" value="1" />
  <SendInterval type="constant" value="1" />
  <numBursts type="constant" value="6" />
  <BurstInterval type='uniform' beginning='180' end='420' />
</data-profile>
```

Para la configuración del fichero (*ConfigTraffic.xml*), igual que en el caso anterior lo primero es colocar el identificador, en este caso ya que se está simulando un escenario de 3600 segundos, se usa el identificador 60x60 que corresponde a ($\text{NumBurst} \times \text{BurstInterval}$). Dicho identificador en este caso detalla un fichero por sesión cada segundo, un total de 6 sesiones definidas mediante una distribución uniforme de media 300 segundos con un valor mínimo de 180 segundos y uno máximo de 420

segundos. De esta manera mediante la configuración de los dos ficheros XML se puede crear varios escenarios que definan distintos tipos de fuentes, o también en caso que se desee varios servicios pueden usar una misma configuración definida.

Cabe indicar que para la caracterización de las fuentes de datos se pueden usar valores fijos o variables estadísticas como pueden ser: distribución exponencial “exponential” en la cual se configura la media, distribución uniforme “uniform” en la cual se configura valor inicial y final, distribución normal “normal” en la que se configura una media y una desviación estándar, o finalmente un valor constante “constant”.

VI.2. MÓDULO NUBE MPLS

El módulo nube MPLS, simula el proceso del tráfico producido en las fuentes generadoras y enviado hasta la cloud privada y se basa en tres factores, los mismos que son configurables mediante un fichero XML.

Todo esto se realiza para cada uno de los enlaces entre los diferentes centros radiológicos y la Cloud, a partir de una dirección origen y una dirección destino, estos factores son:

1. El retardo producido por el proceso MPLS (Delay).
2. La posibilidad de que exista pérdida de paquetes (Drop).
3. La capacidad del enlace (Datarate).

VI.2.1. CONFIGURACIÓN DE NUBE MPLS EN OMNET++ (*internetCloud.xml*)

Para la configuración de este módulo se hace uso del fichero internetCloud.xml, el formato es el mostrado a continuación.

```
<traffic src="Madrid[0].**" dest="**" delay="1.16ms+truncnormal(5ms,2ms)"
datarate="100Mbps" drop="false" />
```

Como se puede notar la configuración se la realiza a partir de una dirección origen (src) a una dirección destino (dest), además de la configuración de los 3 parámetros antes mencionados.

- **Delay:** para el cálculo del retardo (delay) se definió la formula (1) en donde se toma en cuenta la distancia desde el Centro Nacional de Dosimetría con sede en Valencia a cada una de las provincias además de un retardo adicional tomado en cuenta por procesado y amplificación de la señal, mediante el uso de la distribución normal truncada “truncnormal” la cual en este caso devuelve valores positivos de media 5ms con una desviación estándar de 2ms.
- **Datarate:** se ha definido una capacidad de canal fija de 100Mbps para todos los enlaces entre los centros radiológicos y la Nube MPLS.
- **Drop:** no se ha definido una posibilidad de pérdidas de paquetes.

VI.3. MÓDULO ROUTER

Este módulo tiene como tarea realizar funciones de calidad de servicio (QoS), tanto a la entrada de los servidores, como a la salida de cada centro radiológico, la configuración de QoS se detalla a continuación.

VI.3.1. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) Y GESTIÓN DE COLAS

En cuanto a las funciones básicas de QoS, los parámetros a configurar son: clasificación de paquetes, gestión de colas y marcado de paquetes, cada uno de estos parámetros se describe a continuación.

Clasificación de paquetes: Tomando como referencia la clasificación de tráfico del servicio MacroLAN, el tráfico de datos generado por las fuentes se ha clasificado en la categoría plata (baja prioridad), debido a que el retardo no será un problema, ya que lo primordial es el almacenamiento en la base de datos más no que este sea inmediato.

Gestión de colas: En cuanto a la gestión de colas, a la categoría de tráfico plata se le asigna un tamaño de cola grande (700 paquetes), con el objetivo de minimizar la pérdida de paquetes, además se asignan probabilidades de descarte de tramas verdes y amarillas y un tamaño máximo de cola para descartar todas las tramas verdes.

Para el tratamiento de las tramas amarillas, en este caso como todo el tráfico será clasificado con calidad plata, si el volumen es mayor al PIR (Tasa máxima de tráfico) todo el tráfico se descartará.

```
##### Gestión de colas #####
#Multimedia
**.CMult = 30 #Tamaño
#Oro
**.COroMin = 100 #Tamaño para empezar a descartar tramas verdes
**.COroDC1 = 0.25 #Probabilidad de descarte de tramas verdes
**.COroDC2 = 0.5 #Probabilidad de descarte de tramas amarillas
**.COroMax = 150 #Tamaño para descartar todas las tramas verdes
#Gestion
**.CGestionMin = 100 #Tamaño para empezar a descartar tramas verdes
**.CGestionDC1 = 0.25 #Probabilidad de descarte de tramas verdes
**.CGestionDC2 = 0.5 #Probabilidad de descarte de tramas amarillas
**.CGestionMax = 150 #Tamaño para descartar todas las tramas verdes
#Plata
**.CPlataMin = 700 #Tamaño para empezar a descartar tramas verdes
**.CPlataDC1 = 0.25 #Probabilidad de descarte de tramas verdes
**.CPlataDC2 = 0.5 #Probabilidad de descarte de tramas amarillas
**.CPlataMax = 1000 #Tamaño para descartar todas las tramas verdes
#WRR
**.weights = "1 2 1" #Pesos para tráfico de gestión, oro y plata
```

Marcado de paquetes: El marcado de los paquetes IP se realiza en función de los siguientes parámetros:

- **CIR (Committed Information Rate):** Tasa media de tráfico a largo plazo garantizada por el operador (bps).

- **CBS (Committed Burst Size):** Tamaño de ráfaga comprometido, con relación al CIR (Bytes).
- **PIR (Peak Information Rate):** Tasa máxima de tráfico garantizada por el operador, nunca puede ser mayor a la capacidad que provee el operador (bps).
- **PBS (Peak Burst Size):** Tamaño de ráfaga permitido, con relación al PIR (Bytes).

En conclusión el proceso de envío y gestión de QoS de un paquete es el siguiente: primero se clasifica según las categorías de tráfico antes mencionadas, luego este se filtra en el enrutador donde se le asigna el DSCP (Differentiated Services Code Point) según el puerto UDP de destino, a continuación el paquete se dirige al bloque de QoS donde se implementa el marcado de los paquetes lo cual otorga mayor eficiencia a la red a la hora de cumplir requisitos de calidad de servicio.

A continuación se presenta un ejemplo de los parámetros de configuración del router a la salida del centro radiológico, además se muestra los perfiles en Omnet++ donde el fichero a configurar es (omnet.ini).

Tipo de Tráfico	CIR	CBS	PIR	PBS
Multimedia	2Mbps	250KB	4Mbps	500KB
Oro	40Mbps	5MB	80Mbps	10MB
Plata	20Mbps	2.5MB	100Mbps	12.5MB

Tabla 2. Valores de QoS en router centro radiológico.

```
#####QoS en el router de salida del centro
#Multimedia (voz)
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterVoz.cir = "2Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterVoz.cbs = 250KiB
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterVoz.pir = "4Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterVoz.pbs = 500KiB
#Oro (tiempo real)
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterOro.cir = "40Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterOro.cbs = 5MiB
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterOro.pir = "80Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterOro.pbs = 10MiB
#Gestión (aplicaciones críticas)
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterGestion.cir = "0Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterGestion.cbs = 0KiB
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterGestion.pir = "2Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterGestion.pbs = 12.5MiB
#Plata (best effort)
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterPlata.cir = "20Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterPlata.cbs = 2.5MiB
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterPlata.pir = "100Mbps"
**.Melilla[0].RouterHosts.**.ingressTC.meterPlata.pbs = 12.5MiB
#####Tratamiento de tramas amarillas
**.Melilla[0]**.ActionMultimedia = 1
**.Melilla[0]**.ActionOro = 1
**.Melilla[0]**.ActionGestion = 1
```

VI.4. MÓDULO CLOUD PRIVADA

Será el encargado de almacenar toda la información enviada por la red, este módulo básicamente está conformado por varios hosts que corresponden a las aplicaciones o servicios y que realiza las tareas de servidor o recolector de datos, dichos datos servirán para el análisis del comportamiento de la red.

VI.5. CONFIGURACIÓN DEL ESCENARIO GENERAL EN OMNET++ (*omnet.ini*)

Esta parte corresponde al fichero principal de configuración, en él se definen parámetros tanto de la simulación como del comportamiento de la red, la configuración está dividida en 3 partes las cuales se describen a continuación.

1. **Configuración general del escenario:** la cual incluye elección de la semilla (seed) para dar aleatoriedad a los datos, duración de la simulación, velocidad del enlace de entrada a la Cloud, entre otros.

```
[General]
seed-0-mt = 1239
parallel-simulation = false
record-eventlog = true
[Config Multi]
network = Red
#####
# CONFIGURACIÓN GENERAL #
#####
##### Duración #####
sim-time-limit = 1800s

##### Implementación de los módulos de QoS (No tocar) #####
**.RouterHosts.eth[*].ingressTCType = "QoS"
**.Router.ppp[0].ingressTCType = "QoS"
**.RouterHosts.ppp[*].queueType = "ColasQoS"
**.Router.ppp[1].queueType = "ColasQoS"
**.Nube_MPLS.ppp[*].queueType = "ColasQoS"

##### Fichero configuración de la nube MPLS (No tocar) #####
**.delayer.config = xmldoc("internetCloud.xml")

##### Configuración de los servidores y de parámetros de fuentes (No tocar) #####
**.Server*.**.numUdpApps = 1
**.Server*.**.udpApp[*].typename = "UDPSink"
**.Fuente*.**.localPort=-1 #Puerto efímero

##### Comportamiento general #####
#Régimen transitorio o permanente
**.transit = false #Falso simula un regimen permanente.
#Enlace de salida
**.CDatarate = 400Mbps #Velocidad del enlace de entrada a la cloud
#Número de Centros Radiológicos
**.Num_Centros=1 #Número total de Centros Radiológicos en la Provincia de La Coruña
```

2. **Configuración de las fuentes generadoras de tráfico:** para el tiempo de inicialización en este caso se utilizó una distribución uniforme con un valor entre 0 y 360 segundos, además se define el puerto de destino y los identificadores de los ficheros que contienen los perfiles de configuración (DataSize.xml y ConfigTraffic.xml), un ejemplo de esta configuración se muestra a continuación.

```
# Fuente 1 (Datos)
**.FuenteDatos.H[0].udpApp[*].destAddresses = "Banco_Dosimetría.ServerDatos.S[0]"
**.FuenteDatos.H[0].udpApp[*].startTime = uniform(0s,300s)
**.Datos.*[0].udpApp[*].Port = 1003 #Tráfico Oro (1000 = multimedia, 1001 = oro, 1002 = crítico, 1003 = plata)
**.FuenteDatos.H[0].udpApp[*].data_size = xmldoc("DataSize.xml", "///data-size[@id='Grafia']")
**.FuenteDatos.H[0].udpApp[*].config = xmldoc("ConfigTraffic.xml", "///data-profile[@id='60x60']")
```

3. **Configuración de los centros radiológicos:** en donde se detalla la velocidad del enlace entre los centros radiológicos y el número de fuentes generadoras de datos.

```
##### CENTROS RADIOLÓGICOS EN LA CORUÑA (#1) #####
####Tipo de centro
**.La_Coruna[0].Datarate = 1 # 0 = 10Mbps, 1 = 100Mbps, 2 = 1Gbps

####Número de fuentes
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[0].numUdpApps = 135
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[1].numUdpApps = 7
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[2].numUdpApps = 10
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[3].numUdpApps = 7
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[4].numUdpApps = 5
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[5].numUdpApps = 23
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[6].numUdpApps = 15
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[7].numUdpApps = 35
**.La_Coruna[0].FuenteDatos.H[8].numUdpApps = 8
```

VII. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El proyecto se divide en dos fases: la primera fase realizada para la región de Castilla-La Mancha, donde para la configuración de fuentes se cuenta con datos reales proporcionados por el Centro Nacional de Dosimetría sobre la cantidad y distribución de equipos radiológicos y una segunda fase extendida a nivel nacional donde se hacen estimaciones del número de equipos radiológicos en base a la información previa y a valores proporcionales de acuerdo al número de habitantes de cada provincia.

VII.1. PRIMERA FASE (REGIÓN CASTILLA-LA MANCHA)

Para la primera simulación, se tendrá un escenario caracterizado por un centro de salud que pertenecerá a cada provincia de la región Castilla-La Mancha, el mismo generará tráfico de datos mediante el envío de los ficheros con la información médica asociada a un paciente, la simulación se realiza por un período de 60 minutos en régimen permanente, el retardo en la nube MPLS se calcula a partir de la distancia entre el Centro Nacional de Dosimetría y las provincias pertenecientes a esa comunidad autónoma y finalmente se realiza el análisis de ancho de banda tanto individual como global, análisis de pérdida de paquetes, retardo y jitter en la red.

La región de Castilla-La Mancha cuenta con 5 provincias: Toledo, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara y Albacete, el esquema de la red en Omnet++ se muestra en la fig.7.

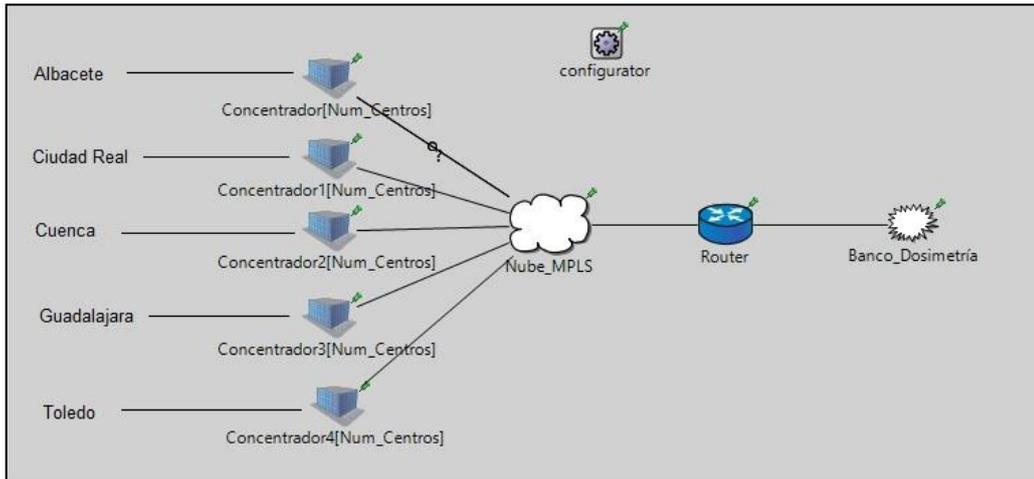


Fig. 7. Topología de la red de comunicaciones para la región de Castilla-La Mancha implementada en Omnet++.

Para la caracterización de las fuentes generadoras se tiene la información mostrada en la tabla 3.

Equipos radiología	Albacete	Ciudad Real	Cuenca	Guadalajara	Toledo	Total
Grafía	17	16	7	6	21	67
Grafía y Escopía	5	6	2	2	7	22
T.C.	6	7	3	3	8	27
Mamógrafos	6	6	2	2	7	23
Ortopantomógrafos	2	2	2	2	3	11
Dentales	17	38	11	9	23	98
Portátiles	6	7	3	4	13	33
Arco	17	14	4	10	27	72
Densitómetros	2	0	0	0	1	3
Total	78	96	34	38	110	356

Tabla 3. Distribución de equipos en Castilla-La Mancha.

Los parámetros generales se muestran a continuación.

Parámetro a configurar	Valor
Tiempo de simulación	3600 segundos
Transitorio	No
Velocidad del enlace de entrada a la Cloud	100Mbps
Número de centros por provincia	1
Inicialización de fuentes	Aleatorio (0-360 segundos)

Tabla 4. Parámetros generales de configuración (onmet.ini).

Una vez definidas las aplicaciones y la configuración general, se procede a la configuración de los centros radiológicos, el escenario contará con cinco centros, uno por cada provincia de la región Castilla-La Mancha, cuyo enlace de salida será de 100Mbps.

En cuanto a la configuración de parámetros de calidad de servicio y gestión de colas son los mismos para todas las simulaciones y corresponden a los presentados anteriormente el apartado VI.3.1.

VII.1.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Primeramente se muestra los resultados en cuanto al ancho de banda necesario en los enlaces para las provincias de Cuenca y Toledo que corresponden a las provincias con un número de fuentes bajo, y alto respectivamente, finalmente se muestra el ancho de banda global o de entrada en la Cloud privada. Todos estos primeros resultados corresponden al fichero de 1000 Bytes.

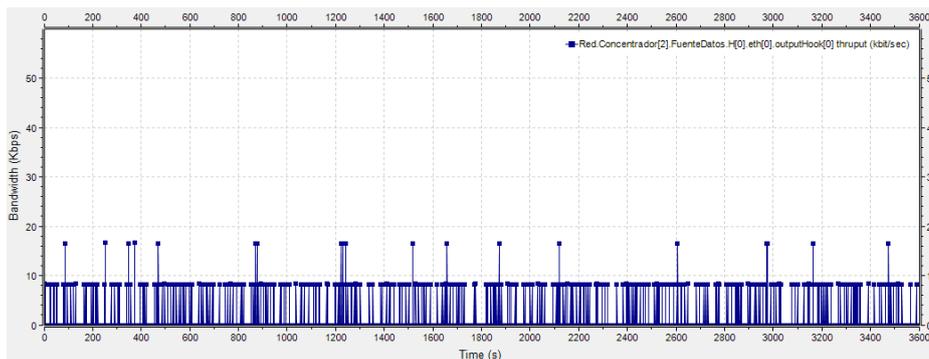


Fig. 8. Ancho de Banda concentrador Cuenca.

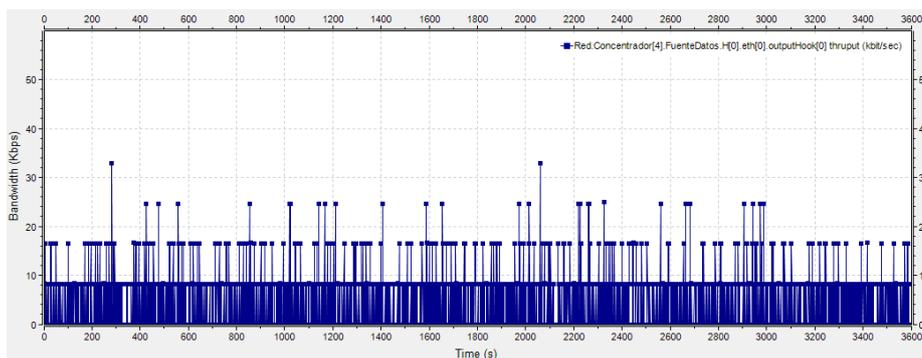


Fig. 9. Ancho de Banda concentrador Toledo.

Como era de esperar el ancho de banda necesario es proporcional al número de equipos en cada provincia, de esta manera para la provincia de Cuenca se requiere un ancho de banda menor que para la provincia de Toledo que es la que tiene mayor número de equipos radiológicos.

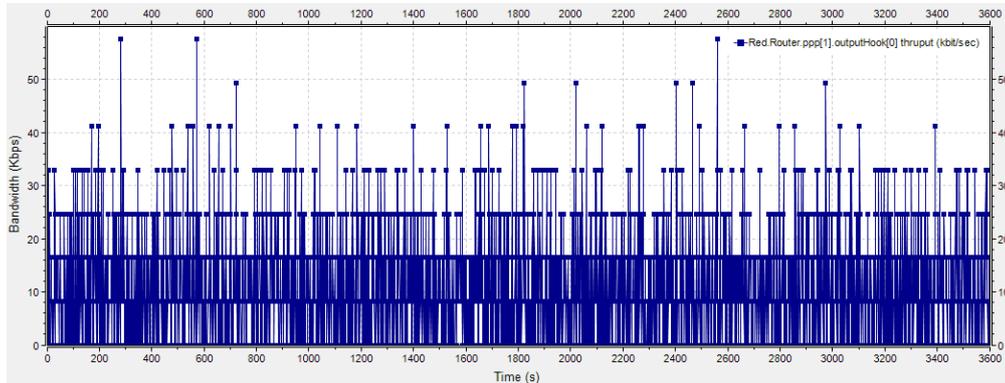


Fig. 10. Tráfico a la entrada de los servidores (Valencia).

Como se puede apreciar en la fig.10 el máximo ancho de banda requerido para el envío de ficheros de 1000 Bytes no supera los 60Kbps, por lo que el envío de tal información no producirá congestión alguna

A continuación se muestra la gráfica tanto de los paquetes enviados como de los paquetes recibidos, en la misma se observa que no existe pérdida de información.

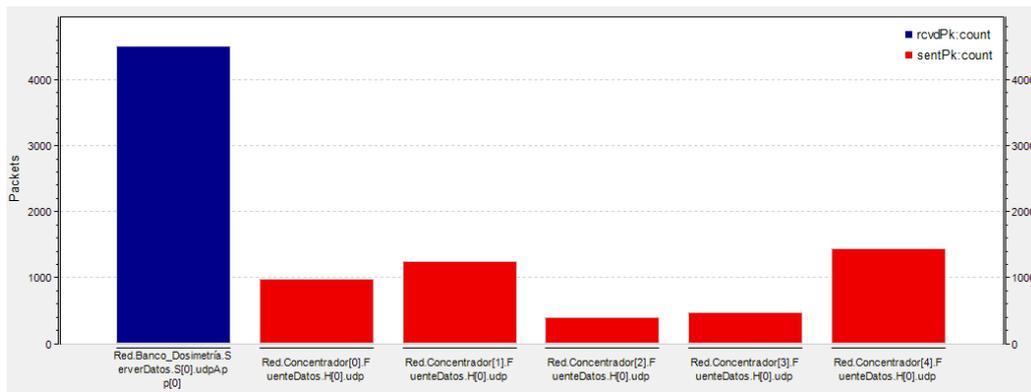


Fig. 11. Paquetes enviados y recibidos por los servidores (Valencia).

Finalmente se presenta los resultados en cuanto al retardo extremo a extremo de los paquetes en el proceso de transmisión en la red y jitter o las variaciones de retardo (Fig. 12, 13), como era de esperar se tiene valores bajos en un escenario sin congestión.

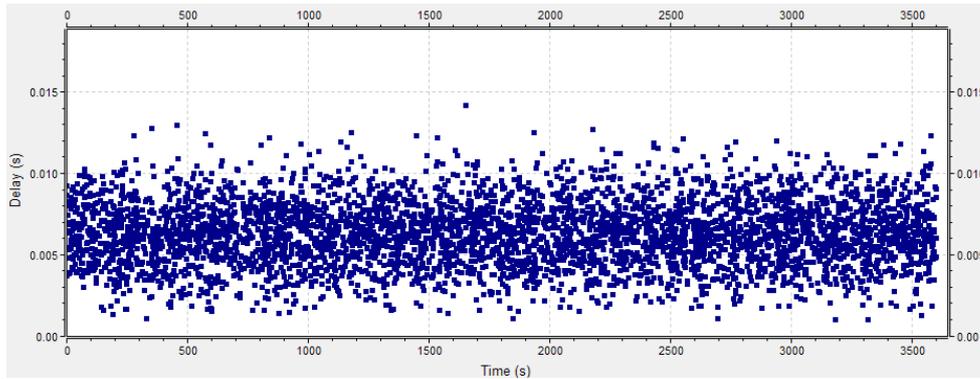


Fig. 12. Retardo en tráfico de datos.

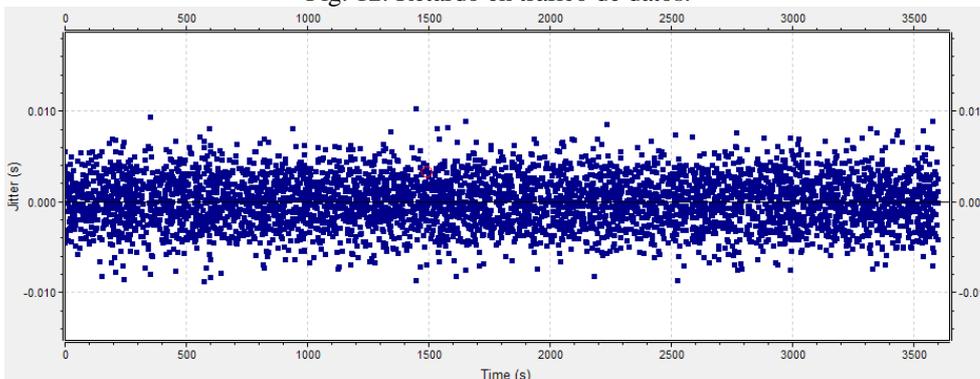


Fig. 13. Jitter en tráfico de datos.

A continuación se presentan los resultados para la misma región de Castilla-La Mancha pero haciendo uso del fichero de 160KBytes.

En este caso se presenta la provincia que requiere un mayor ancho de banda, la cual es Toledo, el ancho de banda requerido para la transmisión esta alrededor de los 5Mbps, luego se muestra el ancho de banda global o de entrada en la Cloud privada y finalmente retardo extremo a extremo y jitter.

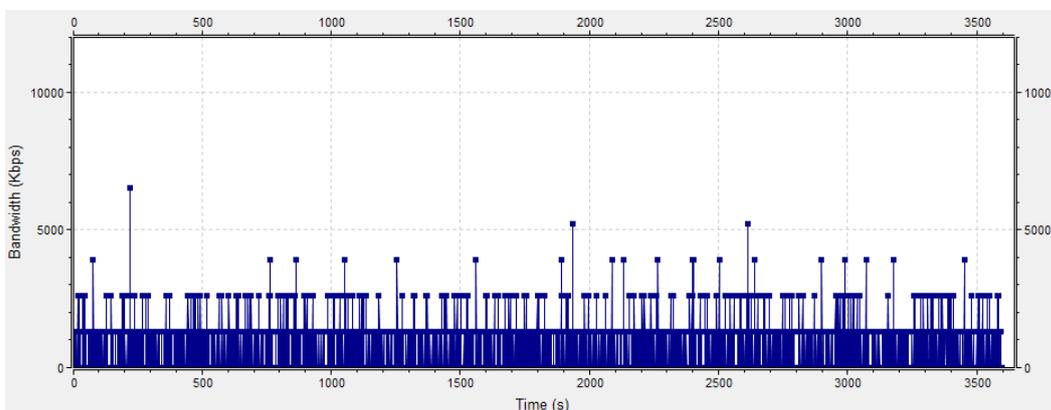


Fig.14. Ancho de Banda concentrador Toledo.

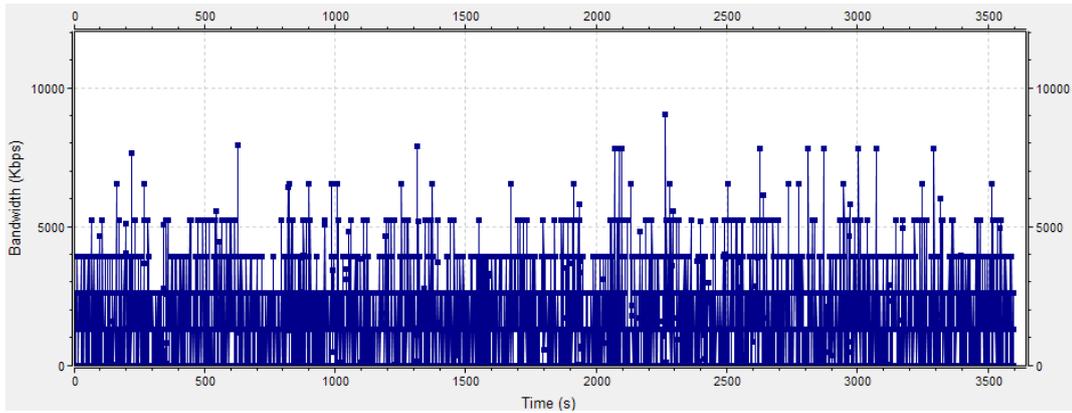


Fig. 15. Tráfico a la entrada de los servidores (Valencia).

Como se muestra en la fig.15 el ancho de banda necesario para que no exista congestión en la entrada a los servidores es aproximadamente 9Mbps, como era de esperar debido al aumento del tamaño en el fichero a transmitir, el ancho de banda requerido para tal transmisión también aumento.

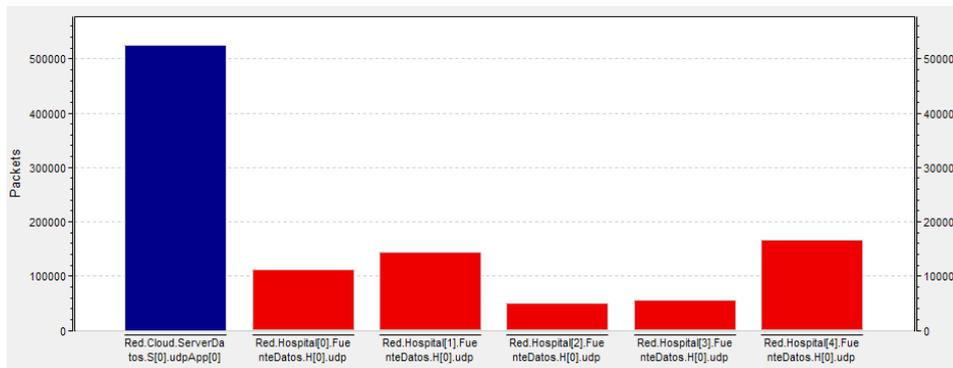


Fig. 16. Paquetes enviados y recibidos por los servidores (Valencia - CND).

La figura 16 muestra la cantidad de paquetes enviados y recibidos, las barras en color rojo representan los paquetes enviados, la barra en color azul representa los paquetes recibidos, en este caso igual que en el anterior no existe pérdida de información.

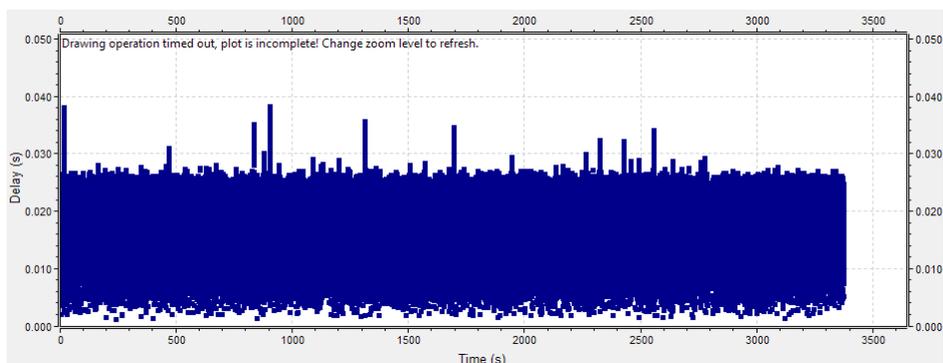


Fig.17. Retardo en tráfico de datos.

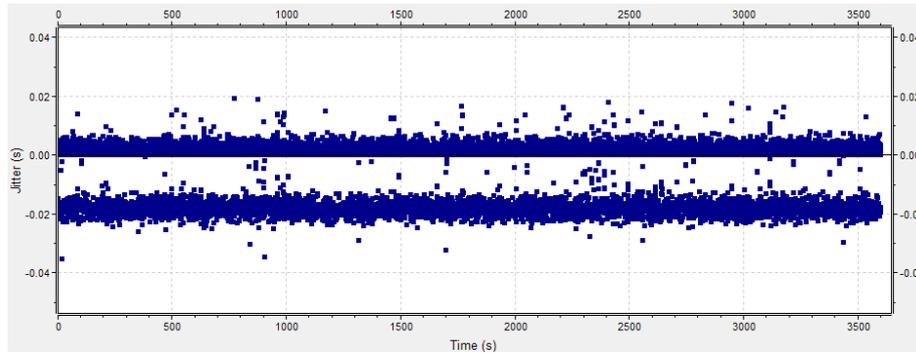


Fig.18. Jitter en tráfico de datos.

Finalmente se presenta los resultados de retardo de los paquetes en el proceso de transmisión en la red y jitter o las variaciones de retardo (Fig. 17,18), las mismas presentan valores bajos producto de un escenario sin congestión.

VII.2. SEGUNDA FASE (NIVEL NACIONAL)

Para la segunda fase de la simulación del presente proyecto se tendrá un escenario caracterizado por un centro de salud por cada provincia de España, incluyendo enlaces para las comunidades autónomas Ceuta y Melilla para las cuales también se tiene datos reales proporcionados por el Centro Nacional de Dosimetría, la simulación se realiza por un período de 30 minutos en régimen permanente, el retardo en la nube MPLS se calcula a partir de la distancia entre el Centro Nacional de Dosimetría y cada provincia, finalmente se realiza el análisis de ancho de banda tanto individual como global, análisis de pérdida de paquetes, retardo y jitter en la red.

El esquema de la red a nivel nacional implementado en Omnet++ se muestra en la fig.19.

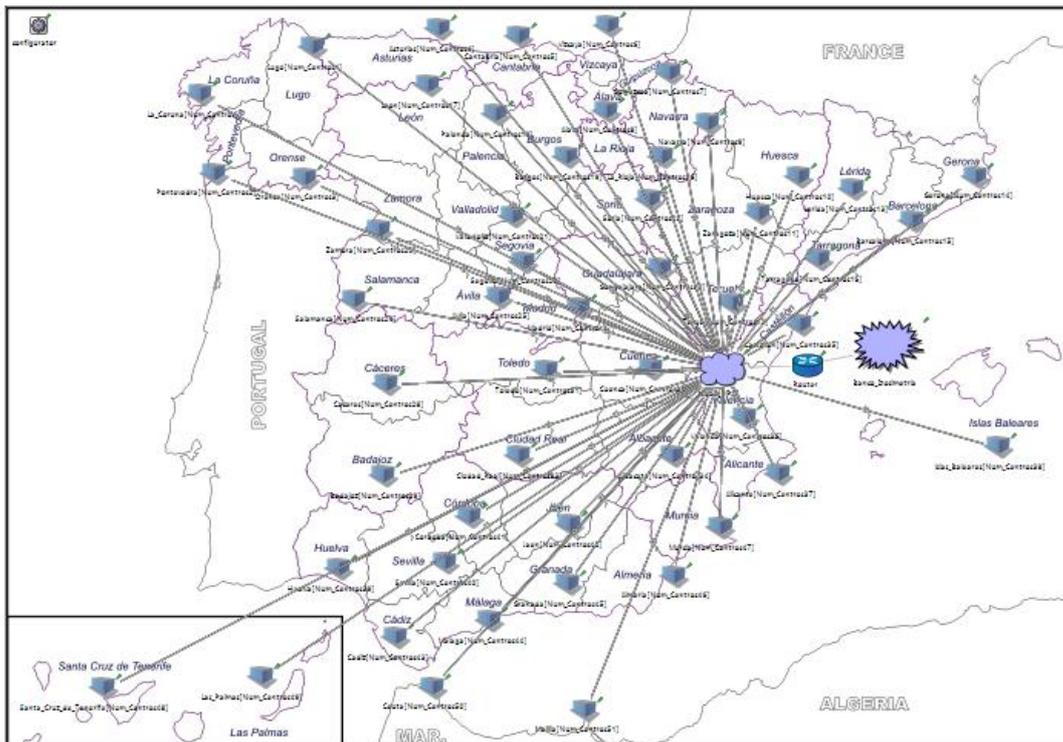


Fig.19. Esquema de la red a nivel nacional implementado en Omnet++.

Para la caracterización de las fuentes generadoras se realizó estimaciones las cuales se basan en el número de habitantes de la provincia y en la información real con la que ya se contaba, el número de fuentes y habitantes por provincia se muestra en la tabla 5.

Posición	Provincia	Habitantes	Fuentes de Datos
1	Madrid	6466996	600
2	Barcelona	5542680	520
3	Valencia	2544264	250
4	Sevilla	1939775	180
5	Alicante	1836459	170
6	Málaga	1629298	160
7	Murcia	1464847	150
8	Cádiz	1239889	140
9	Vizcaya	1147576	135
10	La Coruña	1122799	135
11	Islas Baleares	1107220	135
12	Las Palmas	1097800	130
13	Asturias	1042608	130
14	Santa Cruz de Tenerife	1004124	130
15	Zaragoza	950507	125
16	Pontevedra	944346	125
17	Granada	915392	125
18	Tarragona	792299	115
19	Córdoba	791610	115
20	Gerona	753576	115
21	Guipúzcoa	717832	115
22	Almería	704297	115
23	Toledo	688672	110
24	Badajoz	684113	105
25	Jaén	648250	105
26	Navarra	640647	105
27	Cantabria	582206	100
28	Castellón	579245	100
29	Valladolid	523679	100
30	Huelva	519596	100
31	Ciudad Real	506888	96

32	León	473604	85
33	Lérida	434041	85
34	Cáceres	403665	85
35	Albacete	392118	78
36	Burgos	360995	55
37	Lugo	336527	55
38	Salamanca	335985	55
39	Álava	324126	55
40	La Rioja	315794	55
41	Orense	314853	55
42	Guadalajara	252882	38
43	Huesca	221079	35
44	Cuenca	201071	34
45	Zamora	180406	30
46	Palencia	164644	30
47	Ávila	162514	30
48	Segovia	155652	30
49	Teruel	136977	30
50	Soria	90040	25
Posición	Comunidad Autónoma	Habitantes	Fuentes de Datos
1	Ceuta	84785	13
2	Melilla	84491	8

Tabla 5. Numero de fuentes a utilizar según la provincia.

En cuanto a la distribución del número de fuentes en los 9 tipos de aplicaciones de radiología con las que se realizó el análisis se las distribuyó en función a los datos reales que se tenía para que hubiese concordancia.

Una vez definidas las aplicaciones y la configuración general, se procede a la configuración de los centros radiológicos, el escenario contará con 52 centros radiológicos, uno por cada provincia de España, cuyo enlace de salida será de 100Mbps cada uno; los resultados obtenidos son los siguientes.

VII.2.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestra los resultados en cuanto al ancho de banda necesario en los enlaces para las provincias de Soria y Madrid, que corresponden a las provincias con un número de fuentes bajo y alto respectivamente, finalmente se muestra el ancho de banda global o de entrada en la Cloud privada.

Estos primeros resultados corresponden al fichero de 1000 Bytes.

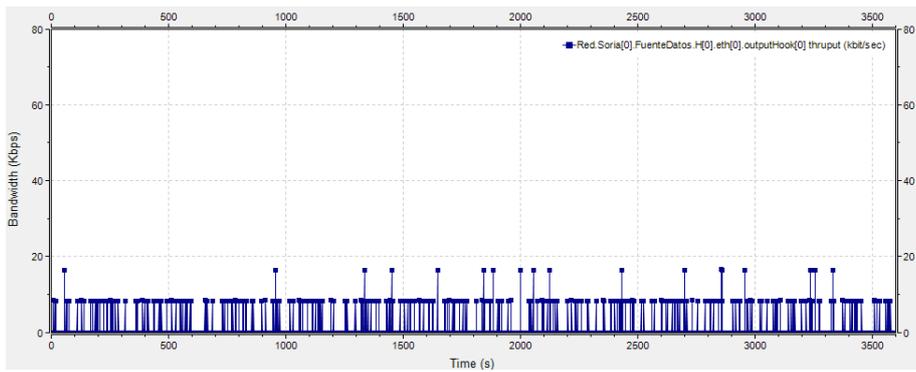


Fig. 20. Ancho de Banda provincia Soria.

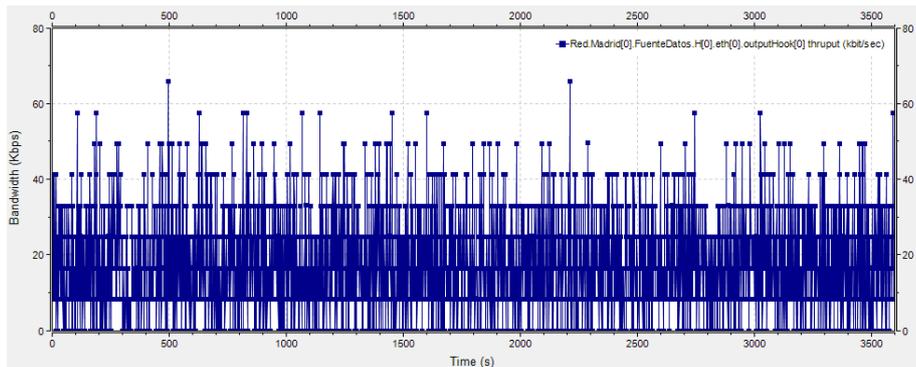


Fig. 21. Ancho de Banda provincia Madrid.

Como se aprecia el ancho de banda requerido para la provincia de Soria (fig.20) no supera los 20Kbps debido a que el número de fuentes generadoras de tráfico era bajo (25 fuentes), en tanto que para la provincia de Madrid (Fig.21) se requiere alrededor de 70Kbps para el envío de los ficheros de 1000Bytes.

Como se puede notar para las provincias con mayor población y por lo tanto con mayor número de fuentes será necesario un mayor ancho de banda para la transmisión de la información radiológica de los pacientes.

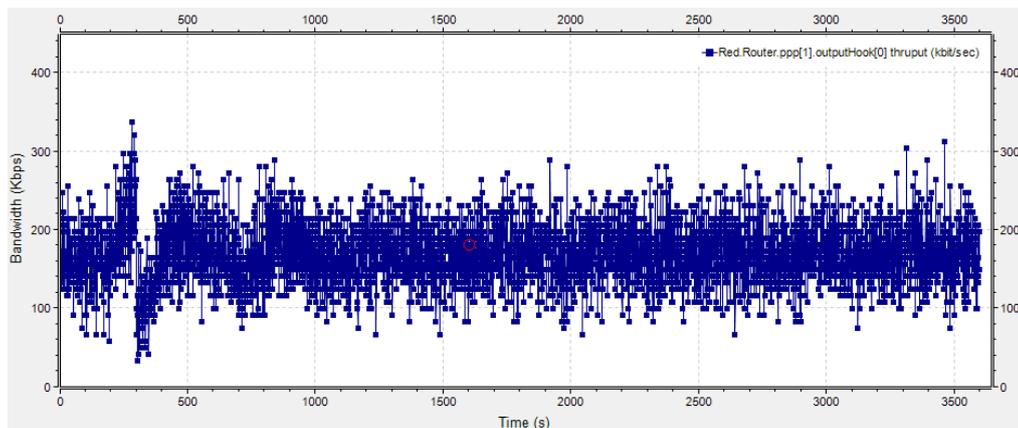


Fig. 22. Ancho de Banda utilizado en la entrada a los servidores.

En cuanto al ancho de banda global (Fig.22), sigue siendo bajo y está alrededor de los 350Kbps, por lo que la transmisión del trama de 1000 Bytes no generará congestión.

La figura 23 y 24 muestran los paquetes enviados por las fuentes y recibidos en los servidores, como se aprecia no existe pérdida de información alguna.

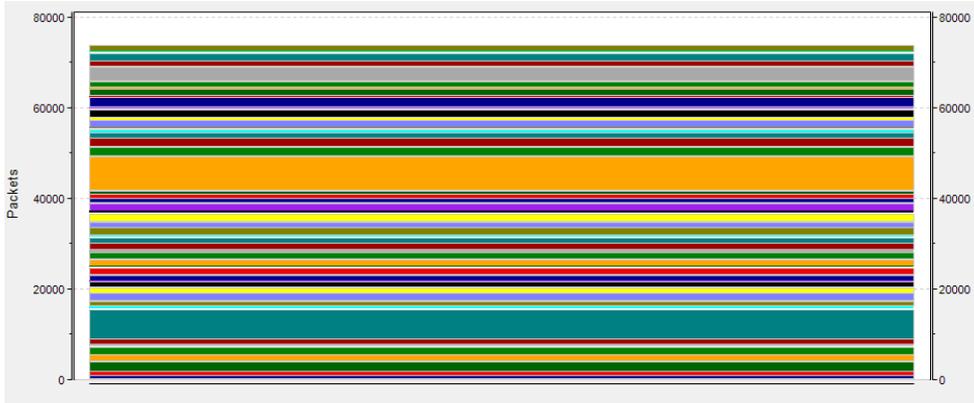


Fig. 23. Paquetes enviados por las fuentes generadoras de tráfico.

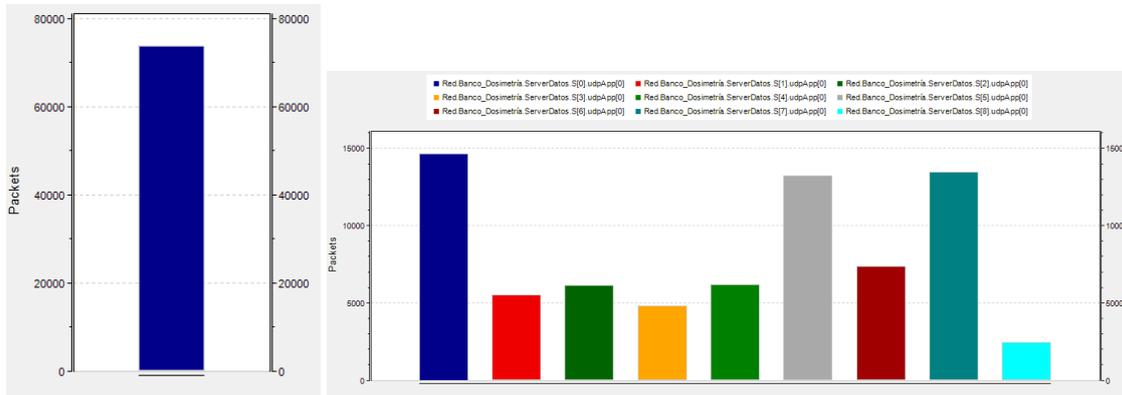


Fig. 24. Paquetes recibidos por los servidores (Valencia – Centro Nacional de Dosimetría).

Las gráficas de retardo y jitter se muestra a continuación, como se puede apreciar los valores obtenidos siguen siendo bajos, acordes a la categoría de tráfico asignada.

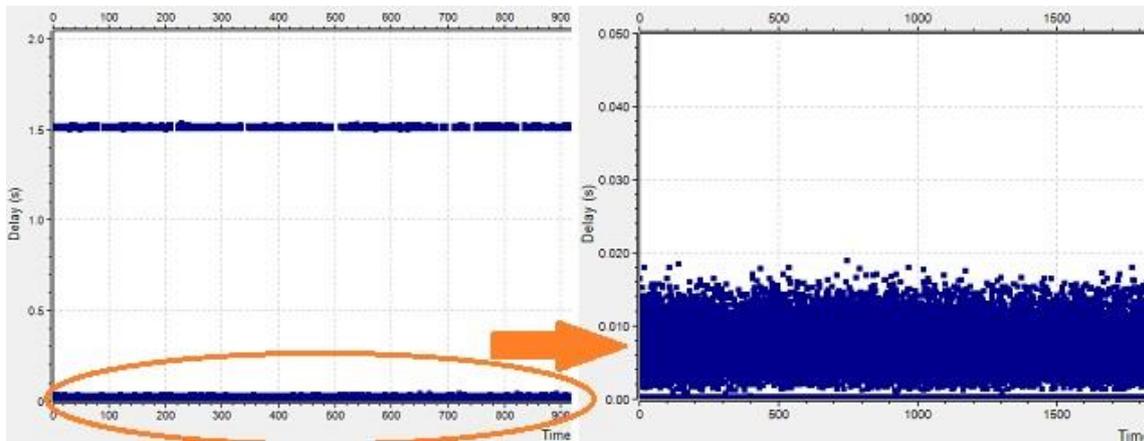


Fig. 25. Retardo en tráfico de datos.

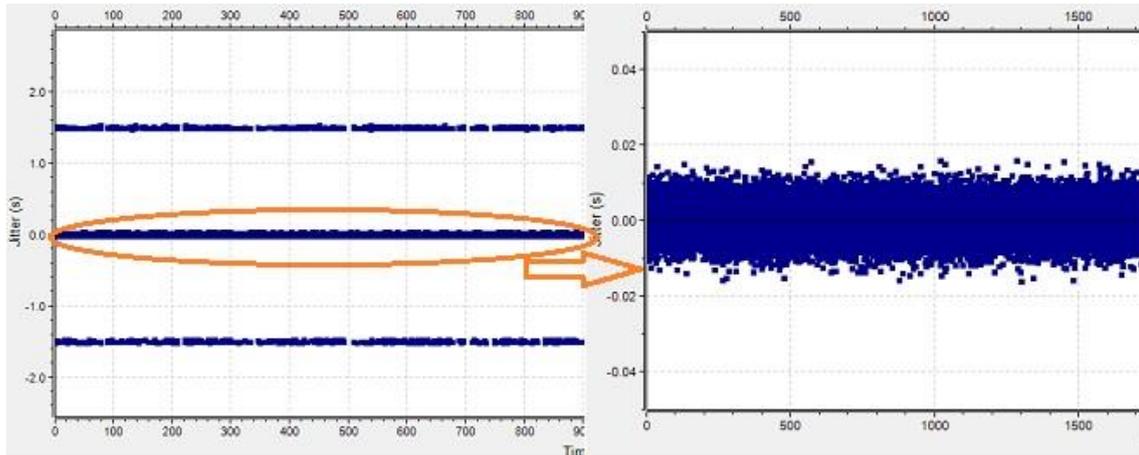


Fig. 26. Jitter en tráfico de datos.

A continuación se presentan los resultados para el sistema a nivel nacional haciendo uso del fichero de 160KBytes con la información médica asociada a pacientes.

Se presenta los resultados de ancho de banda en los enlaces para las provincias de Soria y Madrid, finalmente se muestra el ancho de banda global o de entrada en la cloud privada.

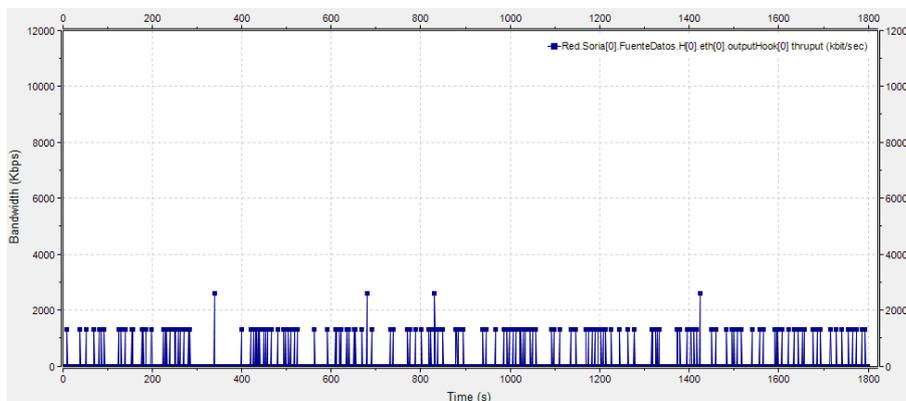


Fig.27. Ancho de Banda provincia Soria.

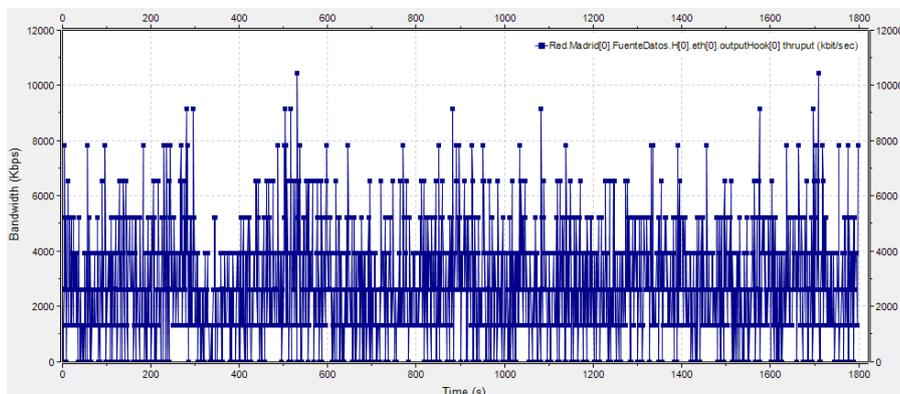


Fig.28. Ancho de Banda provincia Madrid.

En este caso mediante el envío de los ficheros de 160KBytes, se requiere un ancho de banda de alrededor de 300Kbps en el enlace de menor capacidad (Soria, fig.27) y de alrededor de 10Mbps en el enlace para Madrid (Fig.28).

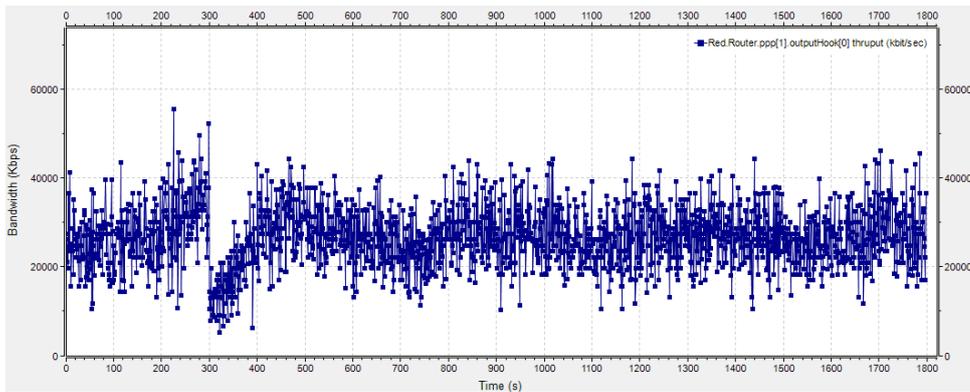


Fig. 29. Ancho de Banda utilizado en la entrada a los servidores.

En cuanto al ancho de banda global requerido (Fig.29), está alrededor de los 50Mbps, esto sería una estimación de tráfico en el sistema del Banco Nacional de Dosis a Pacientes con datos proporcionales de acuerdo al número de habitantes por provincia.

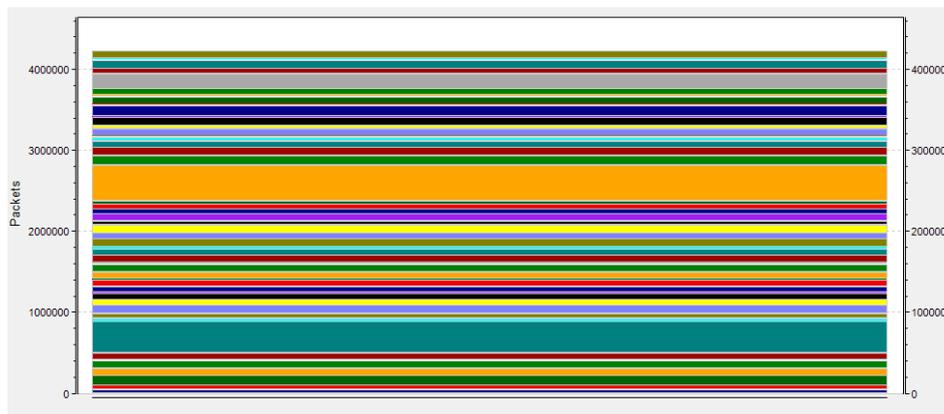


Fig. 30. Paquetes enviados por las fuentes generadoras de tráfico.

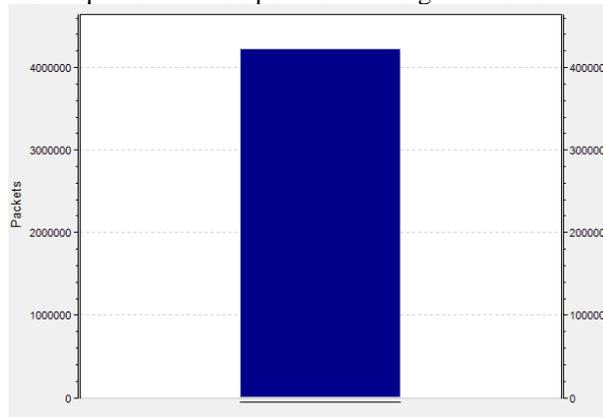


Fig. 31. Paquetes recibidos por los servidores (Valencia – Centro Nacional de Dosimetría).

En cuanto a número de paquetes enviados y recibidos, como se puede apreciar en la Fig.30 y Fig.31 no existe pérdida de información alguna.

VIII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se realizó el diseño y la simulación del sistema de comunicación asociado a un Banco Nacional de Datos de Dosis de Radiación para llevar el control de la cantidad de radiación que un paciente recibe en pruebas de diagnóstico o tratamientos curativos.

De las gráficas de tráfico se puede evidenciar que el impacto que acarrea a las redes de comunicación de cada centro no será alto, pero debido al número de estudios radiológicos que se realizan diariamente en todas las regiones de España es necesario un análisis por medio de la simulación de la red de comunicaciones.

El tiempo de simulación para el escenario fue de 60 minutos, con envíos de ficheros aleatorios cada 5 minutos, considerando un caso promedio de atención a pacientes en donde las observaciones radiológicas se realizan en la mañana o en una cierta hora del día.

El modelo arquitectónico desarrollado permite la simulación de otros tipos de tráfico como transmisión de imágenes DICOM para diagnóstico, o estudios epidemiológicos a nivel nacional. Por otra parte, una base de datos con toda la información de la inspección radiológica en España abre muchas oportunidades para mejorar la asistencia a los pacientes dentro del concepto de Smart Hospital.

Como trabajo futuro se podría realizar el análisis de la red a nivel nacional una vez que se tenga datos reales por parte del Centro Nacional de Dosimetría sobre parámetros como son: número y distribución por provincia de los centros radiológicos y el número y distribución de equipos, además del análisis con la adición de otros tipos de tráfico, como es el tráfico de voz y de datos.

AGRADECIMIENTOS

- A mi familia por el constante apoyo a lo largo de todos mis estudios, ya que han sido una pieza fundamental para culminar esta parte de mi vida profesional.
- Un agradecimiento especial a mi tutor Miguel Ángel Rodríguez, por sus acertados consejos y ayuda en el desarrollo de todo el proyecto.
- A David Gómez Cuadrado creador de la herramienta para simulación de redes All-IP con fuentes de tráfico configurables.

BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud – Radiaciones Ionizantes, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>
2. European Union. Council Directive 2013/59/EURATOM, December 5th 2013.
3. Angel Gomez-Sacristan, Miguel A. Rodriguez-Hernandez, and Victor Sempere, Evaluation of Quality of Service in Smart-Hospital Communications, *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, vol. 5, pp. 1864-1869, 2015.
4. Memoria de actividad del Centro Nacional de Dosimetría año 2015, 2015
5. DoseWatch, http://www3.gehealthcare.com/en/products/dose_management/dosewatch

6. Estándar DICOM, <http://dicom.nema.org/>
7. Telefónica, Servicio Macrolan. Disponible en: <http://www.movistar.es/grandes-empresas/soluciones> (2014) .
8. OMNeT++ User Manual Version 4.4.1, <http://www.omnetpp.org/>
9. Metro Ethernet, <https://sites.google.com/site/3cuelectronica/home/ethernet/metroethernet>
10. Población de España 2017, <http://www.enterat.com/servicios/poblacion-espana-provincias-municipios.php>
11. Rodriguez-Hernandez, M. A., Rodrigo-Boix, I., Vilar-Palop, J., & Llorca-Domaica, N. (2017, March). Preliminary study of the communications system for a National Bank of Patients Doses. In *Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*, 2017 (pp. 1-4). IEEE.
12. David Gómez Cuadrado, *Simulation of All-IP access network with configurable traffic sources*. Polytechnic University of Valencia, Spain, 2014.
13. A. Gomez-Sacristan, M. A. Rodriguez-Hernandez, V. Sempere, “Telecom Design Services in Smart-Hospital Communications”, *2016 Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*, pp. 133: 1-6, 2016.
14. International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation Y.2001: Next generation Networks General Overview (2004).
15. International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation Y.2112: A QoS control architecture for Ethernet-based IP access networks (2007).
16. International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation Y.2113: Ethernet QoS control for next generation networks (2009).
17. Cisco Systems Inc., ‘Cisco Catalyst 3650 Configuration Guide’ (<http://www.cisco.com/c/en/us/support/switches/catalyst-3650-seriesswitches/products-installation-and-configuration-guides-list.html>) (2014).

ANEXO A:
Artículo WIICT 2017

Simulation of a Communication System in Castile-La Mancha for a National Radiation Dose Data Bank

Franklin G. Jiménez-Peralta, Ángel Gómez-Sacristán, and Miguel A. Rodríguez-Hernández.

ITACA, Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain
fraji@teleco.upv.es, agomez@upv.es, marodrig@upvnet.upv.es

Abstract. The objective of this paper is to simulate a communications network associated to a National Radiation Dose Data Bank in Castile-La Mancha (Spain). The National Radiation Dose Data Bank is being developed for the control of the amount of radiation that a patient receives in diagnostic tests or curative treatments. Using a simulation tool based on Omnet ++, which uses modules of the INET Framework, a network of convergent accesses with sources of heterogeneous IP traffic was designed and configured to define several scenarios to measure the operation of the network. This tool allows the analysis of important parameters in the network performance such as bandwidth used, packet loss, end to end delay, and jitter.

1 Introduction

Ionizing radiation is a kind of energy released by the atoms in the form of electromagnetic waves capable of causing ionization in the medium that it crosses. It is able to extract electrons of their states bound to the atom, arriving in this way to modify the state of the matter. [1]

Ionizing radiation is a type of energy that can be found in various situations, either naturally in sources such as soil, water or vegetation, or artificially by sources as nuclear power generation, medical equipment for diagnostic and therapeutic purposes.

The exposure to ionizing radiation doses could lead to several dangerous effects if this is not controlled, also the doses of low-level radiation are accumulative and could have harmful effects on people's health. However, due to its use in various fields (industry, medicine, research) one should analyze the pros and cons of its use.

One of the fields where the use of ionizing radiation has been widespread and particularly beneficial is medicine, where its applications range from the sterilization of surgical material to radiological diagnostic tests or curative treatments of diseases. Despite the benefits of the use of ionizing radiation within medicine, the control of doses received by people is necessary. The European Union in its directive 2013/59 / EURATOM decrees that since 2018 all member countries should establish requirements for equipment used in radiology should have the ability to transfer the amount of radiation information produced by the equipment during the procedure to the scanning record. [2]

In a “Smart-Hospital” [3] environment, Human Type Communications (HTC) and Machine Type Communications (MTC), are sharing a common telecommunications infrastructure. Radiological equipment is a typically MTC source that generates data (text and images) in a DICOM format [8].

Smart Hospitals usually are connected to a convergent access of the Next Generation Network (NGN) in order to share data and use of applications stored in remote servers. The objective of this paper is to define a communication system which allows the transmission and exchange of radiological information of patients between each of the health centers and the National Dosimetry Center. This system called “National Dose Bank to Patients”, will allow a record of the radiation doses that patients receive throughout their lives.

This paper focuses on the optimization of the communications scenario of a Smart Hospital using a simulation tool based on Omnet ++ [4] which is specifically designed to analyze convergent access networks with heterogeneous IP traffic sources. Simulation results will be able to analyze important parameters in the performance of the network and thus evaluate the quality of communication.

The structure of this article is as follows: Section 2 shows the description of the traffic sources with the source size to use. Section 3 describes the scenario simulation and results, and finally, Section 4 contains the conclusions and future work.

2 Traffic Sources

Based on the needs of the “National Patient Dose Data Bank” project, we worked with the Machine Type Communications (MTC) category, which is related to the transfer of information, medical histories, medical images and patient monitoring.

Within this category, a degree of priority was assigned depending on how critical the service is within the network. In this way and taking as reference MacroLAN service [5], which divides the traffic into four categories: (multimedia, gold, silver and management category), it was assigned the category silver for data traffic since it will be a traffic of lower priority, where the delay is secondary, because it is necessary to store a patient's medical history, but not immediately.

The parameters used to define the behavior of data sources are: the size and number of files and the way of sending that information.

The modeling of MTC sources is done by sending files through transmission windows or distributed sessions throughout the simulation period. In each window one or more information files are sent simulating images and/or text resources, the profiles of a data source are shown in Fig.2.

The configurable parameters will be: the number of sessions to be generated, the number of files in each session, the separation between files, as well as the size of each file to send, each of these parameters can take fixed values or variables through a statistical distribution, the configuration is done through XML (Extended Markup Language) files.

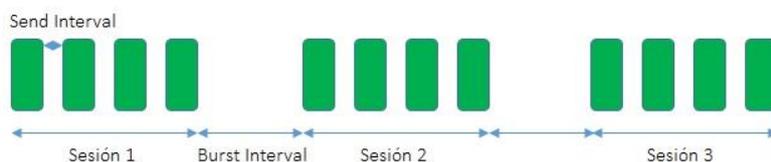


Fig.1. Profile of a data source.

Within the parameters to be configured in a data source the size and type of text resource that is generated is important because these profiles together with the number of equipment and the retransmission time will define the amount of traffic in the network.

2.1 Source size

For simulating the size of the information transmitted from the radiological equipment, two types of files have been chosen, which will contain all the information associated with a patient, necessary to control his radiological activity.

The first case with a file of a size 1000 bytes corresponds to a frame containing several fields such as: patient identification information, radiation dose received, type of observation made, among others [6].

The second file to be used will have a size of 160 KBytes, corresponds to the frame size of the system called "Dosewatch" [7], which is a radiation dose management solution designed to collect and analyze automatically irradiated patients.

This frame apart from containing the radiological information of the patients, includes a compressed image which can be used for medical review but not for diagnosis. It also works under the DICOM standard (Digital Imaging and Communication in Medicine) [8], which allows the transmission of medical images in digital format.

3 Scenario simulation and results

The first phase of the project was carried out for the region of Castile-La Mancha, for the configuration of sources were provided real data provided by the National Dosimetry Center on the amount and distribution of radiological equipment. In this phase, the scenario is characterized by a health center that aggregates all the radiological devices corresponding to each province of the Castile-La Mancha region. Each radiological device generates data traffic by sending the files with the medical information associated with a patient.

The region of Castile-La Mancha has 5 provinces: Toledo, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara and Albacete, the scheme of the network in Omnet ++ is shown in Figure 2.

The scheme of the Smart Hospital network of this project is composed of several modules: radiological center, MPLS cloud and router. Radiological center acts as traffic generator, it can characterize heterogeneous traffic sources, in this project there are nine data traffic corresponding to nine radiological equipment used in health centers. MPLS cloud performs traffic engineering, simulating the process from the traffic generation in the radiological center until traffic reaches the private cloud, using multiprotocol Label Switching (MPLS). Router is mainly used to perform QoS quality of service functions at the entrance of the private cloud which is the site where all network traffic is joined.

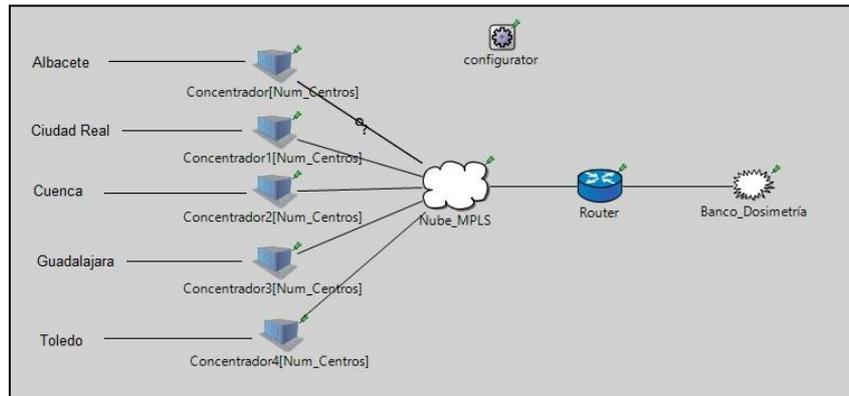


Fig. 2. Topology of the communications network for the region of Castile-La Mancha implemented in Omnet ++.

For the characterization of the generating sources, we have the information shown in Table 3, corresponding to the nine types of radiological equipment and their respective distribution in each province of Castile-La Mancha.

Table 1. Distribution of equipment in Castile-La Mancha. [9]

Radiological Equipment	Albace- te	Ciudad Real	Cuenca	Guadala- jara	Toledo	Total
Grafía	17	16	7	6	21	67
Grafía and Escopía	5	6	2	2	7	22
Computed Tomog- raphy	6	7	3	3	8	27
Mammography	6	6	2	2	7	23
Orthopatographs	2	2	2	2	3	11
Dental	17	38	11	9	23	98
Portable	6	7	3	4	13	33
Arco	17	14	4	10	27	72
Densitometers	2	0	0	0	1	3
Total	78	96	34	38	110	356

Once the traffic generating sources have been defined, the next step is to describe the quality of service (QoS) parameters taken into account which are: queue management and packet marking, each of these parameters is described below.

As for queue management, the silver traffic category is assigned a large queue size (700 packets), with the objective of minimizing packet loss, also assigning green and yellow frame dropping probabilities and a maximum queue size to discard all green frames.

The marking of IP packets is done according to the following parameters, which will be contracted with the carrier: CIR (Committed Information Rate) or average long-term traffic rate guaranteed by the operator; CBS (Committed Burst Size) or burst size compromised, relative to CIR; PIR (Peak Information Rate) or maximum traffic rate guaranteed by the operator, can never be greater than the capacity provided by the operator; PBS (Peak Burst Size) or burst size allowed, relative to the PIR.

For the treatment of the yellow frames, in this case as all traffic will be classified with silver quality, if the volume is greater than the PIR all the traffic will be discarded.

The following is an example of the configuration parameters of the router at the exit of the radiological center.

Table 2. QoS values in router radiological center.

Traffic Type	CIR	CBS	PIR	PBS
Silver	20Mbps	2.5MB	100Mbps	12.5MB

Once the QoS parameters are defined, the general configuration of the scenario is completed. A simulation period of 60 minutes is defined in permanent regime, the MPLS delay is calculated using time values given by network carrier between the National Dosimetry Center and the provinces. Finally, the analysis of both individual and global bandwidth, analysis of packet loss and delay in the network is performed.

After defining the applications and the general configuration, the radiological centers are configured, the scenario will have five centers, one for each province of the Castile-La Mancha region, whose output link will be 100Mbps.

Figures 3 to 6 show different results that reflect the behavior of the network, important parameters such as: bandwidth consumption, packet loss analysis, end-to-end delay and jitter.

First, we show the results in terms of the bandwidth required in the link for the province of Toledo which has a greater number of sources, then shows the global or input bandwidth in the private cloud, and finally, extreme to extreme delay and jitter.

All these first results correspond to the 160KBytes file. Figure 3 shows the bandwidth consumed in the province of Toledo, it is around 5Mbps.

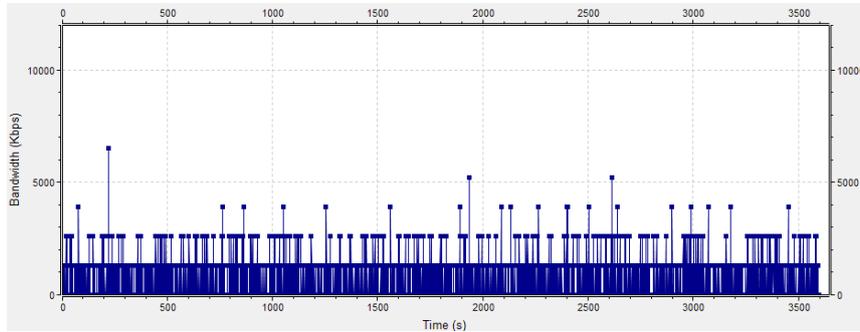


Fig.3. Bandwidth concentrator of Toledo.

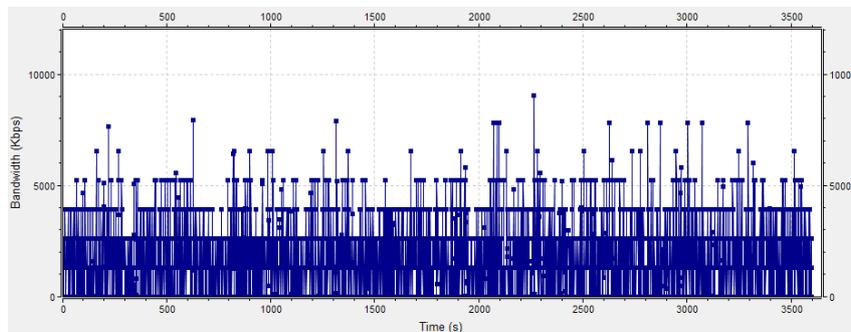


Fig.4. Traffic to the entrance of the servers (Valencia).

As shown in Fig. 4, the bandwidth required to avoid congestion at the entrance to the servers is approximately 9Mbps, so sending such information will not lead to congestion in the network.

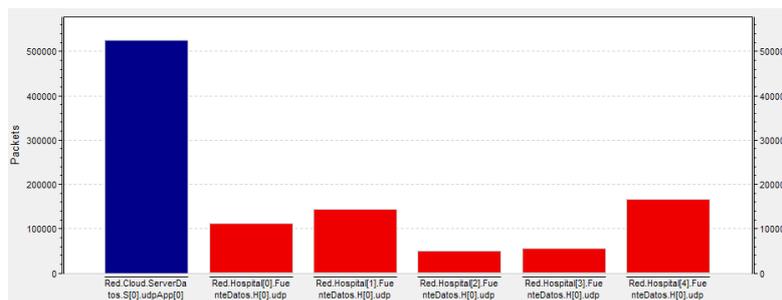


Fig.5. Packages sent and received by the servers (Valencia - CND).

Figure 5 shows the number of packets sent and received, the bars in red represent the packets sent, the bar in blue represents the packets received, in the same way it is observed that there is no loss of information.

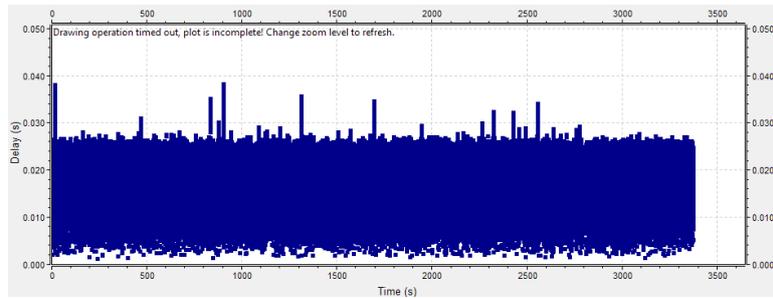


Fig.6. Delay in data traffic.

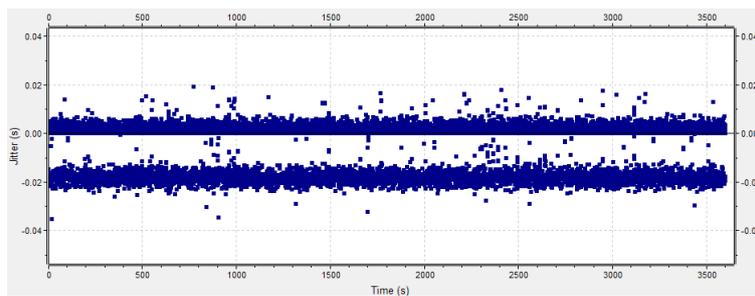


Fig.7. Jitter in data traffic.

Finally, the results of packet delay in the network transmission process and jitter or delay variations are presented (Fig. 6 and 7). The results present low values due to a scenario without congestion.

4 Conclusions and future work

The design and simulation of the communication system associated to a National Radiation Dose Data Bank was done. This system will allow the control of the amount of radiation that a patient receives in diagnostic tests or curative treatments.

The traffic graphs show that the impact of the communication networks of each center will not be high, but due to the number of radiological studies carried out daily in all regions of Spain, an analysis by means of the simulation of the communications network is necessary.

The simulation time for the scenario was 60 minutes, with random file submissions every 5 minutes, considering an average case of patient care where radiological observations are performed in the morning or at a certain time of each day.

The architectural model developed allows the simulation of other types of traffic as transmission of DICOM images for diagnosis, or national epidemiological studies. On the other hand, a database with all the information of the radiological inspection in Spain opens many opportunities to improve the attendance to the patients within the concept of Smart Hospital.

As a future work, the analysis of the network could be carried out at the national level, for which only real data are required by the National Dosimetry Center on parameters such as: number and distribution by province of the radiological centers and the number and distribution of equipment, since the network at the national level is already designed, in addition analysis is expected with the addition of other types of traffic, such as voice and data traffic.

References

1. World Health Organization - Ionizing Radiation, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>
2. European Union. Council Directive 2013/59/EURATOM, December 5th 2013.
3. Angel Gomez-Sacristan, Miguel A. Rodriguez-Hernandez, and Victor Sempere, Evaluation of Quality of Service in Smart-Hospital Communications, *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, vol. 5, pp. 1864-1869, 2015.
4. OMNeT++ User Manual Version 4.4.1, <http://www.omnetpp.org/>
5. Telefónica, Macrolan Service. Available in: <http://www.movistar.es/grandes-empresas/soluciones> (2014).
6. Rodriguez-Hernandez, M. A., Rodrigo-Boix, I., Vilar-Palop, J., & Llorca-Domaica, N. (2017, March). Preliminary study of the communications system for a National Bank of Patients Doses. In *Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*, 2017 (pp. 1-4). IEEE.
7. DoseWatch, http://www3.gehealthcare.com/en/products/dose_management/dosewatch
8. DICOM Standard, <http://dicom.nema.org/>
9. Activity Report of the National Dosimetry Center year 2015, 2015.
10. Metro Ethernet, <https://sites.google.com/site/3cuelectronica/home/ethernet/metroethernet>
11. David Gomez Cuadrado, *Simulation of All-IP access network with configurable traffic sources*. Polytechnic University of Valencia, Spain, 2014.
12. A. Gomez-Sacristan, M. A. Rodriguez-Hernandez, V. Sempere, "Telecom Design Services in Smart-Hospital Communications", *2016 Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*, pp. 133: 1-6, 2016.
13. International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation Y.2001: Next generation Networks General Overview (2004).
14. International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation Y.2112: A QoS control architecture for Ethernet-based IP access networks (2007).
15. International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation Y.2113: Ethernet QoS control for next generation networks (2009).
16. Cisco Systems Inc., 'Cisco Catalyst 3650 Configuration Guide' (<http://www.cisco.com/c/en/us/support/switches/catalyst-3650-seriesswitches/products-installation-and-configuration-guides-list.html>) (2014).