



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARQUITECTURA IPTV DE VIDEO EN TIEMPO REAL, MEDIANTE SOFTWARE LIBRE**

**NANCY CECILIA CASCO BRITO**

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**Agosto 2019**



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado **SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARQUITECTURA IPTV DE VIDEO EN TIEMPO REAL, MEDIANTE SOFTWARE LIBRE**, de responsabilidad de la Srta. **NANCY CECILIA CASCO BRITO** ha sido revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

ING. OSWALDO MARTINEZ GUNSHA MSc.

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

ING. WILLIAM CALVOPÍÑA HINOJOSA MSc.

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

ING. DARWIN CARRIÓN BUENAÑO MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

ING. DANILO BARRENO NARANJO MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

Riobamba, agosto 2019

## DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Nancy Cecilia Casco Brito, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA ARQUITECTURA IPTV DE VIDEO EN TIEMPO REAL, MEDIANTE SOFTWARE LIBRE**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Nancy Cecilia Casco Brito  
C.I.060410267-3

© **2019**, Nancy Cecilia Casco Brito

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Nancy Cecilia Casco Brito, declaro que el presente trabajo de titulación modalidad proyectos de investigación y desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo proyecto son auténticos y originales los textos constan en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, agosto 2019.

---

Nancy Cecilia Casco Brito  
C.I.060410267-3

## DEDICATORIA

### *A Dios.*

Por haberme dado la sabiduría necesaria para seguir adelante y poder culminar una meta más de mi vida.

### *A mis padres Ángel Casco y Patricia Brito.*

Por su apoyo incondicional en todo momento durante este proceso, por sus consejos por su ejemplo de perseverancia y constancia por la confianza brindada y especialmente por haberme motivado día a día con su ejemplo.

### *A mi hermano Raúl.*

Por aconsejarme, animarme y exigirme que me supere cada día.

### *A mi sobrina Brigitte.*

Por ser mi fuente de alegría e inspiración para alcanzar cada meta que me propongo.

### *A mi esposo Daniel.*

Por ser mi inspiración y guía durante este proceso.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a todas las personas que compartieron sus conocimientos conmigo, docentes de la maestría en Sistemas de Telecomunicaciones, a mi tutor Ing. William Calvopiña M.Sc., a los señores miembros del tribunal: Ing. Darwin Carrión M.Sc. Ing. Danilo Barreno M.Sc. por sus ideas y recomendaciones respecto a esta investigación ya que fueron ellos los que van marcando cada etapa del camino recorrido, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis. Gracias a mis compañeros y amigos por su gran ayuda cuando me enfrentaba con ciertos problemas.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xvi
SUMMARY .....	xvii
CAPÍTULO I.....	18
1. MARCO DE REFERENCIA .....	18
1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.2. Formulación del problema .....	18
1.3. Justificación de la investigación .....	19
1.4. Objetivos de la investigation .....	19
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	19
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	20
1.5. Hipótesis.....	20
CAPÍTULO II .....	21
2. MARCO REFERENCIAL .....	21
2.1. Estado del Arte .....	21
2.1.1. <i>IPTV</i> .....	21
2.1.2. <i>Simuladores</i> .....	23
2.2. Video Streaming .....	24
2.2.1. <i>Arquitectura Sistema Streaming</i> .....	24
2.2.2. <i>Streaming</i> .....	25
2.3. IPTV .....	27
2.3.1 <i>Arquitectura de red para IPTV</i> .....	29
2.3.2 <i>Formatos de compresión de Audio y Video utilizados en IPTV</i> .....	31
2.3.2.1 <i>Compresión de Video</i> .....	32
2.3.2.2 <i>Compresión de Audio</i> .....	34
2.3.3 <i>Modos de transmisión utilizados en IPTV</i> .....	37
2.3.4 <i>Protocolos empleados en IPTV/Videostreaming</i> .....	39
2.3.4.1 <i>Protocolos de Transporte</i> .....	39
2.3.4.2 <i>Protocolos de control de sesión</i> .....	40
2.3.4.3 <i>Protocolo de Multidifusión</i> .....	41
2.3.5 <i>Escenario de video-streaming</i> .....	42
2.3.6 <i>Consideraciones de QoS para la Implementación de IPTV</i> .....	43
2.3.7 <i>Parámetros de QoS a nivel de transporte para la IPTV</i> .....	44
2.3.8 <i>Tecnologías WAN utilizadas en IPTV</i> .....	46
2.3.8.1 <i>DSL</i> .....	47
2.3.8.2 <i>ADSL</i> .....	47



2.3.8.3	<i>VDSL</i>	47
2.3.8.4	<i>FTTH</i>	47
2.3.8.5	<i>Microondas</i>	48
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>51</b>
3.	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>51</b>
3.1.	<b>Escenario 1: Red Multicast con Tecnología GPON</b>	<b>51</b>
3.1.1	<i>Creación de un nuevo proyecto con OPNET MODELER</i>	51
3.1.2	<i>Creación de la topología de la red</i>	54
3.1.3	<i>Definición de la aplicación</i>	58
3.1.4	<i>Definición del perfil</i>	61
3.1.5	<i>Asignar la aplicación y el perfil a los nodos</i>	64
3.1.6	<i>Estadísticas para visualizar</i>	67
3.1.7	<i>Correr la simulación y visualizar resultados</i>	69
3.2.	<b>Escenario 2 Red basada en Tecnología ADSL</b>	<b>71</b>
3.3.	<b>Simulación con GNS3 y VLC</b>	<b>73</b>
<b>CAPITULO IV</b>		<b>78</b>
4.	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>78</b>
4.1.	<b>Análisis de las simulaciones</b>	<b>78</b>
4.1.1	<i>Gráfica GPON VS ADSL con Delay</i>	78
4.1.2	<i>Gráfica GPON vs ADSL respecto a la transmisión de paquetes de video</i>	79
4.1.3	<i>Grafica flujo de voz GPON VS ADSL</i>	80
4.1.4	<i>Gráfica de paquetes HTTP GPON VS ADSL</i>	82
4.1.5	<i>Mediciones para la transmisión del servicio de televisión</i>	83
4.1.6	<i>Mediciones para la transmisión del servicio de VoD</i>	84
4.1.7	<i>Ancho de banda mínimo requerido para el servicio de IPTV</i>	85
4.1.8	<i>Ancho de banda según el requerimiento de los usuarios</i>	86
4.2.	<b>Comprobación de las hipótesis</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>90</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>92</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Diferencias entre IPTV y televisión por internet.....	27
<b>Tabla 2-3:</b> Características técnicas del Servidor .....	73
<b>Tabla 3-3:</b> Características técnicas de los clientes .....	73
<b>Tabla 4-4:</b> Valores de retardo y jitter para el servicio de televisión .....	83
<b>Tabla 5-4:</b> Valores de retardo y jitter para el servicio VoD .....	84
<b>Tabla 6-4:</b> Ancho de banda mínimo para IPTV .....	85
<b>Tabla 7-4:</b> Número de usuarios del servicio IPTV en un día .....	86
<b>Tabla 8-4:</b> Número de usuarios del servicio IPTV en 1 mes .....	86
<b>Tabla 9-4:</b> Número de usuarios de IPTV en 1 mes .....	87
<b>Tabla 11-4:</b> Valor de frecuencia observadas .....	88
<b>Tabla 12-4:</b> Valor de frecuencia esperadas .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b> Arquitectura de un Sistema Streaming Básico.....	25
<b>Figura 2-2.</b> Streaming de audio y video.....	25
<b>Figura 3-2.</b> Sistema IPTV .....	28
<b>Figura 4-2.</b> Arquitectura IPTV .....	29
<b>Figura 5-2.</b> HeadEnd IPTV.....	30
<b>Figura 6-2.</b> Métodos de transmisión .....	30
<b>Figura 7-2.</b> Funcionamiento de MPEG.....	34
<b>Figura 8-2.</b> Transmisión <i>Unicast</i> . .....	37
<b>Figura 9-2.</b> Transmisión Multicast .....	38
<b>Figura 10-2.</b> Comparación protocolos RSTP y RTP. ....	41
<b>Figura 11-2.</b> Protocolo IGMP .....	41
<b>Figura 12-2.</b> Sesión video Streaming.....	42
<b>Figura 13-2.</b> Pasos de sesión de video-streaming.....	43
<b>Figura 14-2.</b> Denominación FTTH. ....	48
<b>Figura 15-3.</b> Nuevo proyecto en OPNET Modeler.....	51
<b>Figura 16-3.</b> Nuevo proyecto opción Project .....	52
<b>Figura 17-3.</b> Nombre del Proyecto y escenario que se está creando.....	52
<b>Figura 18-3.</b> Selección de topología inicial.....	52
<b>Figura 19-3.</b> Especificación del tamaño del escenario. ....	53
<b>Figura 20-3.</b> Selección de tecnologías a utilizar. ....	53
<b>Figura 21-3.</b> Resumen de la topología a crear. ....	54
<b>Figura 22-3.</b> Ambiente listo para crear la red.....	54
<b>Figura 23-3.</b> Creando la Red con la herramienta Rapid Configuration .....	55
<b>Figura 24-3.</b> Selección de topología de tipo estrella.....	55
<b>Figura 25-3.</b> Configuración con la herramienta Rapid Configuración. ....	56
<b>Figura 26-3.</b> Topología en estrella creada con Rapid Configuration.....	56
<b>Figura 27-3.</b> Topología final creada con Rapid Configuración. ....	57
<b>Figura 28-3.</b> Objetos arrastrados al espacio de trabajo desde Object Palette Tree.....	57
<b>Figura 29-3.</b> Topología GPON creada. ....	58
<b>Figura 30-3.</b> Application Config y Profile Config listos en el área de trabajo. ....	58
<b>Figura 31-3.</b> Configuración Application Config.....	59
<b>Figura 32-3.</b> Configuración de atributos Name y Number of Rows.....	59

<b>Figura 33-3.</b> Definición del nombre para el servicio de TV.....	60
<b>Figura 34-3.</b> Selección de la descripción del servicio para TV.....	60
<b>Figura 35-3.</b> Configuración del servicio de navegación.....	61
<b>Figura 36-3.</b> Configuración del servicio de voz.....	61
<b>Figura 37-3.</b> Configuración Profile Config.....	62
<b>Figura 38-3.</b> Definición del atributo name y selección de Number of Rows. ....	62
<b>Figura 39-3.</b> Configuración de Profile Config. ....	63
<b>Figura 40-3.</b> Asignación de las aplicaciones al perfil creado. ....	63
<b>Figura 41-3.</b> Perfil con todas las aplicaciones ya asignadas.....	64
<b>Figura 42-3.</b> Selección de nodos similares.....	64
<b>Figura 43-3.</b> Editar atributos de las estaciones de trabajo .....	65
<b>Figura 44-3.</b> Activación de la aplicación soporte todos los servicios.....	65
<b>Figura 45-3.</b> Configuración del perfil en los nodos.....	66
<b>Figura 46-3.</b> Selección del perfil para los nodos.....	66
<b>Figura 47-3.</b> Aplicando configuración a todos los nodos seleccionados.....	67
<b>Figura 48-3.</b> Selección de Estadísticas para Visualizar. ....	68
<b>Figura 49-3.</b> Habilitando estadísticas que visualizaremos.....	68
<b>Figura 50-3.</b> Ventana para comenzar la simulación.....	69
<b>Figura 51-3.</b> Finalización de la simulación correctamente.....	69
<b>Figura 52-3.</b> Visualizar Resultados de la simulación. ....	70
<b>Figura 53-3.</b> Selección de Resultados a visualizar.....	70
<b>Figura 54-3.</b> Selección de tecnología ethernet y xDSL. ....	71
<b>Figura 55-3.</b> Configuración Rapid Configuration.....	72
<b>Figura 56-3.</b> Topología final con tecnología ADSL.....	72
<b>Figura 57-3.</b> Configuración Servidor VLC.....	74
<b>Figura 58-3.</b> Visualización del usuario. ....	74
<b>Figura 59-3.</b> Visualización del usuario. ....	75
<b>Figura 60-3.</b> Resumen de paquetes capturados por Wireshark en el servidor VLC.....	75
<b>Figura 61-3.</b> Gráfica captura de paquetes durante la tx del streaming de video.....	76
<b>Figura 62-3.</b> Resumen más detallado de los paquetes capturados por Wireshark.....	76
<b>Figura 63-3.</b> Gráfica captura de paquetes durante la recepción de streaming de video.....	77
<b>Figura 64-4.</b> Delay sobre la Red GPON .....	79
<b>Figura 65-4.</b> Delay sobre la red ADSL .....	79
<b>Figura 66-4.</b> Video sobre la red ADSL.....	80

<b>Figura 67-4.</b> Video sobre la red GPON.....	80
<b>Figura 68-4.</b> Voz sobre la red GPON.....	81
<b>Figura 69-4.</b> Voz sobre la red ADSL. ....	81
<b>Figura 70-4.</b> HTTP sobre la red GPON. ....	82
<b>Figura 71-4.</b> HTTP sobre la red ADSL.....	82
<b>Figura 72-4.</b> Perdida de paquetes con RSTP .....	83
<b>Figura 73-4.</b> Perdida de paquetes con HTTP .....	84
<b>Figura 74-4.</b> Perdida de paquetes con RSTP .....	85
<b>Figura 75-4.</b> Perdida de paquetes con HTTP .....	85
<b>Figura 76-4.</b> Gráfica de chi cuadrado. ....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** Descarga e Instalación Gns3

**ANEXO B:** Configuración de GNS3 para su uso

**ANEXO C:** Descarga e Instalación OPNET MODELER

## ABREVIATURAS

### ACRÓNIMO DESCRIPCIÓN

<b>IPTV</b>	Televisión por Protocolo de Internet
<b>TIC</b>	Tecnología de la Información y Comunicación
<b>DTV</b>	Televisión digital
<b>TDT</b>	Televisión Digital Terrestre
<b>HD</b>	Alta Definición
<b>SD</b>	Definición Estandar
<b>ADSL</b>	Línea asimétrica de abonado digital.
<b>GPON</b>	Red óptica pasiva con capacidad de 1 Gigabit
<b>IP</b>	Protocolo de Internet
<b>QoS</b>	Calidad de Servicio
<b>QoE</b>	Calidad de Experiencia
<b>MPEG</b>	Moving Picture Experts Group.
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcasting.
<b>HTTP</b>	Protocolo de Transferencia de Hipertexto.
<b>HTTPS</b>	Protocolo Seguro de Transferencia de Hipertexto.
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol.
<b>VoD</b>	Video Bajo Demanda.
<b>SDTV</b>	Standard-Definition Television.
<b>HDTV</b>	High Definition Television.
<b>RFC</b>	Request for Comments.
<b>PON</b>	Passive Optical Network.
<b>OLT</b>	Linea Optica Terminal.
<b>ONT</b>	Optical Network Termination.
<b>RTSP</b>	Protocolo de Transmission en Tiempo Real.
<b>MPLS</b>	Multiprotocol Label Switching.
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network.
<b>DSLAM</b>	Digital Subscriber Line Access Multiplexer.
<b>VDSL</b>	Very high bit-rate Digital Subscriber.
<b>HDSL</b>	High Bit Rate Digital Suscriber Line.

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue evaluar las principales características en el servicio de contenidos de televisión y video por demanda, a través de la simulación de una arquitectura IPTV mediante software libre. Se identificaron los parámetros a nivel de red que afectan la QoS como: Delay, variación del retardo (jitter), pérdida de paquetes, ancho de banda, así como también el tipo de protocolo (RTSP y HTTP) utilizado para la transmisión del servicio, a nivel de usuario estos parámetros afectan en la visualización del video. Para la simulación se utilizó dos escenarios: el primero una red Multicasting con tecnología GPON, el segundo una red Multicasting con tecnología ADSL mediante el software libre Opnet Modeler que ahora se conoce como River Modeler, y el software GNS3. De los resultados obtenidos se tiene que la arquitectura IPTV Multicast con GPON es mucho más eficiente que una arquitectura IPTV Multicast con ADSL, ya que a más de ser un medio confiable y seguro brinda mayor velocidad de transmisión alcanzando los 1.2 Gbps en un enlace ascendente y los 2.4 Gbps en un enlace descendente, tiene un menor delay lo que indica que la visualización del contenido multimedia es más fluido y eficiente, permite una mayor cantidad de paquetes enviados y recibidos. Además, se puede concluir que el protocolo HTTP presentó un mejor desempeño en comparación a RSTP, ya que mostró menores pérdidas y menor retardo.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <TELEVISIÓN POR PROTOCOLO DE INTERNET (IPTV)>, <OPNET MODELER (SOFTWARE) >, <CALIDAD DE SERVICIO (QoS)>



## SUMMARY

The objective of this project was to evaluate the main features in the television and video content service on demand, through the simulation of an IPTV architecture through free software. We identified the parameters at the network level that affect the QoS such as: Delay, variation of the delay (jitter), packet loss, bandwidth, as well as the type of protocol (RTSP and HTTP) used for the transmission of the service, at the user level, these parameters affect the video display. For the simulation, two scenarios were carried out: the first a Multicasting network with GPON technology, the second a Multicasting network with ADSL technology using the free software Opnet Modeler that is now known as River Modeler, and the GNS3 software. From the results obtained, the IPTV Multicast architecture with GPON is much more efficient than an IPTV Multicast architecture with ADSL, since besides being a reliable and secure means it provides a higher transmission speed reaching 1.2 Gbps in an uplink and the 2.4 Gbps in a downlink, has a lower delay which indicates that the visualization of multimedia content is more fluid and efficient, allows a greater number of packets sent and received. In addition, it can be concluded that the HTTP protocol presented a better performance in comparison to RSTP, since it showed lower losses and lower delay.

**Keywords:** <TECHNOLOGY OF ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <TELEVISION BY INTERNET PROTOCOL (IPTV)>, <OPNET MODELER (SOFTWARE)>, <QUALITY OF SERVICE (QoS)>



## CAPÍTULO I

### 1. MARCO DE REFERENCIA

#### 1.1 Planteamiento del problema

Con la evolución de la televisión aparecieron nuevos métodos de transmisión de alta velocidad como son la televisión digital, por internet y satelital, por lo cual los usuarios han preferido adquirir un nuevo televisor debido a la calidad de señal y la fácil manipulación de la programación; esto a su vez deja obsoleta la televisión analógica.

En Ecuador la tendencia por parte de los usuarios es la contratación del servicio de televisión satelital, así como la adquisición de Smart-tv (las mismas que funcionan con direcciones IP), sin embargo, la calidad del servicio se ve afectada ya que no se consideran adecuadamente los parámetros de desempeño de red.

#### 1.2. Formulación del problema

Gracias a los avances tecnológicos y el aumento de la velocidad en la conexión a internet las telecomunicaciones han evolucionado, esto no solo es evidente en la modernización de la infraestructura, instalaciones y nuevas tecnologías, sino también en el ofrecimiento de nuevos servicios y productos que hace tiempo estaban fuera de alcance de las personas.

Con la introducción de la tecnología de video digital, se ofrece a los operadores de telecomunicaciones servicios multimedia para televisores que utilizan redes administradas basadas en IP (servicios de IPTV).

El servicio de IPTV incorpora los requisitos de triple play, el creciente interés en esta tecnología está siendo impulsado por los notables avances tecnológicos digitales y dispositivos electrónicos de consumo, tecnologías de redes de banda ancha, servicios Web, así como el incremento en la demanda de entretenimiento (habilitados por la disminución de los costos de las tecnologías de hardware y software) de los consumidores y los proveedores de contenidos.

Un parámetro fundamental en la transmisión de IPTV es la calidad de servicio que se ve afectada por las condiciones físicas y la configuración de la red (Delay, variación del retardo (jitter), pérdida de paquetes, ancho de banda, protocolos de transmisión RTSP y HTTPS).

Tomando en cuenta los parámetros para el análisis de la calidad de servicio. ¿Cuáles serían las mejores características, parámetros, y medios de transmisión para el mejoramiento de la calidad de servicio?

### **1.3. Justificación de la investigación**

IPTV se muestra como el resultado del gran auge de conexiones a Internet y del avance tecnológico que ha permitido ofrecer a los usuarios un incremento en el ancho de banda, pero aun costo menor. Este servicio hace posible brindar nuevas opciones de entretenimiento y modos de comunicación, y la generación de mayores ingresos en el caso de las empresas que lo ofrecen aprovechando y explotando las infraestructuras ya existentes.

Una de las principales ventajas de la investigación propuesta es que puede ser utilizada por organizaciones en general, sin importar su tamaño, sector, fines o cultura organizacional, no necesariamente debe ser del campo de las telecomunicaciones, pues el hecho de que haya internet de por medio conlleva a que muchas pequeñas o medianas empresas utilicen este servicio para sus fines comunes.

Con lo anterior, en el ámbito tecnológico, el estudio proporcionará a las organizaciones una nueva forma de ver la televisión, ya que ésta se transformará en algo similar a la red internet, al verse desplazada la distribución de material programado por sus proveedores, a favor de un sin número de contenidos y aplicaciones bajo demanda que se pueden bajar de la red, de tal forma que el control de lo que se despliega pasa del proveedor al consumidor, quien generará su propia programación a partir de múltiples proveedores internacionales, y disfrutará del contenido cuando y donde quiera, dado que IPTV utiliza una red en ambos sentidos, se contempla además ofrecer una gran cantidad de servicios interactivos.

IPTV es una nueva tendencia de transmisión de televisión compatible con dispositivos inteligentes como: Smartphone, tabletas, televisores inteligentes o computadores personales y de escritorio; de esta manera se incrementa el número de usuarios y dispositivos que pueden recibir la señal de televisión.

### **1.4. Objetivos de la investigación**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Simular y evaluar una arquitectura IPTV de video en tiempo real, mediante software libre.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Revisar el estado del arte referente a la tecnología IPTV.
- Simular una arquitectura para transmisión de TV mediante protocolo de internet en tiempo real, utilizando software libre.
- Evaluar mediante la comparación de una red GPON y una red ADSL las características, y parámetros mínimos que debe tener una red IPTV para determinar calidad de servicio.

### **1.5. Hipótesis**

Una arquitectura IPTV con tecnología GPON y la utilización del protocolo HTTP ofrece mejores resultados en los parámetros para la transmisión de servicios, además logra alcanzar una mejor escalabilidad y menor pérdida de paquetes.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Estado del Arte

##### 2.1.1. IPTV

El avance en el desarrollo de las tecnologías, así como en las prestaciones en el ancho de banda, codificación y protocolos han logrado que mejore la calidad en servicios como en el caso de IPTV, motivo por el cual la demanda también ha incrementado notablemente. Según el grupo de expertos de la UIT en IPTV, IPTV Focus Group, afirman que el servicio de IPTV debe poseer una adecuada QoS, seguridad, interactividad y fiabilidad, razón por la cual el servicio de IPTV debe tener una correcta QoS y una adecuada QoE para satisfacer las necesidades de los usuarios finales. Así pues, se requiere tecnologías de transmisión, como la multicast, junto con algoritmos de gestión (Jimenez y col. 2015) que solucionen problemas de congestión, retardo, jitter, paquetes perdidos, etc. y así garantizar la QoE.

Uno de los principales problemas de la oferta multicast de televisión son los cuellos de botella que se producen cuando hay una petición masiva de un mismo canal de IPTV, la solución es multiplexar la transmisión multicast y utilizar el sistema de codificación adecuado (Ng, Liew y Lin 2005). Una desacertada codificación del flujo de vídeo podría afectar claramente a la QoE, así como a la compatibilidad con los navegadores, con los frames por segundo de algunos países, con los sistemas operativos, etc. tal como se ha analizado en (Lopez-Herreros y col. 2015). En (Imran, Mellia y Meo 2007) proponen la combinación de CBR y VBR así como el número ideal de Intra-Imágenes dentro de la secuencia GOP para confeccionar un flujo de tramas más eficaz.

Para garantizar la QoE en un sistema de IPTV o VoD se debe tener en cuenta los parámetros que intervienen en la transmisión de flujo de video como son: pérdida de paquetes, tasa de bit, etc. En la investigación (Juluri, Tamarapalli y Medhi 2016) han estudiado como a partir de las cabeceras de los paquetes (TCP, RTP, UDP, IP etc.) se puede obtener este tipo de información durante la transmisión. Además, han hecho una recopilación de actuales técnicas de entrega de video VoD, métricas de QoE, métodos de medición de la QoE y modelos predictivos de la QoE.

El uso de la TV digital, a través de transmisiones de vídeo digital, dio lugar a otros estándares de difusión de TV como: TV móvil (Carlsson y Walden 2007) y transmisiones de vídeo digital

portátiles (Digital Video Broadcasting Handheld (DVB-H)). Actualmente, la entrega de televisión móvil para teléfonos, tablets y dispositivos móviles está teniendo gran éxito. Para poder ser integrados se necesita de los requisitos recomendados en la (ITU- T/FG/IPTV-DOC-0147 2007).

También son necesarias técnicas relacionadas con la monitorización del tráfico en tiempo real en este tipo de redes con el fin de garantizar tanto la QoS como la QoE (Gupta y Dureja 2015). A mediados del 2012 todavía no se había publicado ningún sistema que determinara los parámetros de QoS en una red móvil de IPTV necesarios para garantizar la QoE del usuario final durante transmisiones entre dispositivos móviles y redes multimedia. Este tema ha sido tratado con gran profundidad por nuestro grupo de investigación en (Lloret y col. 2011b).

La necesidad de itinerancia entre diferentes tecnologías inalámbricas es relativamente reciente. Con el fin de solucionar este problema se desarrolló el estándar (IEEE/STD/802.21 2008) que fue publicado en noviembre del 2008. Su objetivo es proporcionar mecanismos que optimicen el paso entre redes IEEE 802 heterogéneas sin mermar la QoE del usuario. Uno de estos mecanismos consiste en añadir inteligencia a nivel de la capa de enlace. En (Dai y col. 2008) los autores presentan un eficiente mecanismo de traspaso vertical (vertical-handover) entre redes WiMAX y WIFI sin que esto implique ningún cambio en la red.

Proponen un sistema basado en 2 avisos o disparadores (triggers): uno indica si la conexión se va a perder y el otro si el rendimiento, dado por la velocidad de datos y de la carga de la red, no es el idóneo. Cabe decir que esta propuesta no garantiza la QoS. Sin embargo, es de mucho interés para nosotros dado que si existe un usuario que requiere mayor ancho de banda habrá la posibilidad de cambiarlo a otra red que cumpla con los requisitos, aunque sea de otra tecnología diferente. Este planteamiento ha sido adaptado a nuestro sistema de gestión.

En los últimos años, las tecnologías de acceso inalámbricas de banda ancha han evolucionado espectacularmente. Su alcance va desde los estándares IEEE 802 a los sistemas 3GPP-LTE y 4G (Ohmori, Yamao y Nakajima 2000). Todos ellos han estado compitiendo por llegar a ser la tecnología inalámbrica más importante mejorando cada vez más sus características y rendimiento. Los sistemas 4G, basados completamente en IP, asumen la combinación de varias tecnologías como la mejor opción para proporcionar acceso inalámbrico de banda ancha para redes móviles. Avances en los que se sugieren la interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX) y Long Term Evolution (LTE) son la base tecnológica para la implementación de sistemas 4G (Kuran y Tugcu 2007).

Este trabajo de investigación consiste en realizar una evaluación de los servicios multimedia de una red IPTV comprobando el rendimiento de transmisiones de flujo de vídeo a través de la tecnología ADSL y de fibra óptica. En los servicios multimedia destaca la tecnología Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) (Holma, Kristensson y Kaikkonen 2010). MBMS se centra en la difusión multimedia en redes 3G, como podría ser la distribución de televisión a través de un canal compartido por todos los usuarios que están viendo un programa en la misma zona. MBMS complementa el Speed Downlink Packet Access High (HSDPA) (Chaudhry y Khan 2009) mediante el soporte de la carga en zonas densas (con muchos usuarios) y asegura el uso eficiente del ancho de banda de la red.

### *2.1.2. Simuladores*

**OPNET MODELER.** - En los últimos años se ha observado la aparición de nuevos servicios que realizan un consumo de recursos muy alto, tanto a nivel de la red como de las propias máquinas. Esto puede provocar funcionamientos defectuosos debido a la baja capacidad de las redes y los propios equipos. En algunos casos la implantación de estos servicios podría influir negativamente en partes del sistema que funcionaban correctamente.

La realización de un análisis previo que permita determinar el impacto que dichos servicios pueden provocar, evitará los problemas que pudieran surgir y el consecuente descontento de los usuarios de la red. Además de evitar grandes pérdidas económicas OPNET (Optimized Network Engineering Tools) Technologies, Inc. es un proveedor líder de soluciones para la gestión del rendimiento de aplicaciones y redes. Ofrece la mejor solución para: la gestión del rendimiento de aplicaciones, la gestión del rendimiento de la red y la red I+D. Ofrece una amplia visibilidad y control entre dominios de infraestructura, así como la recopilación de datos y análisis profundo para poder hacer un diagnóstico poderoso sobre la raíz del problema. El software OPNET ha sido probado en miles de entornos de clientes en todo el mundo incluidas empresas y gobierno, los organismos de defensa, proveedores de servicios de red y fabricantes de equipos.

La compañía fue fundada en 1986 y comenzó a cotizar en el año 2000. Su sede reside en Bethesda, Maryland, y cuenta con oficinas en Cary, Carolina del Norte, Nashua, Nuevo Hampshire, Dallas, Texas y Santa Clara, California. Cuenta con oficinas internacionales en Slough, Reino Unido, París, Francia; Gante, Bélgica; Frankfurt, Alemania e Ingapur con el personal y los consultores en múltiples lugares en Asia y América Latina. El 29 de octubre de 2012 fue adquirida por la tecnología Riverbed. Riverbed es una compañía de tecnología especializada en la mejora del rendimiento de redes y aplicaciones en red. Fue fundada el 23 de mayo de 2002 por Jerry

Kennelly y McCanne Steve en San Francisco, California, donde se mantiene su sede mundial. Su producto insignia es Steelhead Appliance, un dispositivo de red que combina varias técnicas para optimizar el tráfico de datos y la utilización del ancho de banda a través de una red de área ampliada.

Entre los distintos productos que OPNET posee se encuentra OPNET Modeler para el modelado y simulación.

**GNS3.-** Es un entorno gráfico que permite emular entornos de red complejos con dispositivos de diferentes fabricantes, tan solo eligiendo los componentes que se deseen y arrastrándolos al área de trabajo, con la opción de conectarlos mediante interfaces predefinidas entre sí, y la integración de máquinas virtuales creadas externamente por otras aplicaciones. Esta forma tan fácil de crear topologías complejas hace a GNS3 una herramienta perfecta para el entrenamiento y familiarización con dispositivos de red.

## **2.2. Video Streaming**

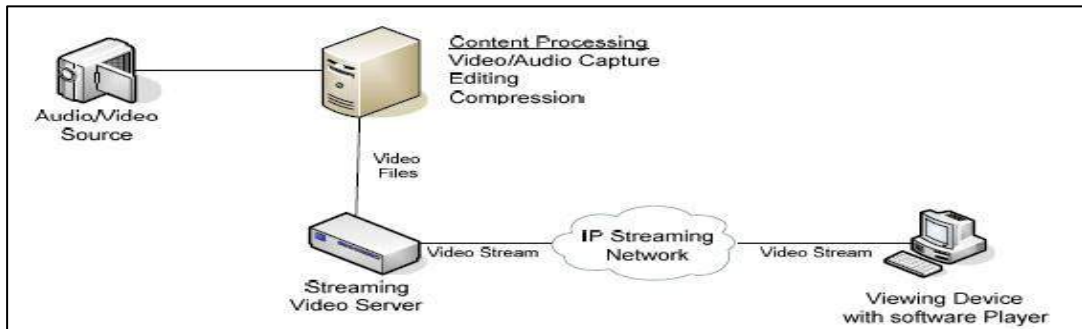
El streaming es una técnica de distribución de video que no requiere la descarga del archivo completo al computador para visualizarlo. Es decir, el video se reproduce conforme se va recibiendo y se desecha posteriormente. Antes de esta tecnología la reproducción de contenido multimedia a través de internet implicaba que era necesario descargar completamente el archivo al disco duro local. (Carrillo, 2008)

Como los archivos de audio y en particular los archivos de video tienden a ser muy grandes, su descarga y acceso son procesos muy lentos. Sin embargo, con esta tecnología un archivo puede ser descargado y reproducido al mismo tiempo, con lo que el tiempo de espera se reduce considerablemente. (Carrillo, P. 2008)

### **2.2.1. Arquitectura Sistema Streaming**

Cuando se implementa un sistema streaming se requiere una determinada arquitectura. Una de las piezas fundamentales es el servidor de streaming, el cual tiene la responsabilidad de entregar el video justo cuando es requerido. Otra pieza fundamental es el software reproductor que recibe la señal de video entrante desde la red IP y genera la imagen en la pantalla del usuario. La pieza final del sistema es la estación de preparación del contenido y la red de transporte entre el servidor y el dispositivo de visualización. (Carrillo, 2008). La figura 1-2 muestra la arquitectura básica de un sistema streaming.



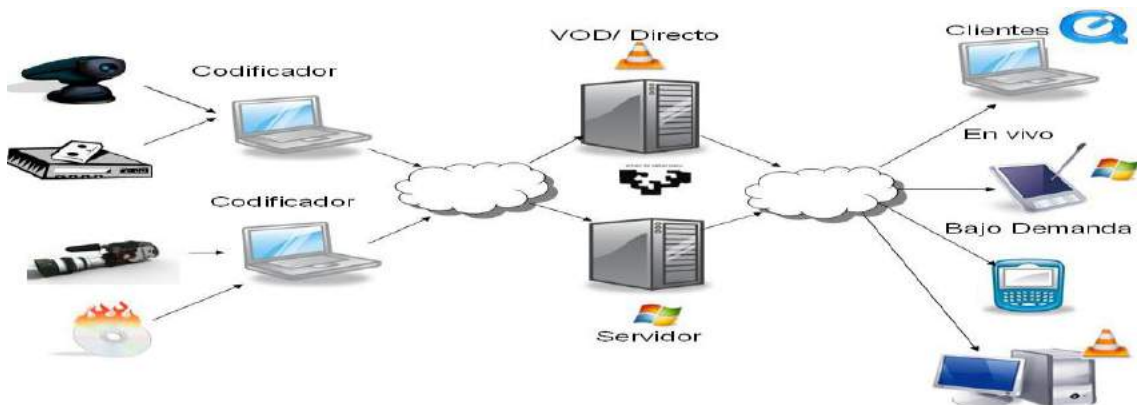


**Figura 1-2. Arquitectura de un Sistema Streaming Básico.**

Fuente: Carrillo, 2008

### 2.2.2. Streaming

Un streaming es la transmisión en forma continua e ininterrumpida de audio y/o vídeo a través de Internet, desde una máquina denominada servidor hacia una o varias máquinas que actúan como clientes; es decir, José por mencionar algún nombre, puede ser el servidor y realizar streaming de vídeo a través de Internet, mientras que en cualquier lugar del mundo con acceso a Internet pueden estar uno o varios amigos de José recibiendo el stream de vídeo que les está enviando desde su computadora. Se puede observar que se mencionan dos conceptos nuevos, streaming y stream; se puede definir como stream a la información que se envía del origen a uno o varios destinos; mientras que streaming sería la acción de transmitir esa información. (Carrillo, 2008).



**Figura 2-2. Streaming de audio y vídeo**

Fuente: <http://www.v-espino.com/~chema/smr2/practicas/p70.html>

### Tipos de streaming

Existen dos tipos de streaming, por demanda y en directo, a continuación, se describe cada uno de ellos y cómo funciona: (Carrillo, P. 2008)

- **Por demanda**

Éste se refiere a la transmisión de contenido multimedia almacenado en un servidor y que puede ser visualizada en cualquier momento. El mejor ejemplo de este tipo es de nuevo Youtube, ya que en él se pueden encontrar millones de vídeos, que han sido subidos por gente de todo el mundo, los cuales se pueden visualizar cuando es requerido sin importar la hora.

- **En directo**

A diferencia del streaming por demanda que puede ser visto en cualquier momento, el streaming en directo puede ser consumido únicamente en el momento en que se está realizando la transmisión; viene siendo similar a la televisión convencional, donde un televisor sintoniza señales que están siendo transmitidas en tiempo real, no importando si son pregrabados o no, la señal está siendo transmitida en ese momento, de tal forma que al encender el televisor será sintonizado lo que la televisora esté enviando en ese preciso instante.

### **Elementos fundamentales para realizar streaming**

Para que todo esto funcione son fundamentales tres partes, comenzando desde dónde se transmite la información, es decir, el servidor; a quién se le enviará la información, es decir, los clientes; y cómo transmitir la información. A continuación, se describe brevemente cada una de estas tres partes: (Carrillo, P. 2008)

- **Servidor**

Este es el encargado de distribuir la información a partir de una fuente, a través de él se generan datagramas que se envían a través de la red. Al hablar de servidor se hace referencia tanto a hardware, como al posible software que éste incluya.

- **Cliente**

Es cada una de las máquinas receptoras de la información que se transmite, como mínimo se necesita tener un cliente, sino no tendría sentido la transmisión.

- **Medio**

Es a través de dónde se enviará la información, grosso modo puede decirse que es la Internet, pero si se profundiza un poco más y se llega al nivel en donde esto se realiza, se estaría hablando de la capa 4 del modelo OSI, es decir, la capa de transporte; para realizar streaming se utilizan datagramas (UDP), que son paquetes que se envían sin esperar confirmación de entrega al destinatario, esto permite que la transmisión sea más rápida y fluida.

### 2.3. IPTV

IPTV se define como el sistema que brinda servicios multimedia como: televisión, video, audio, texto, gráficos y datos a través de redes privadas basadas en IP. Las redes son gestionadas para proporcionar un requerido nivel de QoS y de QoE, además de garantizar seguridad, interactividad y confiabilidad, IPTV tiene ciertas diferencias con respecto a la televisión por Internet como se puede observar en la tabla 1-2

**Tabla 1-2:** Diferencias entre IPTV y televisión por internet

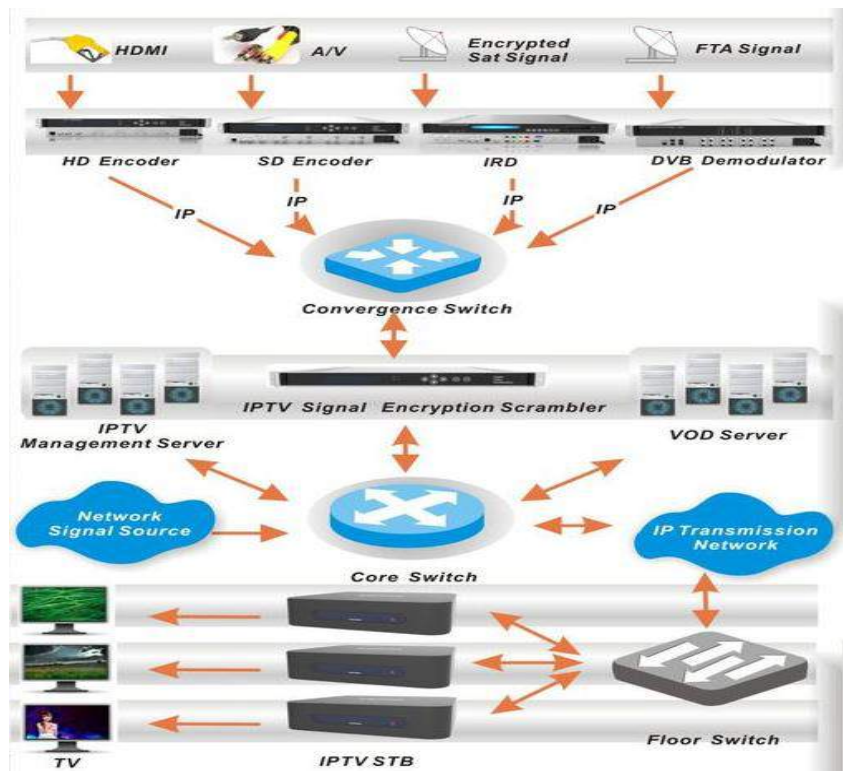
<b>IPTV</b>	<b>TV POR INTERNET</b>
Red privada de un proveedor de IPTV.	Red pública de internet.
Limitación geográfica.	No tiene límites se puede acceder desde cualquier lugar del mundo
Se garantiza calidad de servicio y de experiencia.	No se puede garantizar calidad de servicio y de experiencia.
El Set Top Box (STB) dispositivo del usuario.	El computador dispositivo del usuario.
Se paga por el contenido, en especial si el contenido es personalizado.	La mayoría del contenido es gratuito.

Fuente: (O DRISCOLL, 2008)

Realizado por: Nancy Casco B.

IPTV consiste en la distribución y difusión de televisión de alta calidad y/o video/audio bajo demanda sobre redes de banda ancha. (Boronat, García y Lloret (2008)). Según la ITU, IPTV es el conjunto de servicios multimedia (televisión, video, audio, texto, gráficos y datos) que son distribuidos por una red IP, los cuales deben poseer un nivel de calidad de servicio, seguridad, interactividad y fiabilidad.

IPTV no es un protocolo en sí mismo, puesto que incluye servicios de Internet tales como Acceso web y VOIP donde se lo puede llamar Triple Play y es típicamente suministrado por un operador de banda ancha que usa la misma infraestructura. IPTV se ha desarrollado en base al video-streaming que consiste en la reproducción de videos o películas sin requerir una descarga previa por parte del usuario, el servidor entrega los datos de forma continua, sincronizada y en tiempo real (al mismo tiempo que se envía, se está visualizando el video con su audio). Un ejemplo de red IPTV se puede observar en la Figura 3-2



**Figura 3-2. Sistema IPTV**

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/iptv-headend-equipment-iptv-middleware-and-iptv-stb-1823168862.html>.

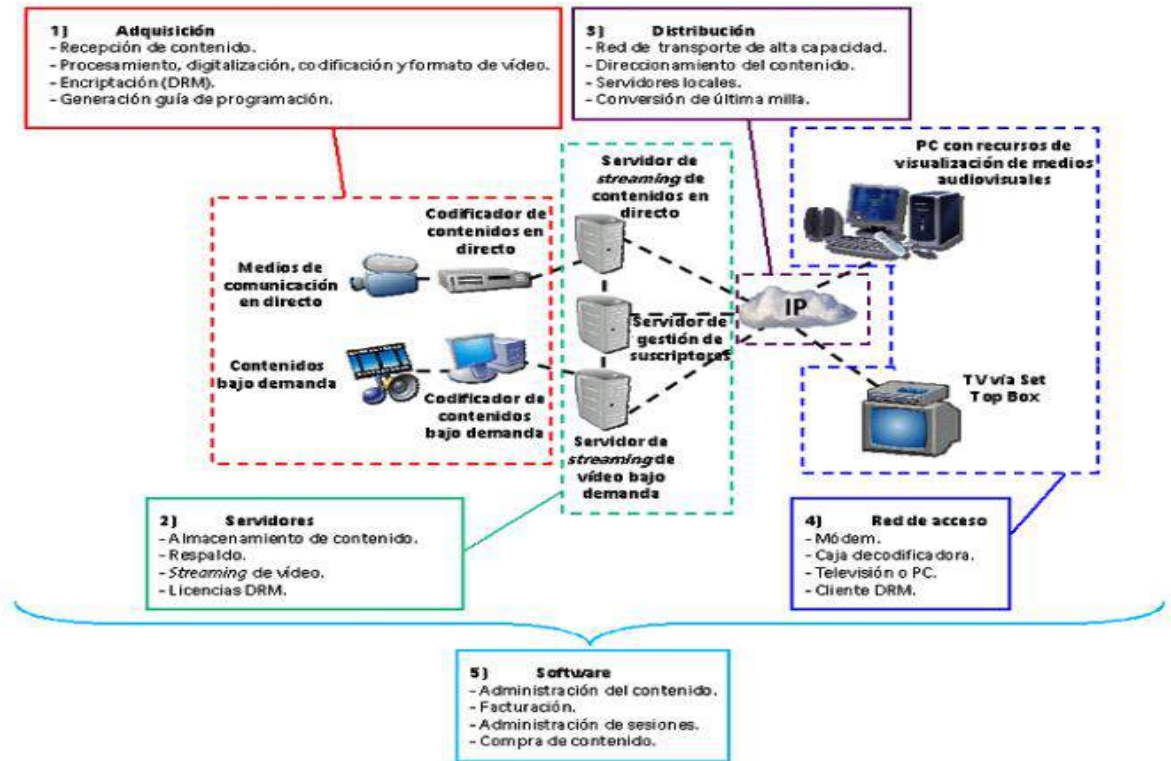
### Características de IPTV

Las principales características de IPTV son: (Boronat et al. (2008)).

- **Soporte a la televisión interactiva.** - Los sistemas IPTV disponen de dos canales que permiten al proveedor de servicios distribuir aplicaciones de TV interactivas. Algunos tipos de servicios que podrían soportar en interactividad podrían ser: la televisión en directo, la televisión de alta calidad (HDTV), juegos interactivos, búsquedas rápidas en internet, etc.
- **Time shifting.** - Grabar los contenidos emitidos en el servicio de IPTV en un grabador y que después puedan ser vistos por el usuario.
- **Personalización.** - En el servicio IPTV, al soportar comunicaciones bidireccionales, se permite al usuario final que indique qué quiere ver y cuándo lo quiere ver.
- **Ancho de banda bajo.** - En lugar de distribuir cada canal para cada usuario final, la tecnología IPTV permite sólo enviar el canal que el usuario ha pedido. Esta es una característica importante, ya que permite conservar el ancho de banda en sus redes.
- **Accesibilidad con múltiples dispositivos.** - el visionado de los contenidos de IPTV no sólo está limitado a los televisores, sino que los usuarios pueden disponer de este servicio a través de sus ordenadores o dispositivos móviles.

### 2.3.1 Arquitectura de red para IPTV

Para comprender el funcionamiento de una red IPTV, es necesario conocer cuál es su arquitectura, en la Figura 2-4 se puede observar un ejemplo en la cual se visualizan 5 etapas. (Beltrán Jaramillo, 2000)



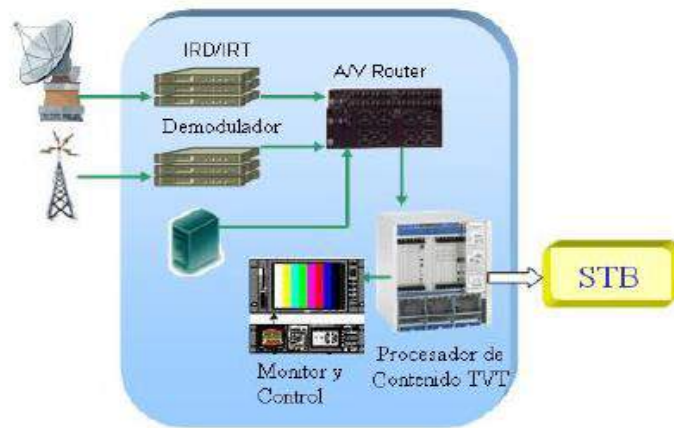
**Figura 4-2. Arquitectura IPTV**

Fuente: <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/410/html>

#### 1. Video Headend o Adquisición de la señal de video:

Es la parte inicial de la red que comprende los procesos de recepción de contenido por parte de las productoras, procesamiento, digitalización, codificación, formato de video y encriptación Digital Rights Management (DRM). Los medios que se utilizan para recibir la señal pueden ser: receptores satelitales, fibra óptica, DVD o discos duros de servidores, para digitalizar y comprimir el video analógico se utilizan codificadores, En la figura 5-2 se observan los dispositivos de los que está compuesta la cabecera.

El headend lo que hace es tomar cada stream del flujo de datos (audio, video) demodula y descripta, luego cada stream es encapsulado a través de técnicas de compresión como por ejemplo MPEG-2 o MPEG-4 para ser entregados a los Set Box de los usuarios mediante protocolos IP.









**Figura 5-2. HeadEnd IPTV**

Fuente: <http://www.althos.com/tutorial/IPTV-Testing-tutorial-system-architecture.html>

**2. Almacenamiento y servidores de video:** En esta etapa se realizan varias acciones como el almacenamiento y respaldo de los contenidos, gestión del video bajo demanda, Streaming de alta velocidad, entre otras. Es importante mencionar que los datos son almacenados en servidores IP basados en los sistemas operativos que permiten enviar distintos flujos de video a la vez.

**3. Distribución de contenidos:** La red de transporte IP es el sistema encargado de entregar el flujo de datos codificados desde el headend a la frontera de red Edge. Los datos pueden ser transmitidos utilizando varios métodos como unicast, multicast o broadcast, como se especifica en la figura 6-2.

Esta red de ser ha de ser de alta capacidad para permitir el flujo bidireccional de datos.

	1	2	3
<b>UNICAST</b> TRANSMITE A 2			
<b>MULTICAST</b> TRANSMITE A 1 Y 3			
<b>BROADCAST</b> TRANSMITE A TODOS			

**Figura 6-2. Métodos de transmisión**

Fuente: Carrión 2008

**4. Equipo de acceso y suscriptor:** Es el punto donde termina la red del proveedor y comienza el equipo del usuario, es conocida como última milla. En esta interfaz hay un dispositivo encargado de decodificar la información para poder verla en un televisor convencional. Esta fase involucra los módems, caja decodificadora, Televisión o PC.

**5. Software:** Se encarga de proporcionar al usuario los servicios a través de un sistema de menús en la pantalla de su televisor. Permite la interacción entre el cliente y el sistema.

### **2.3.2 Formatos de compresión de Audio y Video utilizados en IPTV**

La compresión permite a los proveedores de servicios IPTV transmitir video de alta calidad y canales de audio a través de una red IP. Esto se logra aprovechando las deficiencias visuales y auditivas en los humanos, explotando este hecho a través del uso de algoritmos matemáticos. Por ejemplo, el ojo humano no puede detectar todos los patrones de imagen. Por lo tanto, la compresión reduce el tamaño de la señal original mediante la eliminación de secciones de la imagen. El nivel de compresión aplicada a contenido de video se denomina "relación de compresión" y se mide como una representación numérica. (Simpson, Greenfield, 2009)

Por ejemplo, una relación de compresión de 100:1 significa que el tamaño del contenido original ha sido reducido un factor de 100. Obsérvese que, como regla general el aumento de las tasas de compresión a menudo disminuirá la calidad de la señal de video resultante. Los métodos de compresión se clasifican en dos grandes categorías: con y sin pérdidas. (Simpson et al. 2009)

Un método de compresión sin pérdidas permite a un cliente IPTV recrear perfectamente la imagen original en una pantalla. Por lo tanto, sin pérdida de calidad de la imagen que se ha experimentado durante la compresión y la transferencia de contenido. Esta es una rara ocurrencia en las redes IPTV, porque prácticamente todas las técnicas de compresión introducen una cierta cantidad de pérdida durante el proceso de codificación. Como resultado, los algoritmos de compresión sin pérdida se utilizan principalmente para la codificación de imágenes fijas y no video en vivo. (Simpson et al. 2009)

Durante la ejecución de un método de compresión con pérdida alguna información de la imagen de video se pierde, así el decodificador IPTV es incapaz de recrear completamente la imagen original que se emite desde el proceso de digitalización. Sin embargo, hoy en día los algoritmos de compresión con pérdida se han diseñado para garantizar que sólo cantidades limitadas de datos se pierden durante el proceso de codificación. (Simpson et al. 2009)

El estándar de compresión utilizado en IPTV es MPEG, que especifica cómo debe ser la trama de transporte de los datos. Hoy día los formatos más utilizados son MPEG-2, MPEG-4 y H.200 de la serie ITU [18].

### 2.3.2.1 *Compresión de Video*

La tecnología MPEG es un estándar de compresión de video utilizado en sistemas de televisión satelital, por cable y terrestre. El estándar de compresión utilizado en IPTV es MPEG, que especifica cómo debe ser la trama de transporte de los datos. Hoy día los formatos más utilizados son MPEG-2, MPEG-4 y H.264 de la serie ITU [18].

- **MPEG-2**

Este formato es utilizado generalmente para codificar audio y video para señales de transmisión que incluye TDT, televisión por satélite o por cable. Está diseñado para trabajar con velocidades desde 2 hasta 10 Mbps. Es usado en reproductores de DVD permitiendo imagen a pantalla completa más la ventaja de tener varios canales de audio.

#### **Requisitos de MPEG-2**

- Mantener compatibilidad de MPEG-1.
- Calidad de imagen
- Flexibilidad del formato de entrada
- Acceso aleatorio
- Rebobinado rápido y lento, hacia adelante y hacia atrás
- Escalabilidad en el flujo de bits
- Retardos mínimos para comunicaciones en ambo sentidos
- Resistencia a errores

- **MPEG-4**

El estándar MPEG-4 (ISO / IEC 14496) es el sucesor de MPEG-2. Además de la compresión MPEG-4 define un sistema completo que cuenta con el apoyo para el procesamiento de una amplia gama de formatos multimedia. La especificación MPEG-4 consta de un número de partes interrelacionadas que se pueden implementar juntos o por separado.

El despliegue de MPEG-4 requiere un equipo especializado en el centro de IPTV de datos y la introducción de nueva tecnología de decodificación en el IPTVCD. Hasta los últimos años uno de los principales inconvenientes de MPEG-4 ha sido el hecho de que la potencia de procesamiento adicional y la memoria es necesaria para decodificar MPEG-4 basado en el contenido de video. (Simpson et al. 2009).



- **MPEG-4 Part 10 AVC/H.264**

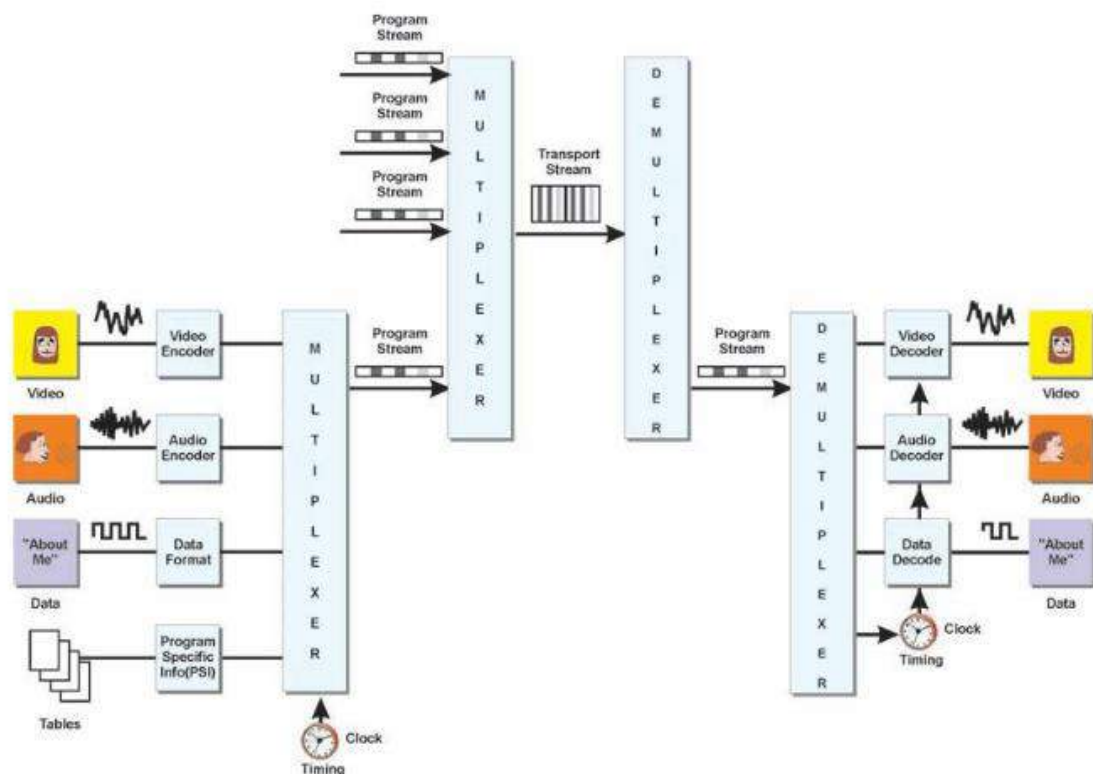
La proliferación de redes de próxima generación está impulsando la demanda de servicios avanzados de video tales como televisión de alta definición y video bajo demanda. Los requisitos de ancho de banda para este tipo de servicios son enormes. Por ejemplo, un solo canal de HD puede requerir el ancho de banda equivalente de seis canales de SD. Así que, para cumplir con el ancho de banda actual y futuro, el formato de compresión MPEG-4 Part 10 AVC también conocido como H.264 fue introducido en 2002. Las principales ventajas de H.264/AVC son las siguientes:

- Buenos resultados: Se trata de una tecnología relativamente nueva de audio/video con capacidades de compresión mejor que los estándares anteriores. Por lo tanto, permite la prestación de servicios de video de alta calidad a través de redes con capacidades de ancho de banda limitado.
- Los bajos requerimientos de ancho de banda: La calidad de video de H.264/AVC es bastante similar a MPEG-2, sin embargo, se requiere menos ancho de banda para el transporte de la misma calidad de señal. Esta característica hace que H.264/AVC sea adecuado para sistemas IPTV.
- Interoperable con la actual infraestructura de procesamiento de video: H.264/AVC permite a los operadores a utilizar sus actuales MPEG-2 y las infraestructuras de redes basadas en IP.
- Soporte para televisión de alta definición: Cuando se implementa de manera óptima el estándar de compresión se puede duplicar o incluso triplicar la capacidad de carga de las redes existentes. Por lo tanto, los operadores de telecomunicaciones pueden utilizar esta norma para implementar contenido HD de alta calidad a través de sus redes de acceso existentes.
- Seleccionado por una amplia gama de organizaciones: Debido al hecho de que H.264/AVC es un estándar abierto internacional que ha recibido el apoyo de toda la industria. Algunas de las organizaciones recomiendan el uso de la tecnología H.264/AVC, en sus especificaciones y normas incluyen: DVD Forum, Blue-ray Disk, DVB, ATSC, DMB, IETF, ISMA.
- El hecho de que H.264/AVC es un estándar abierto es una de las principales razones por las que ha recibido apoyo de toda la industria.
- Reducción del espacio de almacenamiento: H.264/AVC reduce el espacio requerido por los servidores para almacenar el contenido de video.
- Soporte para múltiples aplicaciones: La tecnología MPEG-4 de compresión es utilizada por una amplia variedad de aplicaciones multimedia. Cada una de estas plataformas tiene

sus propias necesidades particulares. Por ejemplo, una aplicación IPTV multidifusión requiere la prestación de una imagen en una pantalla de TV estándar, mientras que una aplicación de entretenimiento móvil produce imágenes que se representan en un teléfono móvil o un reproductor multimedia portátil.

- Transporte independiente: H.264/AVC contenido comprimido se puede transmitir a través de una amplia gama de protocolos que incluyen ATM, RTP, UDP, TCP.
- Se adapta fácilmente a las redes de baja calidad: El ocultamiento de errores y mecanismos de recuperación permiten a H.264/AVC operar a través de redes de baja calidad.
- Se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones: H.264/AVC es una tecnología de compresión de gran flexibilidad y es utilizado por una serie de mercados diferentes que van desde conferencias de IPTV y video de entretenimiento móvil y juegos portátiles.

En la figura 7.2 se muestra el funcionamiento de MPEG



**Figura 7-2. Funcionamiento de MPEG**

Fuente: Picture adopted From IP TV Network Testing, ALTHOS Inc 2008

### 2.3.2.2 Compresión de Audio

Al igual que la compresión de video, MPEG tiene una variedad de opciones de compresión de audio. Hay tres capas de audio MPEG llamadas Capas I, II y III. Un estándar de compresión de audio más avanzado llamado AAC (Advanced Audio Coding) se ha introducido, junto con dos

más recientes de alta eficiencia variaciones: HE-AAC y HE-AACb. Se tiene en cuenta que cualquiera de estos métodos de compresión de audio funciona con cualquier tipo de compresión de video MPEG, excepto que las corrientes de MPEG-1 no pueden manejar la serie de métodos de audio AAC. (Simpson et al. 2009)

- **Mpeg Audio Capa I**

MPEG Audio Capa I es el sistema más simple de compresión. Se utiliza 384 muestras de entrada para cada carrera de compresión, que corresponde a 8 milisegundos de material de audio usando 48 kHz. Cada banda es procesada por separado, a continuación, los resultados se combinan para formar una simple, la velocidad de salida de bits constante. Capa I puede alcanzar una relación de compresión de 4:1, lo que significa que a 1,4 Mbps de calidad CD de la señal de audio estéreo se puede comprimir para encajar en una corriente de 384 kbps sin pérdida apreciable de calidad. La compresión más allá de este a 192 o 128 kbps da resultados de menor calidad. (Simpson et al. 2009).

- **Mpeg Audio Capa II**

MPEG Audio Capa II utiliza más muestras para cada carrera de compresión, 1152 para ser exactos. Esto corresponde a 24 milisegundos de audio a 48 kHz de muestreo. Esto permite que las frecuencias se resuelvan con mayor precisión. Capa II también elimina parte de la redundancia en el nivel I de codificación, lo que se consigue una mejor compresión de hasta 8:1. Esto significa que la calidad de audio CD se puede lograr con una tasa de flujo de 192 kbps. (Simpson et al. 2009)

- **Mpeg Audio Capa III**

MPEG Audio Capa III utiliza el mismo número de muestras que Capa II, pero los utiliza de manera más eficiente. Capa III tiene un modo de audio estéreo de llamada conjunta, que aprovecha la gran similitud entre las señales que informan el canal izquierdo y derecho de un programa de música. También utiliza la codificación de longitud variable para empaquetar los coeficientes de audio comprimido en el flujo de salida de manera más eficiente. Como resultado, la capa codificadores III puede encajonar con calidad de CD de audio en flujos tan pequeños como 128 kbps, se logra relaciones de alta compresión como 12:1.

Este formato es ampliamente conocido como MP3 y es utilizado en los reproductores de música portátiles y las tiendas online que venden música. (Simpson et al. 2009).

- **Mpeg AAC**

MPEG AAC sólo está disponible con video MPEG-2 o MPEG-4. Es compatible con hasta 48 canales de audio. Con AAC se puede lograr velocidades de hasta 192 kbps, y con calidad de CD

estéreo se puede alcanzar una velocidad de bits de 96 kbps. HE-AACb es aún mejor, con calidad de CD a una velocidad de 48 kbps, aunque a un costo de más retraso de extremo a extremo (más de medio segundo) y una mayor complejidad para el codificador y decodificador. Una serie de reproductores de música portátiles son capaces de reproducir este formato, así como ordenadores con el software adecuado. (Simpson et al. 2009).

- **Dolby AC-3 Audio**

Dolby AC-3 de codificación de audio también se conoce comúnmente como Dolby Digital. Ofrece audio de alta calidad con características de compresión buenas y ha sido aprobado para su uso tanto en DVD y en las emisiones de televisión digital en Estados Unidos. Dolby AC-3 de audio está incluido en algunas versiones de MPEG-4 y H.264 y se utiliza en una serie de sistemas de televisión por satélite.

En general, el audio MPEG es flexible y no requiere cerca de la magnitud de la participación de procesador de video MPEG. A medida que el número de capas aumenta, la complejidad tanto del codificador y decodificador aumenta, pero lo mismo ocurre con la relación de compresión. Sólo en software de capa III los decodificadores pueden funcionar sin problemas, en una amplia variedad de ordenadores personales. Los decodificadores AAC están fácilmente dentro del rango de rendimiento de los procesadores actuales, y el apoyo a la AAC se ha generalizado en los dispositivos portátiles y teléfonos móviles. Al elegir un método de codificación de audio, se debe recordar que el ancho de banda total del transporte debe ser lo suficientemente alto como para llevar la señal de video (Simpson et al. 2009).

- **Funcionamiento de Dolby AC-3**

El AC-3 es uno de los formatos denominados de compresión perceptual. Se basa en eliminar todas las partes del sonido original codificado analógicamente, que no pueda ser percibido por el oído humano. De esta forma, se logra que la misma información sea de menor tamaño y por lo tanto ocupe mucho menos espacio físico. Una vez lograda la compresión de la onda original, se puede añadir más información que antes no era posible como tener más canales de audio que los típicos 2 del estéreo, etiquetas de audio, información para la corrección de errores y otros. Adicionalmente se puede añadir información para que el sonido se escuche de manera tan fiel como fue creado. (Simpson et al. 2009).

- **Microsoft Windows Media (VC-1)**

Windows Media Player es un paquete de software de propósito general, diseñado para ordenadores que utilizan el sistema operativo Microsoft Windows. Puede soportar una amplia variedad de formatos de compresión de video y es capaz de procesar una amplia variedad de

secuencias de video de Internet. Microsoft también ha diseñado un sistema de compresión de video que originalmente fue llamado Windows Media 9 y posteriormente se formalizó en 421M. Algunos proveedores de IPTV que han implementado sistemas basados en la tecnología de Microsoft han adoptado este estándar, que se conoce informalmente como VC-1. (Simpson et al. 2009).

VC-1 y H.264 ofrecen avances significativos en la eficacia de la codificación (es decir, menos bits para una calidad de imagen dado) en comparación con MPEG-2. Hasta la fecha, no existe ninguna evidencia convincente que diga que uno es claramente mejor que el otro para cualquier aplicación. (Simpson et al. 2009).

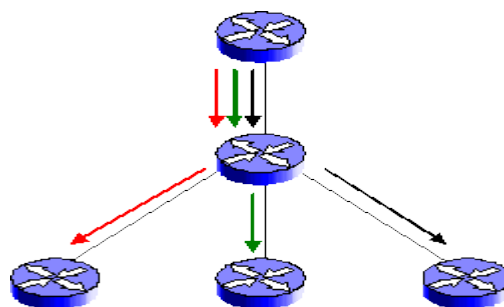
### 2.3.3 Modos de transmisión utilizados en IPTV

La Transmisión de canales IPTV es el proceso de transferir los datos de un servidor de medios o gateway de televisión a un usuario final. Los canales de transmisión IPTV pueden ser enviados exclusivamente a un usuario específico (unicast) o pueden ser copiados y enviados a múltiples usuarios a la vez (multicast). (Simpson et al. 2009).

- **Unicast**

La transmisión Unicast es la entrega de datos a solo un usuario en una red. Se usa típicamente para describir una conexión directa de un servidor a un único cliente, por lo que es relativamente simple de implementar. A cada usuario se le da la misma dirección para que se conecten cuando deseen acceder a ese medio (como un canal IPTV). El uso de transmisión unicast no es eficiente cuando muchos usuarios están recibiendo la misma información al mismo tiempo porque se deberá mantener una conexión separada para cada usuario. Si la misma fuente de medios es accedida por cientos o miles de usuarios, el ancho de banda para ese medio deberá ser cientos o miles de veces el ancho de banda requerido para cada usuario. (Eider Gutiérrez Vargas, 2007.)

En la figura 8-2 se muestra el funcionamiento de una transmisión unicast.



**Figura 8-2. Transmisión Unicast.**  
Fuente: (Word Press, 2010)

### Ventajas de Unicast (Eider, 2007.)

- Unicast trabaja sobre redes IP estándar, incluyendo la red pública Internet.
- Cada usuario puede contar con un flujo de video independiente. Esto suscribe al usuario controlar la reproducción del video (pausa, avance rápido y retroceso, parar), el usuario no necesita esperar la emisión que se programa regularmente.
- La fuente de video puede establecer con exactitud cuál es el destino unicast que está permitido para recibir flujo de datos y guardar registros de cada destinatario.

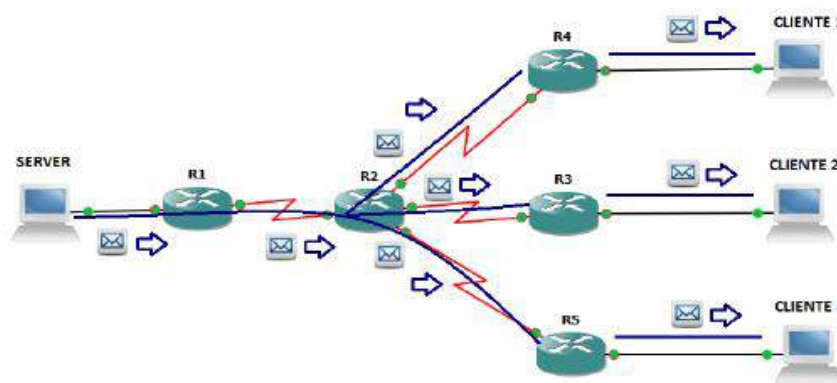
### Desventajas de Unicast (Eider 2007.)

- La fuente de video debe poseer una alta capacidad de procesamiento y ancho de banda para establecer un flujo por usuario. Cuando el ancho de banda es consumido totalmente, ningún otro usuario puede ser adicionado.
- Se debe garantizar el ancho de banda en cada segmento de la red para conceder todos los flujos de video desde el origen hasta los destinatarios finales.
- La fuente de video debe conocer la dirección IP correcta de cada dispositivo de usuario activo.

### • Multicast

En un proceso multicast una señal de video es enviada simultáneamente a múltiples usuarios. Todos obtienen la misma señal al mismo tiempo, tal como ocurre con la televisión tradicional por broadcast. En general los sistemas comerciales de video por broadcast operan bajo el modelo multicast incluyendo la televisión por cable, por satélite, televisión sobre aire y la mayoría de las implementaciones IPTV. Cuando el proceso multicast se realiza a través de protocolos especializados, la red es quien realiza las copias del flujo de video para cada destinatario en el punto donde se requiera. (Simpson et al. 2007.)

En la figura 9.2 se muestra el funcionamiento de la transmisión multicast.



**Figura 9-2. Transmisión Multicast**

Fuente: (Word Press, 2010)

### **Ventajas de Multicast** (Eider Gutiérrez Vargas, 2007.)

- La cantidad de ancho de banda requerido se reduce ampliamente. Solamente se requiere una copia del flujo de video para ser enviada a un conjunto de equipos en una red.
- Las fuentes de video son más simples ya que solo requieren transmitir una copia del flujo de video.
- Video de alta calidad puede ser ofrecido a través de multicast debido a la disponibilidad de ancho de banda.

### **Desventajas de Multicast** (Eider Gutiérrez Vargas, 2007.)

- Todos los usuarios de un flujo multicast obtienen el mismo video simultáneamente. Los usuarios no pueden realizar pausa, regresar o avanzar rápidamente sobre el contenido.
- Los equipos de red deben estar habilitados para soporte multicast a lo largo de todas las rutas entre el origen del flujo y el destino multicast.
- Algunos dispositivos firewalls y NAT pueden bloquear los protocolos usados en multicast.
- La carga en routers puede ser significativa ya que deben realizar el control de los mensajes multicast y realizar de manera simultánea la réplica de los paquetes.
- Problema para controlar el acceso al contenido específico de video.
- Instalación de equipos es complicada cuando se utilizan redes híbridas (públicas y privadas).

### **2.3.4 Protocolos empleados en IPTV/Videostreaming**

Los estándares utilizados para el servicio de IPTV, son los de transporte UDP y RTP/ RTCP, los de control de sesión como RTSP y SDP, de multidifusión IGMP, y el protocolo de internet. Un servicio de IPTV típico usa un esquema de empaquetamiento de tipo MPEG2-TS/RTP/UDP/ IP. [18].

#### **2.3.4.1 Protocolos de Transporte**

- **UDP** (User Datagram Protocol): En IPTV se utiliza para dar servicio no orientado a la conexión y no fiable. Permite el envío de datagramas a través de la red sin haber establecido previamente la conexión. Su uso principal es dar soporte a DHCP, BOOTP, DNS, SNMP; así como para las transmisiones de audio y video en tiempo real, donde no es posible utilizar TCP por las demoras (retardos) en que se incurrirían. [18].

- **RTP** (Protocolo de Transporte de Tiempo Real): Es el protocolo de transporte para flujos multimedia en Internet. IPTV lo utiliza para proporcionar información temporal y de sincronización de flujos multimedia. [18].

**Características principales de RTP.** (Goñi, 2012)

- En video-streaming se emplea RTP sobre UDP, que es mucho menos pesado que TCP.
- RTP no ofrece garantías sobre la calidad del servicio ni sobre el retraso de la entrega de datos, estos deben ser proporcionados por la red subyacente.
- RTP ofrece entrega de datos multicast.
- Secuenciación. Debido a la necesidad de entregar los paquetes en orden (UDP no provee esta característica) RTP incorpora un número de secuencia que además sirve para la detección de paquetes perdidos.
- **RTCP** (RTP Control Protocol): El Protocolo de Control en Tiempo Real, se basa en la transmisión periódica de paquetes de control a todos los participantes dentro de una sesión. En IPTV reserva recursos en la red para la transmisión en tiempo real. [18].

**Características principales de RTCP.** (Goñi, 2012)

- Trabaja junto con RTP en el transporte y empaquetado de datos multimedia, pero no transporta ningún dato por sí mismo.
- Se encapsula sobre UDP.
- Se emplea para monitorizar la calidad de servicio.

**2.3.4.2 Protocolos de control de sesión**

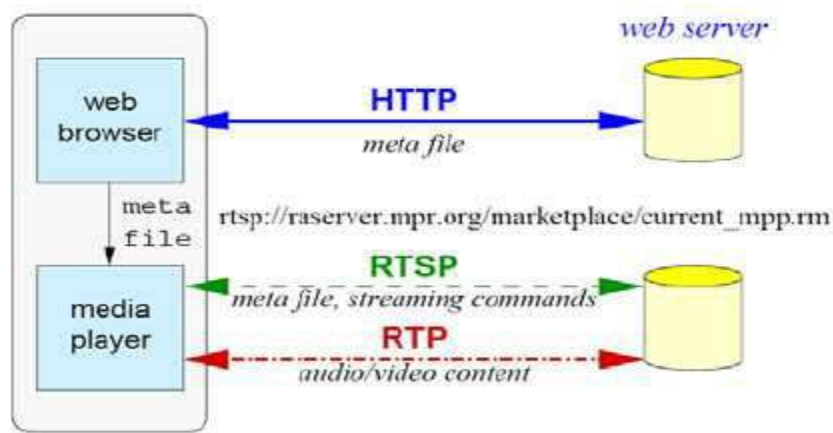
- **SDP** (Protocolo de descripción de Sesión): Es un protocolo de control de la capa de aplicación que ofrece toda la información antes de iniciar una sesión. Solo proporciona un formato para la descripción de la sesión, sin incorporar ningún protocolo de transporte. [18].
- **RTSP** (Protocolo de Transmisión en Tiempo Real): IPTV lo utiliza para establecer y controlar uno o muchos flujos sincronizados de datos, ya sean de audio o de vídeo. Le permite a un cliente realizar operaciones de control remoto sobre un servidor de streaming. Es importante resaltar que RTSP, no es un estándar para enviar información; para ello, se suele utilizar RTP. [18].



### Características principales de RTSP. (Goñi, 2012)

- Protocolo de nivel de aplicación.
- Independiente de la capa de transporte (TCP o UDP).
- No es el encargado de transportar los contenidos.
- Un servidor RTSP necesita mantener el estado de la conexión.
- Compatible tanto con unicast como con multicast.
- Capacidad multi-servidor: Cada flujo multimedia dentro de una presentación puede residir en servidores diferentes.

En la figura 10-2 se puede observar el funcionamiento de los protocolos RSTP Y RPT

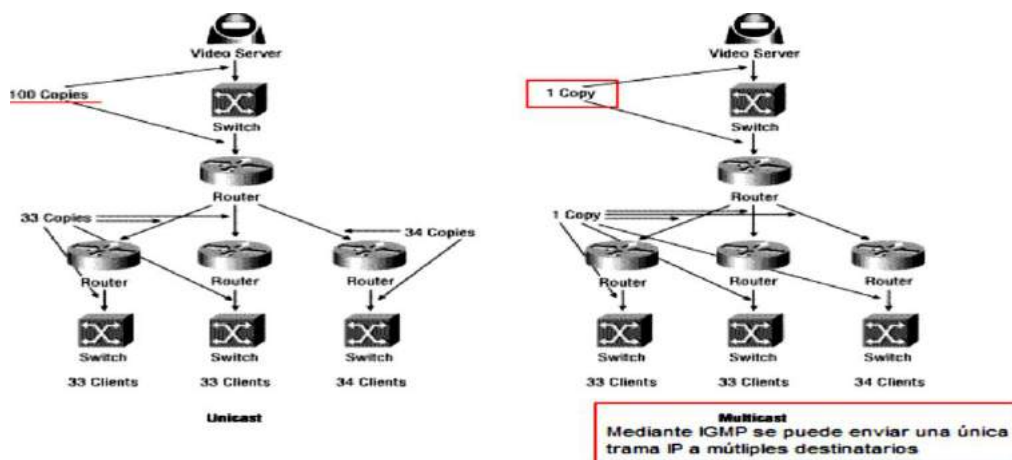


**Figura 10-2. Comparación protocolos RSTP y RPT.**

Fuente: (Goñi 2012)

### 2.3.4.3 Protocolo de Multidifusión

El servidor envía una única trama IP a todos los destinos que la están demandando en ese momento, no se refiere a un broadcast, como se muestra en la figura 11-2.

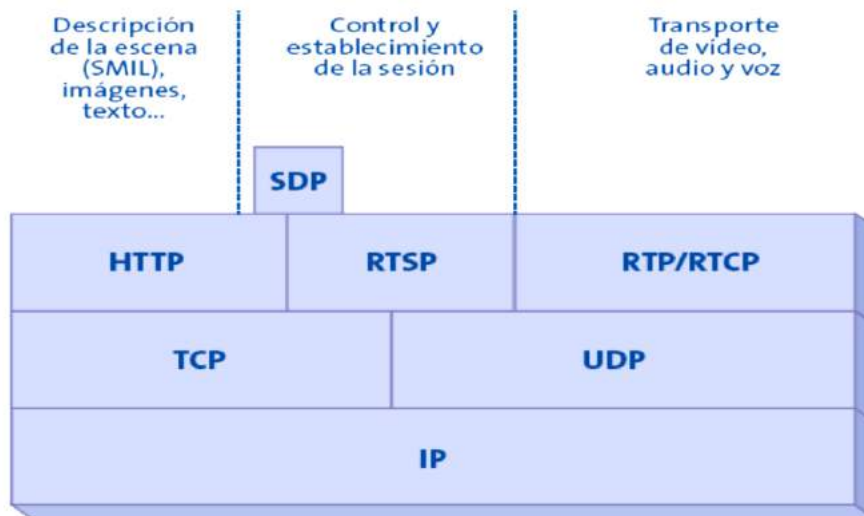


**Figura 11-2. Protocolo IGMP**

Fuente: (Goñi 2012)

### 2.3.5 Escenario de video-streaming.

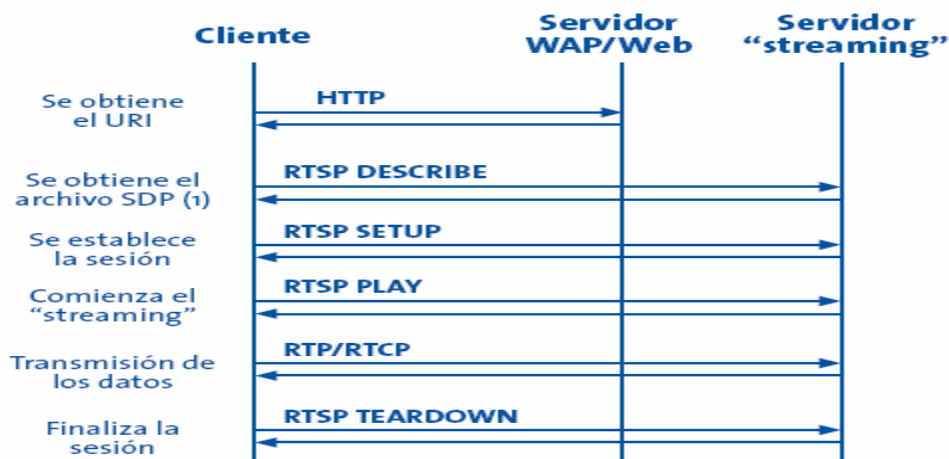
En las figuras 12-2 y 13-2 se puede observar una sesión de video Streaming. (Goñi 2012)



**Figura 12-2. Sesión video Streaming**

Fuente: (Goñi 2012)

- El usuario obtiene el URI (Uniform Resource Identifier) de un contenido. Este URI, que se puede obtener de diversas formas (mediante navegación http, WAP, teclado por el usuario, etc.), especifica un servidor de streaming y la dirección del contenido.
- El cliente obtiene el archivo SDP mediante el mensaje DESCRIBE de RTSP.
- En el terminal del cliente debe existir una aplicación (normalmente el reproductor de streaming) que entienda los archivos del protocolo SDP.
- El establecimiento de la sesión se realiza mediante el envío de un mensaje «RTSP SETUP» por cada flujo que el cliente quiera recibir, respondiendo el servidor con los puertos que se van a usar a lo largo de la sesión.
- Tras esto, el cliente ya puede realizar el streaming, controlado por el protocolo RTSP («play», «pause», etc.).
- RTP es el encargado de transportar el flujo multimedia y RTCP de monitorear la calidad de servicio.
- El cliente puede finalizar la sesión en el momento que desee mediante el mensaje TEARDOWN de RTSP.



**Figura 13-2. Pasos de sesión de video-streaming**

Fuente: (Goñi 2012)

### 2.3.6 Consideraciones de QoS para la Implementación de IPTV

El concepto de QoS suele estar ligado a las técnicas y procedimientos utilizados para dar un tratamiento preferente a unas clases de tráfico frente a otras, con el objetivo de satisfacer ciertos requisitos en al menos uno de los parámetros como ancho de banda, retardo de los paquetes, variación de retardo, y pérdida de paquetes en función del servicio que se trate [1] [10]. Otras definiciones de QoS, como la de la Unión internacional de las Telecomunicaciones (UIT) [11], señalan que al utilizar el término QoS se deben tener en cuenta la totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio.

Desde el punto de vista de los servicios de telecomunicaciones la mayor parte de la satisfacción del usuario tiene relación con el desempeño de la red [19]. Es por ello que en otros trabajos la definición de la QoS se centra en la red, como la propuesta por el IETF (Internet Engineering Task Force) donde la QoS se define como el conjunto de requisitos del servicio que la red debe cumplir en el transporte del flujo de datos [9]. En este sentido, esta última definición está centrada en lo que en lo que [11] denomina la calidad de funcionamiento de la red. En el ámbito de las redes inalámbricas la QoS, implica la diferenciación de tráfico y el uso de múltiples portadoras con la configuración y las prioridades optimizadas para asegurar la calidad de servicio requerida por cada flujo de tráfico [10].

### **2.3.7 Parámetros de QoS a nivel de transporte para la IPTV**

En un sistema de IPTV la red debe estar diseñada de tal forma que pueda manejar una amplia gama de servicios y aplicaciones y proporcionar los mecanismos de control apropiados para brindar la calidad de servicio en los contenidos entregados a los usuarios sin afectar el rendimiento de los otros servicios transportados. En este sentido, los paquetes que pertenecen a aplicaciones en tiempo real tales como los servicios de VoIP e IPTV deberán transmitirse antes que aquellos que pertenecen a las aplicaciones en tiempo no real, como el correo electrónico o la transferencia de archivos. Esta diferenciación se logra mediante la clasificación de servicios y el empleo de mecanismos de acondicionamiento relacionados con el tráfico y el comportamiento por salto (PHB, Per Hop Behaviour) entre los nodos de la red [14].

En el núcleo de la red la diferenciación se puede implementar por medio de un subconjunto de clases de funcionamiento IP como las definidas en [15]. En lo que respecta a la red de acceso debe estar en la capacidad de proporcionar a cada uno de los flujos de paquetes los recursos de la red necesarios para que las aplicaciones y servicios que se implementen sean entregados adecuadamente a los usuarios [14].

En el servicio de IPTV la calidad percibida por el usuario es afectada por los parámetros de desempeño de la red como el retardo, la variación del retardo (jitter) y la pérdida de paquetes [16]. Otros parámetros como el tiempo de cambio de canal (zapping time) y el tiempo de sincronización del audio y video son importantes en la experiencia de uso del servicio [19]. Además, en los sistemas de IPTV otro parámetro importante que se debe garantizar es la velocidad de transmisión de bits la cual debe ser mayor que la tasa de codificación de los contenidos de IPTV. Dicha velocidad puede variar dependiendo del algoritmo de compresión utilizado en el proceso de digitalización [16]. A continuación, se describen los principales parámetros de desempeño de la IPTV.

- **Retardo.** El retardo (delay) se manifiesta en varias formas, incluyendo el tiempo necesario para establecer el servicio desde la solicitud inicial que realiza el usuario y el tiempo para recibir la información una vez que el servicio se haya establecido [14]. El retardo impacta directamente en la satisfacción del usuario en función de la aplicación que se trate, y se produce en el equipo del usuario, en los dispositivos de red o en los servidores de aplicaciones. Desde el punto de vista del usuario, el retardo también tiene en cuenta el efecto en otros parámetros de red como el throughput [17]. Según [14] el retardo máximo aceptable

para la IPTV es de 100 ms y se conoce como retardo de transferencia de paquetes IP (IPTD, IP packet Transfer Delay).

- **Variación del retardo (jitter).** Considera las variaciones inherentes en los tiempos de llegada de los paquetes individuales de la capa de transporte. En los servicios que son altamente intolerantes al jitter, casi siempre se tomarán acciones para eliminarlo (o al menos reducirlos significativamente) mediante el almacenamiento de paquetes en memorias o buffers (a pesar de que se adicionen más retardos fijos) [17]. Para IPTV la máxima variación de retardo en la entrega de los paquetes IP (IPDV, IP packet Delay Variation) es de 50 ms [14].
- **Pérdida de paquetes.** Afecta directamente la calidad de la información que se presenta al usuario, bien sea se trate de un servicio de audio, vídeo o datos [17]. En este contexto, la pérdida de información no se limita a los errores de bit o a la pérdida de paquetes durante la transmisión debido a la baja calidad de los enlaces de comunicaciones por una reducida SNR (Signal to Noise Ratio) [31], sino también a los efectos de cualquier degradación introducida por la codificación de los contenidos para conseguir una transmisión más eficaz [17].

En IPTV para medir la pérdida de información se tiene la razón de pérdida de paquetes (PLR, Packet Loss Ratio), la cual en las redes fijas de debe estar entre  $1 \times 10^{-8}$  y  $1 \times 10^{-5}$ , dependiendo de la técnica de codificación utilizada (MPEG-2 o MPEG-4) [14], pero en las redes móviles la PLR puede ser superior al 1% [31]. Un error o una secuencia de errores en el flujo de bits asociado al audio o video puede causar efectos que van desde un impacto poco notable para el usuario hasta la pérdida completa de la señal de IPTV, y depende de la información que se perdió y que tan robusta es la implementación [31].

- **Velocidad de transmisión de bits.** Los contenidos de TV pueden ser transmitidos en formato 4:3 para televisión de definición estándar (SDTV, Standard Definition Tele-vision) o 16:9 para televisión en alta definición (HDTV, High Definition Television) y dependiendo de la técnica de compresión la tasa de bits varía entre 1.75 Mbps y 15 Mbps [16]. En este sentido, si emplea la técnica de codificación de video H.262 [18], con el perfil MPEG-2-Main profile at Main level (MP@ML) [12], se obtienen flujos para SDTV (480i/576i) de 2.5 Mbps y 15 Mbps para HDTV (720p/ 1080i) [16]. Mientras que si se emplea la técnica H.264 [24], también conocida como MPEG-4 Part 10 o MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) [13], la tasa de codificación de video se reduce a 1.75 Mbps para SDTV y a 10 Mbps para HDTV [16]. En cuanto a la codificación de los contenidos de audio tanto para SDTV como para HDTV se pueden usar técnicas como MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding) [14] o

MPEG-4 Audio [15], obteniéndose con la primera técnica tasas de bit de 128 Kbps y con la segunda técnica 96 Kbps para audio estéreo [16].

En entornos de las redes móviles e inalámbricas las técnicas usadas para la codificación del video es H.264/ MPEG-4 AVC y para la codificación del audio es MPEG-4 Audio debido a que con estas se logran las tasas de bits más bajas (128, 242 y 440 Kbps) para afrontar las limitaciones en la velocidad de transmisión que tienen este tipo de redes [16]. Del mismo modo, la calidad de los contenidos depende de las características de reproducción de los dispositivos receptores (resolución de pantalla, capacidad de procesamiento, códec, entre otros), los cuales determinan si pueden decodificar señales de SDTV o HDTV. Por lo tanto, en los sistemas de IPTV móvil es recomendable usar mecanismos de codificación de video escalable (SVC) para ajustar la tasa de bit según las características de los equipos de usuario y la velocidad de bits disponible en los enlaces de comunicaciones inalámbricos [31].

### **2.3.8 Tecnologías WAN utilizadas en IPTV**

A medida que una empresa crece y ocupa más de un sitio, es necesario interconectar las redes LAN de sucursales para formar una red de área amplia (WAN). Actualmente, existen varias opciones para implementar soluciones WAN, que difieren en tecnología, velocidad y costo. Si todo el tráfico de información de una empresa se encuentra dentro de un mismo edificio, una LAN cubre las necesidades de ésta. Sin embargo, se necesita una WAN para transportar los datos a lugares geográficamente distintos.

Una WAN es una red de comunicación de datos que opera más allá del alcance geográfico de una LAN [40]. Además, utiliza enlaces de datos suministrados por servicios de una operadora para acceder a Internet y conectar sitios de una organización entre sí, con sitios de otras organizaciones, con servicios externos y con usuarios remotos. Las WAN generalmente transportan varios tipos de tráfico, como voz, datos y vídeo. Los servicios telefónicos y de datos son los servicios WAN de uso más generalizado [40].

Los enlaces WAN vienen en varias velocidades medidos en bits por segundo (bps), kilobits por segundo (kbps o 1000 bps), megabits por segundo (Mbps o 1000 kbps) o gigabits por segundo (Gbps o 1000 Mbps) [13]. Esto significa que una línea puede transportar 2 Mbps o 1,5 Mbps en cada dirección de manera simultánea.

#### 2.3.8.1 *DSL*

La Línea Digital de Suscriptor o DSL (por sus siglas en inglés), es una tecnología de transmisión telefónica que transmite datos más rápido a través de las líneas telefónicas de cobre ya instaladas en casas y empresas [40]. La banda ancha de DSL proporciona velocidades de transmisión que van desde varios cientos de kilobits por segundo (Kbps) hasta millones de bits por segundo (Mbps) [40], cuya disponibilidad y velocidad dependen de la distancia que hay entre el cliente a las instalaciones de la compañía de teléfonos.

#### 2.3.8.2 *ADSL*

La línea digital asimétrica de suscriptor o ADSL (por sus siglas en inglés), es usada principalmente por usuarios en residencias que reciben una gran cantidad de datos, pero no mandan muchos. ADSL proporciona una velocidad más rápida en la transferencia de datos que bajan a la computadora que en la transferencia de datos que suben a la central telefónica. Además, permite una transmisión de datos de bajada más rápida a través de la línea que usada para proveer el servicio de voz, sin interrumpir llamadas telefónicas en esa línea.

#### 2.3.8.3 *VDSL*

Denominada como línea digital de suscriptor de muy alta velocidad o VDSL (por sus siglas en inglés). Se trata de una evolución de ADSL, que puede suministrarse de manera asimétrica (52 Mbit/s de descarga y 12 Mbit/s de subida) o de manera simétrica (26 Mbit/s tanto en subida como en bajada), en condiciones ideales sin resistencia de los pares de cobre y con una distancia nula a la central [40].

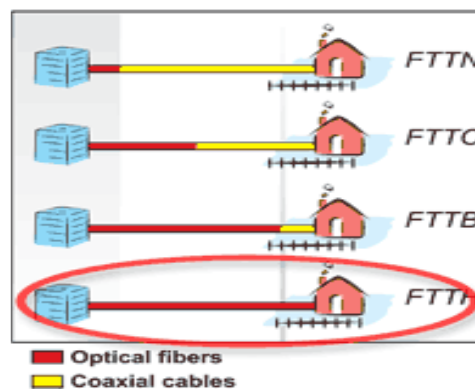
VDSL utiliza 4 canales para transmisión de datos, 2 para descarga y 2 para subida, con lo cual se aumenta la potencia de transmisión de manera sustancial. Es capaz de transmitir vídeo comprimido, una señal en tiempo real poco apta para los esquemas de retransmisión de error utilizados en comunicaciones de datos. Para lograr tasas de error compatibles con el vídeo comprimido, VDSL incorpora Forward Error Correction (FEC) con el suficiente intercalado para corregir todos errores creados por la aparición de ruidos impulsivos de una especificada duración [40].

#### 2.3.8.4 *FTTH*

Hoy día, uno de los medios guiados capaz de soportar altas velocidades de transmisión que requieren servicios de nueva generación, como la alta definición, es la fibra óptica. Por eso se propuso que la fibra óptica llegue hasta el domicilio del cliente y de allí nace lo que se conoce como Fibra Hasta el Hogar o Fiber To The Home o FTTH (por sus siglas en inglés).

Este bucle de abonado totalmente óptico, desde la central hasta el hogar, se fundamenta en una red óptica pasiva, capaz de soportar velocidades superiores a 1 Gigabit, denominada GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). Este tipo de arquitectura utiliza exclusivamente elementos pasivos para guiar la distribución ascendente y descendente del tráfico por la red, siendo el principal dispositivo el divisor óptico conocido como *splitter* [262].

Los elementos de red que delimitan el bucle de abonado óptico se conocen como terminación de red óptica u OLT (*Optical Line Termination*) en el lado del operador, y unidad de red óptica u ONT (*Optical Network Terminal*) en el lado del usuario [262]. El punto donde acaba la fibra óptica determina el modelo de red de acceso óptico, dando lugar a las siguientes denominaciones:



**Figura 14-2. Denominación FTTH.**

Fuente: <https://www.promax.es/esp/noticias/192/Fibre-To-The-Home-FTTH/>

Para abarcar todas estas situaciones bajo una denominación común se utiliza la extensión FTTx, donde:

- *FTTN (Fiber To The Neighborhood)*: Fibra hasta el barrio.
- *FTTC (Fiber To The Curb)*: Fibra hasta la acera.
- *FTTB (Fiber To The Building)*: Fibra hasta el edificio.
- *FTTH (Fiber To The Home)*: Fibra hasta el hogar.

#### 2.3.8.5 Microondas

Una red por microondas es un tipo de red inalámbrica que utiliza microondas como medio de transmisión. El protocolo más frecuente es el IEEE 802.11b y transmite a 2.4 GHz, alcanzando velocidades de 11 Mbps (Megabits por segundo). Otras redes utilizan el rango de 5,4 a 5,7 GHz para el protocolo IEEE 802.11<sup>a</sup> [263]. Las hay de 2 tipos: microondas terrestres y microondas satelitales.

- **Microondas terrestres**

La antena más común en microondas es la de tipo parabólico y su tamaño típico es de un diámetro de 3 metros. Esta antena se fija rígidamente, y en este caso el haz estrecho debe estar



perfectamente enfocado hacia la antena receptora [264]. Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable sobre el nivel del suelo para con ello conseguir mayores separaciones entre ellas, y para evitar posibles obstáculos en la transmisión.

Para llevar a cabo transmisiones a largas distancias, utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada. El uso principal de sistemas de microondas terrestres son los servicios de telecomunicación de larga distancia, como alternativa al cable coaxial o a las fibras ópticas. Para una distancia dada, las microondas requieren menor número de repetidores o amplificadores que el cable coaxial, pero necesita que las antenas estén perfectamente alineadas [264]. El uso de las microondas es frecuente en la transmisión de televisión y voz.

La banda de frecuencias está comprendida entre 2 y 40 GHz [264], pues cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor será el ancho de banda potencial, y por tanto, mayor es la velocidad de transmisión. Al igual que en cualquier sistema de transmisión, la principal causa de pérdidas de paquetes en microondas es la atenuación, la cual, aumenta con las lluvias, siendo este efecto especialmente significativo para frecuencias por encima de 10 GHz [264].

- **Microondas por satélite**

Un satélite de comunicaciones es esencialmente una estación que retransmite microondas. Se usa como enlace entre dos o más receptores/transmisores terrestres, denominadas estaciones base. El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), la amplifica o repite, y posteriormente la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente) [264]. Para que un satélite de comunicaciones funcione con eficacia, generalmente se exige que se mantenga una órbita geoestacionaria. Si no fuera así, no estaría constantemente alineado con las estaciones base. El satélite, para mantenerse geoestacionario, debe tener un periodo de rotación igual al de la tierra y esto sólo ocurre a una distancia de 35,784 Km [264].

#### 2.3.8.6 *ATM*

Esta tecnología surge a partir de la necesidad de proveedores de una tecnología de red compartida permanente que ofreciera muy poca latencia y fluctuación a anchos de banda mucho más altos. Su solución fue el Modo de Transferencia Asíncrona (ATM). La cual, tiene una velocidad de transmisión de datos superior a los 155 Mbps. Al igual que otras tecnologías compartidas como X.25 y Frame Relay, los diagramas de las WAN ATM se ven igual [40].

ATM es capaz de transferir voz, video y datos a través de redes privadas y públicas. Tiene una arquitectura basada en celdas, la cuales, siempre tienen una longitud fija de 53 *bytes*. La celda ATM de 53 *bytes* contiene un encabezado ATM de 5 *bytes* seguido de 48 bytes de carga ATM. Las celdas pequeñas de longitud fija son adecuadas para transmisión de tráfico de voz y video porque este tráfico no tolera demoras [40].

La celda ATM de 53 *bytes* es menos eficiente que tramas y paquetes más grandes de Frame Relay y X.25, además, tiene un encabezado mínimo de 5 bytes por cada 48-*bytes* de datos. Cuando la celda está transportando paquetes de red segmentados, la carga general será mayor porque el *switch* ATM tiene que poder reagrupar los paquetes en el destino. Una línea ATM típica necesita casi un 20% más de ancho de banda que *Frame Relay* para transportar el mismo volumen de datos de capa de red [40].

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

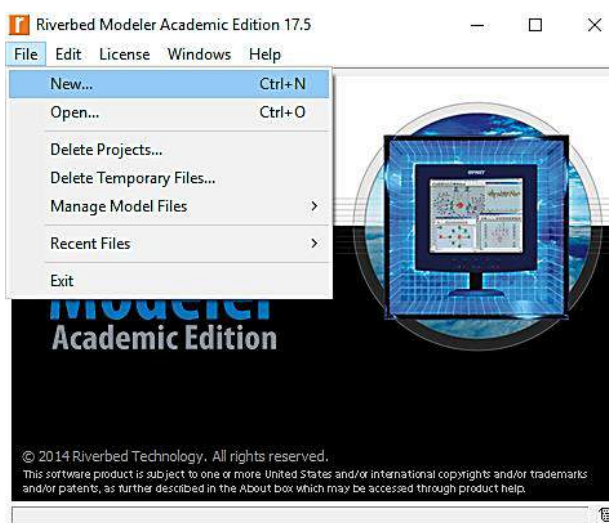
Se realizaron dos tipos de simulaciones para determinar los parámetros a ser evaluados en una red IPTV. Para la primera simulación se utilizó el software OPNET MODELER y se definió dos escenarios, el primero una red Multicas con tecnología GPON y el segundo una red Multicas con tecnología ADSL.

En la segunda simulación se utilizó el software GSN3 donde se transmitirá un streaming de video desde un Servidor VLC para simular una transmisión de IPTV, además la transmisión se realiza mediante cable y mediante WIFI.

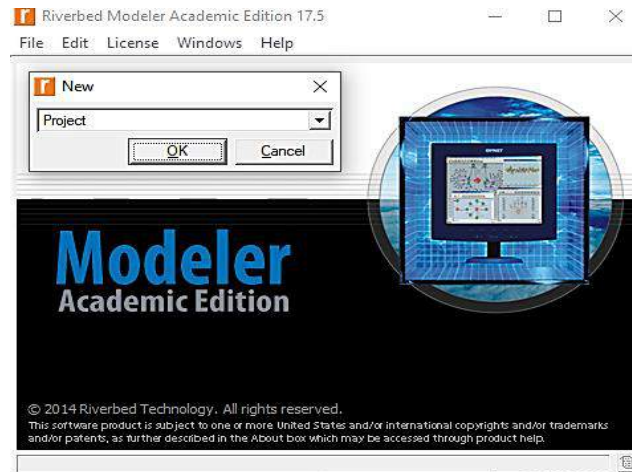
#### 3.1. Escenario 1: Red Multicast con Tecnología GPON

##### 3.1.1 Creación de un nuevo proyecto con OPNET MODELER

Ejecutar el software Opnet Modeler como administrador ya que solo así se tiene acceso a los módulos disponibles y a sus funcionalidades, primero se va a crear un nuevo proyecto, para esto en el menú principal presionar en “File”, luego “New”. Al seleccionar “New” aparecerá una nueva ventana en la que se elige la opción “Project” y por último presionar “OK” como se observa en la Figuras 15-3, y Figura 16-3.

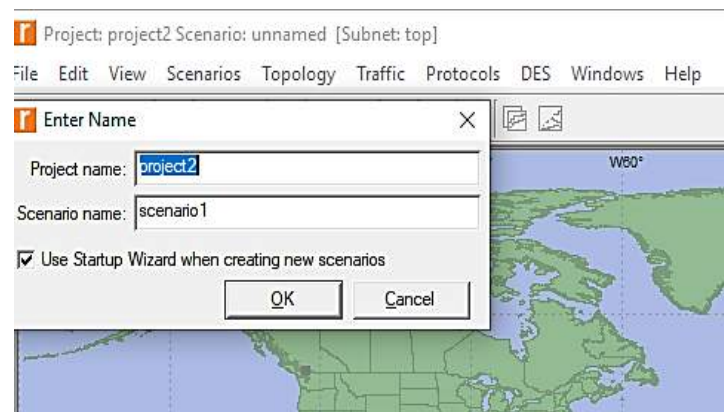


**Figura 15-3. Nuevo proyecto en OPNET Modeler.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019



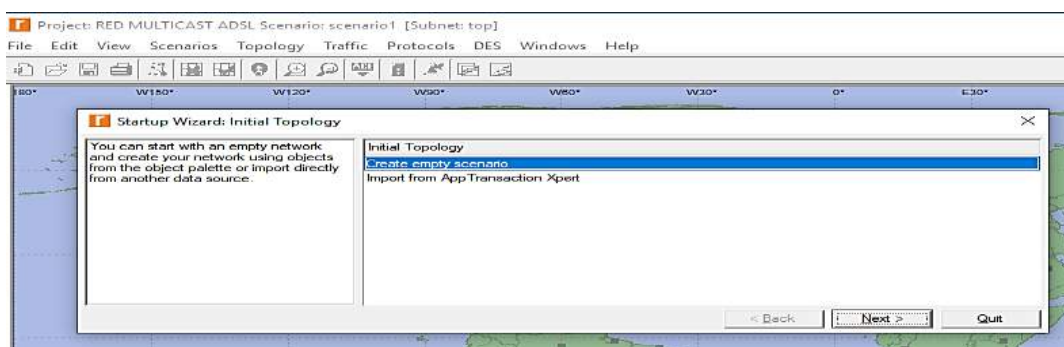
**Figura 16-3.** Nuevo proyecto opción Project  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Ingresar un nombre para el proyecto y para el escenario en el cuadro que se presenta. (Figura 17-3)



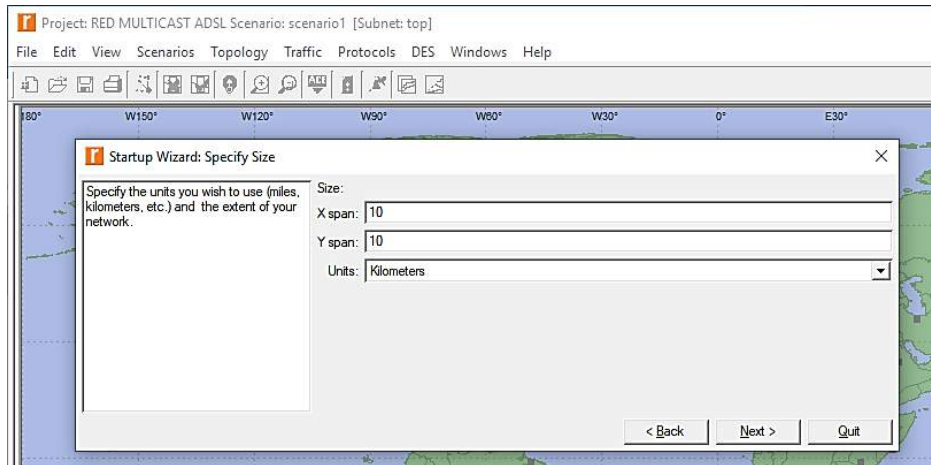
**Figura 17-3.** Nombre del Proyecto y escenario que se está creando  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Seleccionar la topología inicial, para lo que se inicia un wizard que permitirá especificar la topología que se quiere simular.
  - a. Escoger “Create empty scenario” (Figura 18-3).



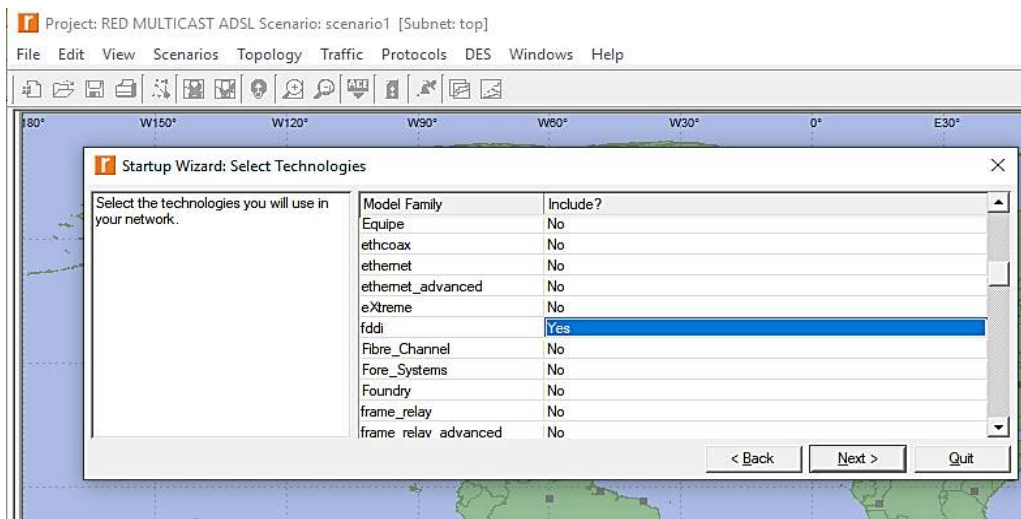
**Figura 18-3.** Selección de topología inicial  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- b. Seleccionar la escala del escenario a crear, en este caso se eligió “Campus” y especificar el tamaño del escenario en km, para lo cual se ingresó en el campo “X span: 10” y en “Y span: 10” (Figura 19-3).



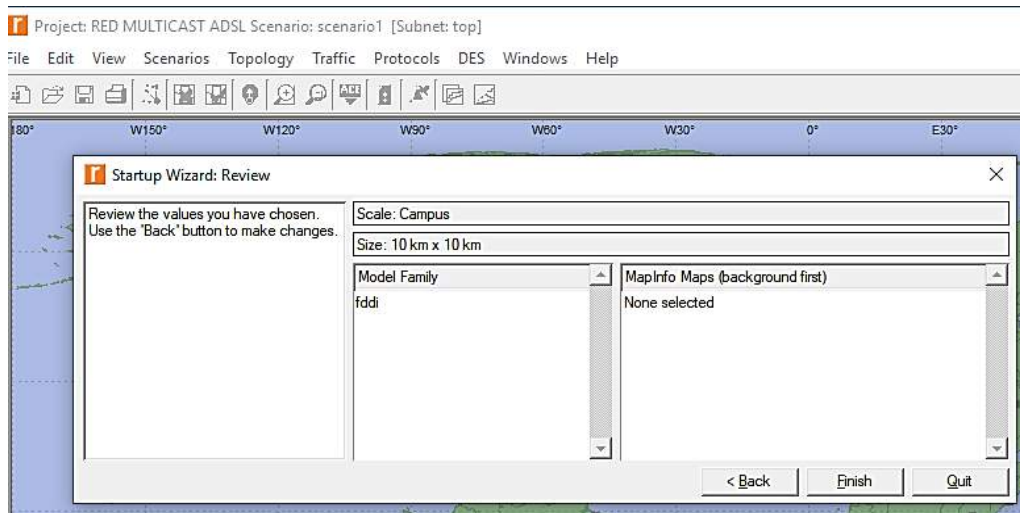
**Figura 19-3. Especificación del tamaño del escenario.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- c. Seleccionar el tipo de tecnologías que se implementarán en el escenario, para esta simulación se utilizó “FDDI” (Figura 20-3).



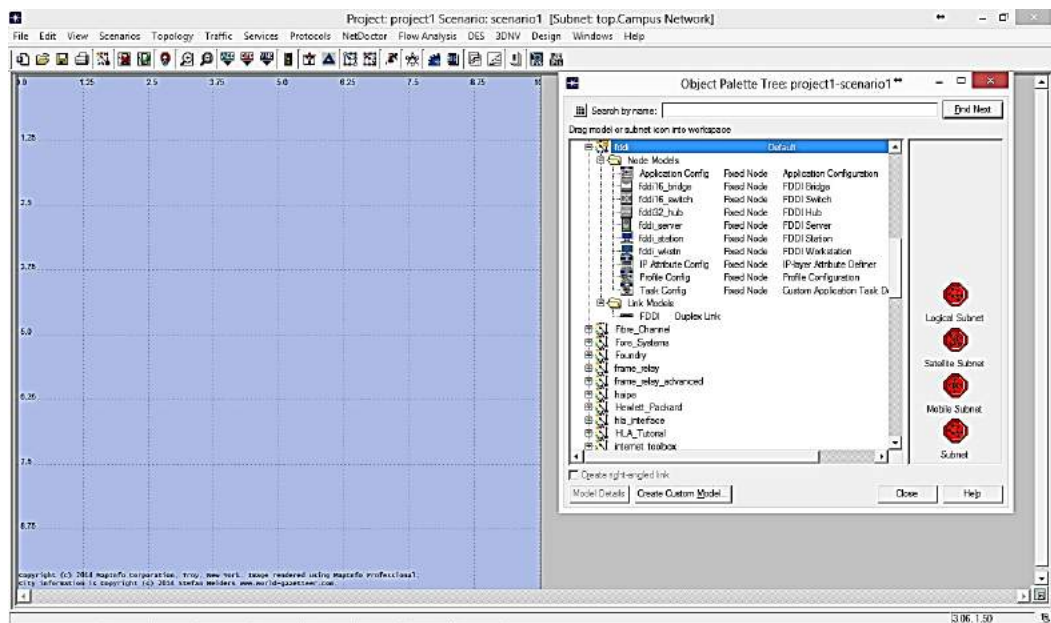
**Figura 20-3. Selección de tecnologías a utilizar.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- d. Observar el resumen que presenta el software de lo seleccionado, para terminar, presionar en “Finish”. (Figura 21-3).



**Figura 21-3. Resumen de la topología a crear.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

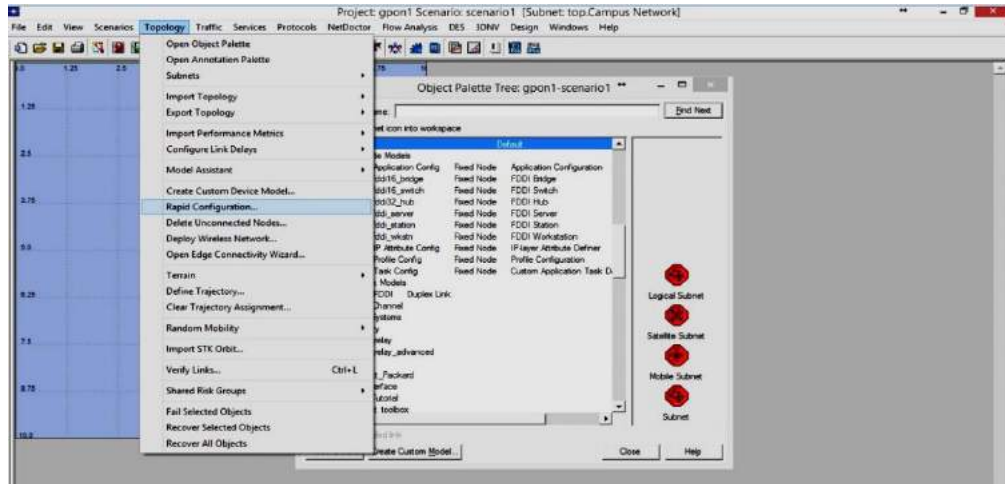
- e. Una vez preparado el ambiente de simulación se muestra la ventana donde se construirá la red a ser simulada. (Figura 22-3)



**Figura 22-3. Ambiente listo para crear la red.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

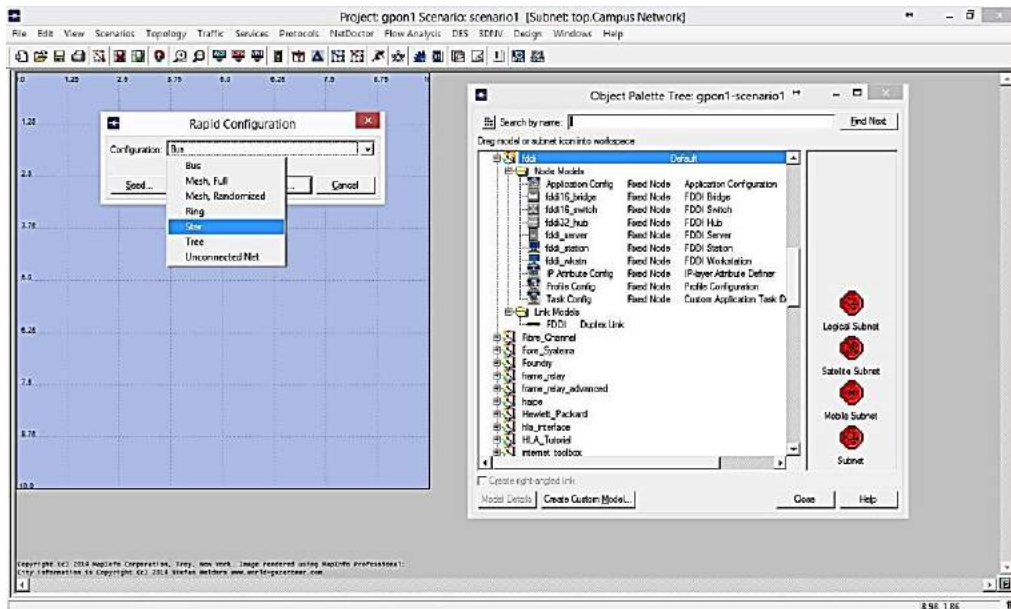
### 3.1.2 Creación de la topología de la red

Opnet Modeler ofrece una herramienta que facilita la construcción de una red en un ambiente de simulación, esta herramienta es “Rapid Configuration” y se la encuentra en la sección de menú, opción “Topology” (Figura 23-3).



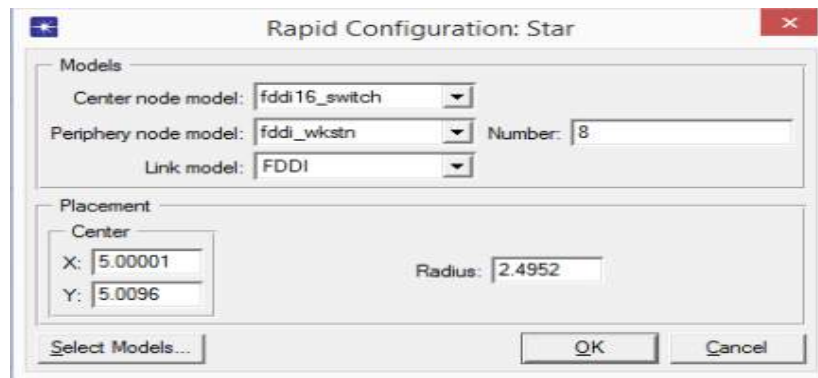
**Figura 23-3. Creando la Red con la herramienta Rapid Configuration**  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Escoger una topología tipo estrella, es decir seleccionar la opción “Start” (Figura 24-3).



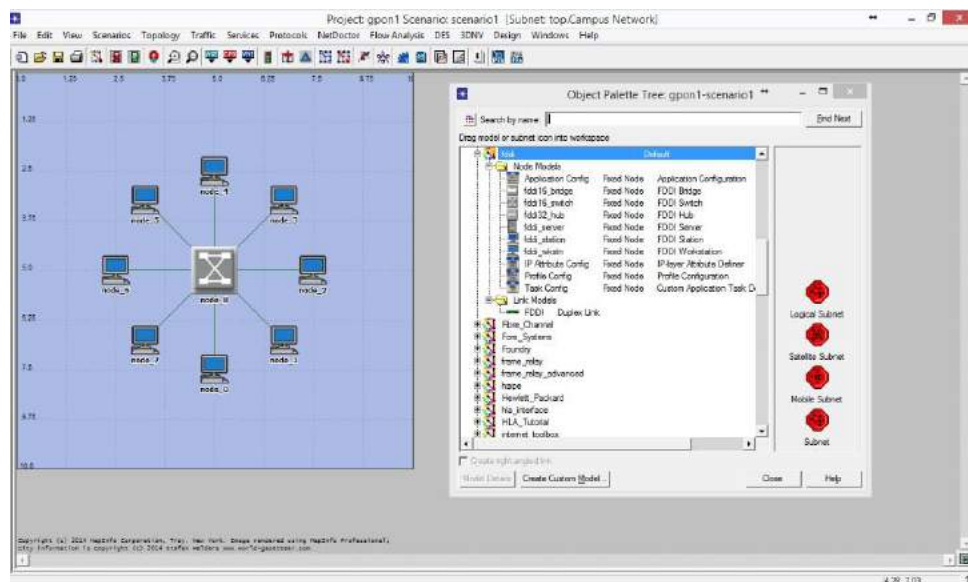
**Figura 24-3. Selección de topología de tipo estrella.**  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- La herramienta “Rapid Configuration”, necesita otras configuraciones de complemento que se realiza en la sección de Models (Figura 25-4)
  - a. Center node model: fddi\_16\_switch.
  - b. Periphery node model: fddi\_wkstn.
  - c. Number: 8.
  - d. Link model: FDDI.



**Figura 25-3. Configuración con la herramienta Rapid Configuración.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

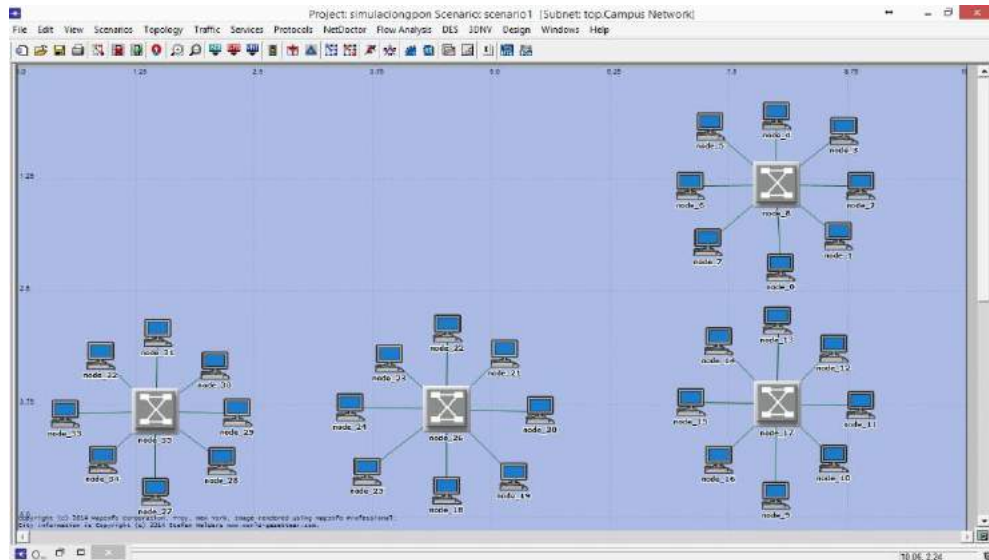
- La figura 26-3 permite observar el resultado que se obtiene al utilizar la herramienta esta herramienta Rapid Configuration



**Figura 26-3. Topología en estrella creada con Rapid Configuration.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

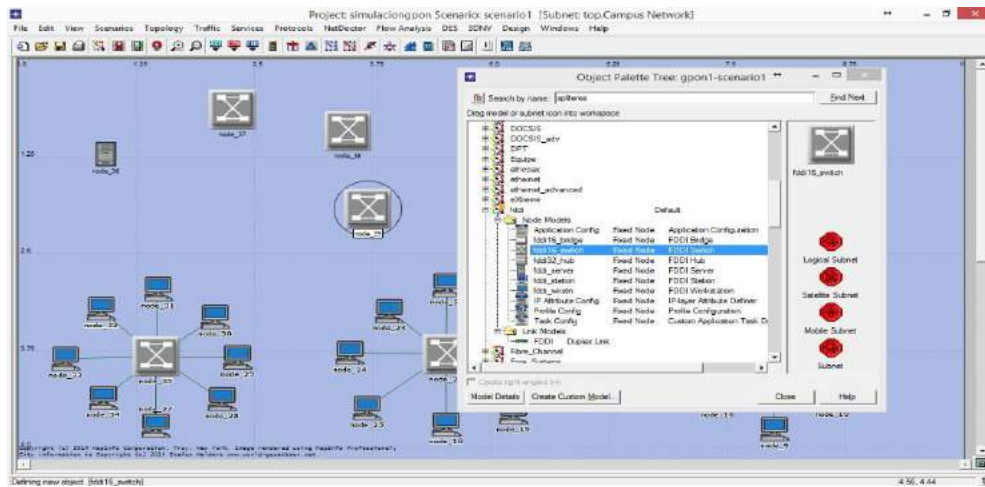
- Para completar la topología del escenario establecido se repite tres veces más el proceso de utilizar la herramienta “Rapid Configuration”, obteniendo el siguiente esquema de red. (Figura 27-3)





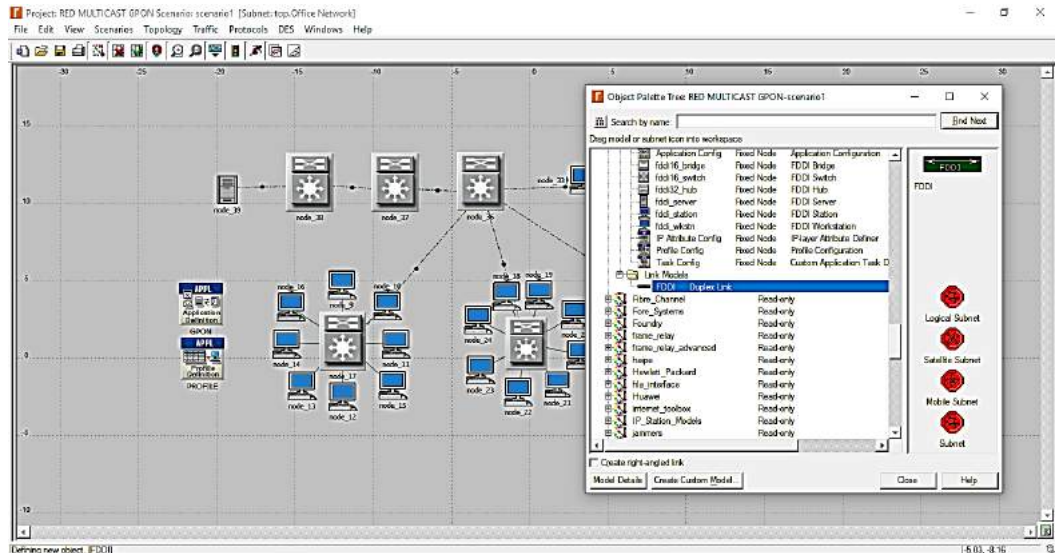
**Figura 27-3. Topología final creada con Rapid Configuración.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Arrastrar de la paleta de objetos hacia el espacio de trabajo un fddi\_server junto con tres splitters fddi16\_switch. (Figura 28-3).



**Figura 28-3. Objetos arrastrados al espacio de trabajo desde Object Palette Tree**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

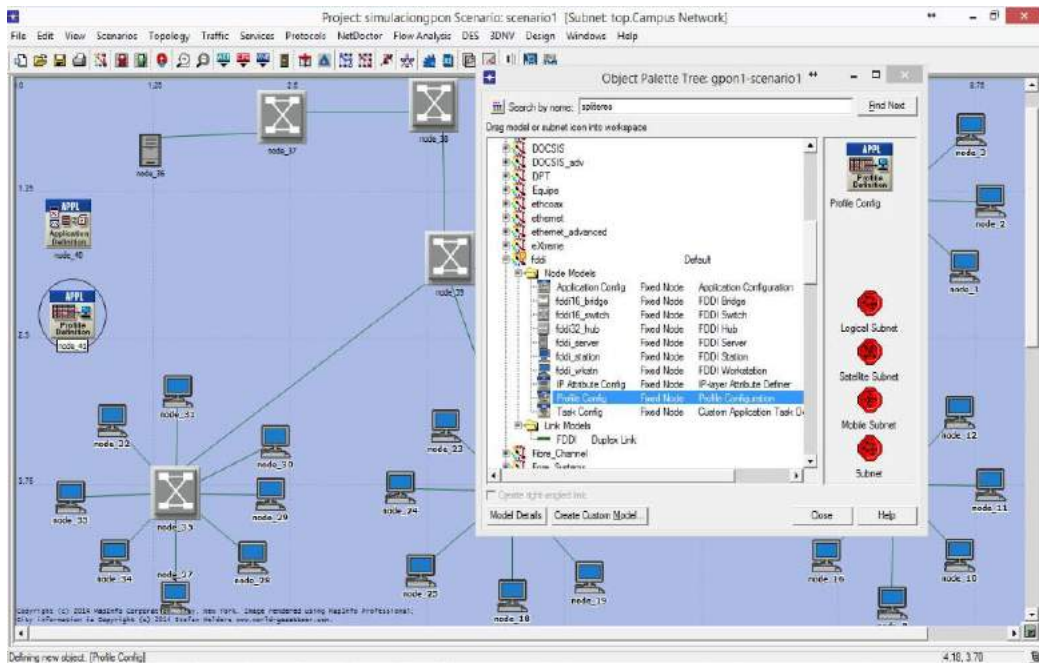
- Conectar cada una de las redes tipo estrella creadas, con el servidor y cada uno de los splitters. Para lo cual se arrastra de la paleta de objetos el FDDI dúplex link, para conectar un objeto con otro se debe hacer clic en el primer objeto y luego en el siguiente. (Figura 29-3)



**Figura 29-3.** Topología GPON creada.  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

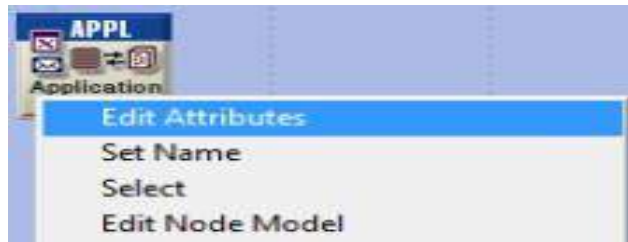
### 3.1.3 Definición de la aplicación

Se define una aplicación estableciendo los servicios que van a utilizar los clientes finales, como la principal característica de la simulación está basada en una red IPTV los servicios principales son: http, el cual hace referencia a la navegación por internet, tv en alta definición el cual es un streaming y finalmente el servicio de voz, para realizar llamadas. Para cumplir con esto, de la paleta de objetos arrastrar al área de trabajo los siguientes objetos “Application Config” y “Profile Config”. (Figura 30-3).



**Figura 30-3.** Application Config y Profile Config listos en el área de trabajo.  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

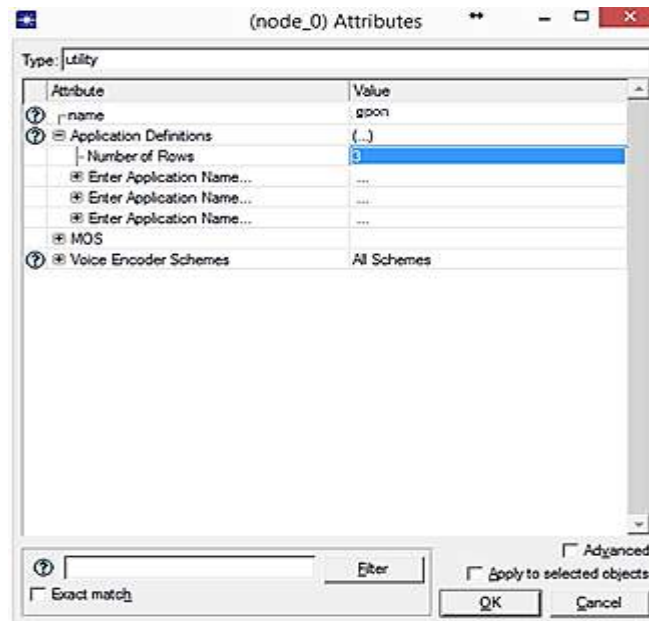
- Para definir la aplicación se realiza lo siguiente:
  1. Sobre “Application Conf” dar click y seleccionar “Edit Attributes” (Figura 31-3).



**Figura 31-3. Configuración Application Config.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

2. En el atributo “name” escribir un nombre para esta simulación es GPON (Figura 32-3).
3. En Application Definitins, para el atributo “Number of Rows”, se seleccionó el número 3 porque se trata de una red IPTV, este dato dependerá del número de aplicaciones que se desee añadir al escenario de simulación (Figura 32-3).

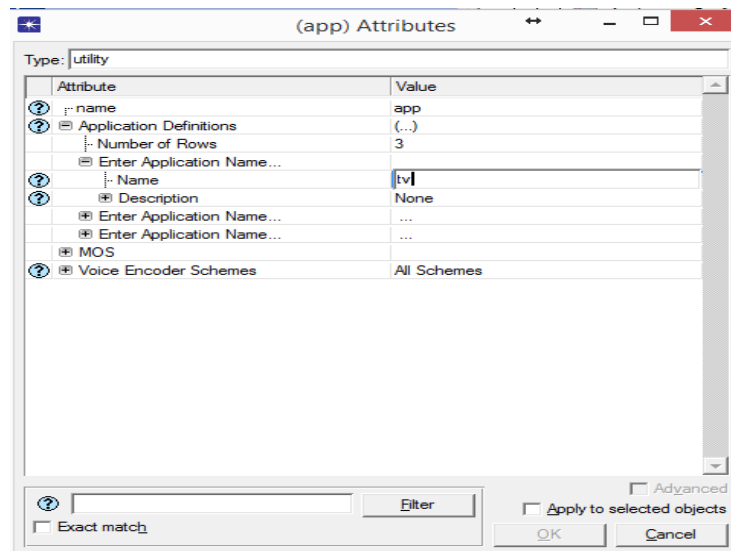


**Figura 32-3. Configuración de atributos Name y Number of Rows.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

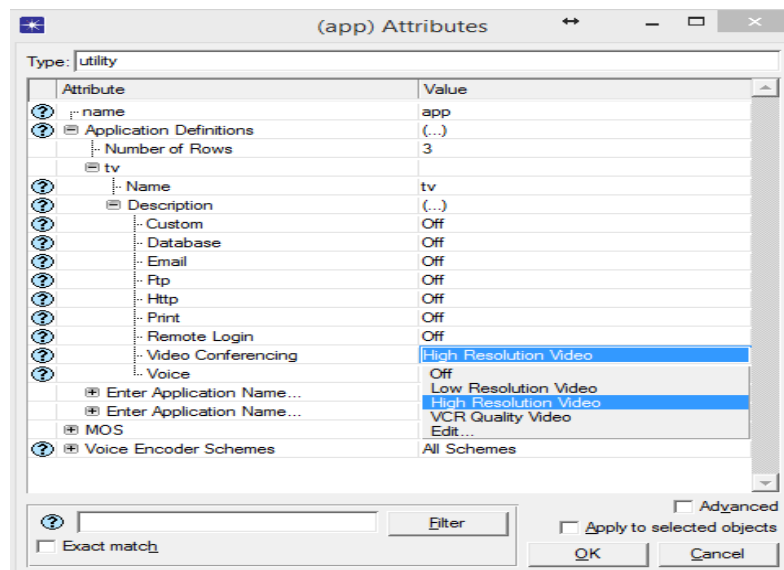
4. Una vez definidos el número de aplicaciones que se van a ejecutar en la simulación se procede a la configuración:

- Para la aplicación de televisión
  5. Presionar en “Enter Application name” y en el atributo “Name” escribimos “TV” (Figura 33-3).



**Figura 33-3. Definición del nombre para el servicio de TV.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

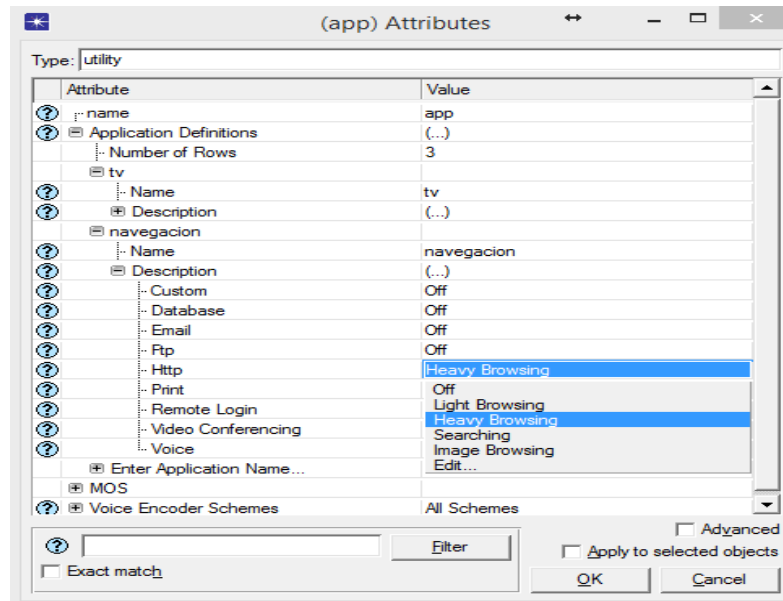
6. En “Description” en el atributo “Video Conferencing” seleccionamos “High Resolution Video” (Figura 34-3).



**Figura 34-3. Selección de la descripción del servicio para TV.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

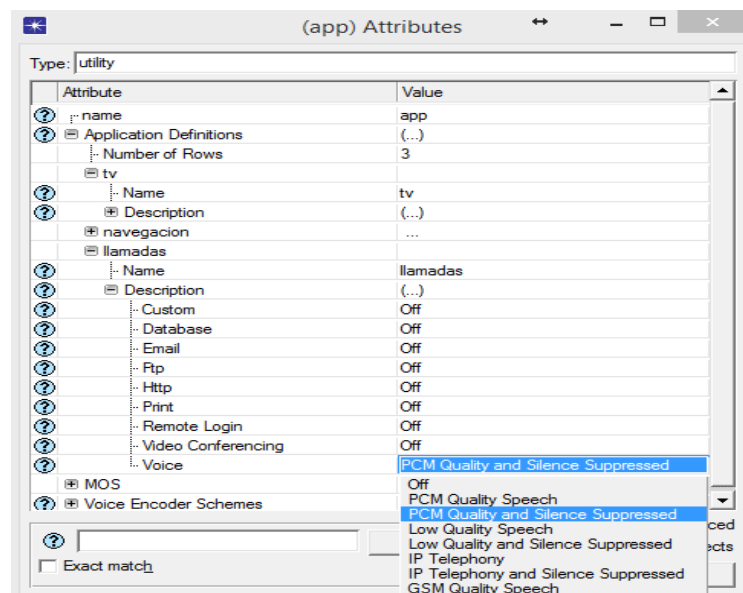
- Para la aplicación de navegación

7. Se siguen los mismos pasos que en el servicio de tv, lo que cambia es en el atributo descripción que se activa la opción “Http” y se selecciona en “Heavy Browsing” (Figura 35-3).



**Figura 35-3. Configuración del servicio de navegación.**  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Para la aplicación servicio de llamada
8. En el atributo “Description” se activa la opción de “Voice” y se selecciona “PCM Quality and Silence Suppressed”, con la intención de que la voz se escuche clara fuerte y constante. (Figura 36-3)

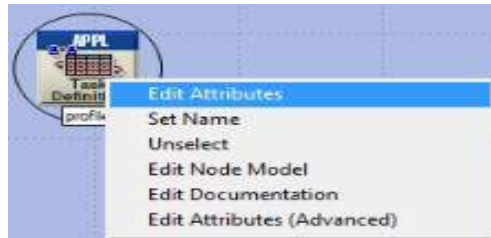


**Figura 36-3. Configuración del servicio de voz.**  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

### 3.1.4 Definición del perfil

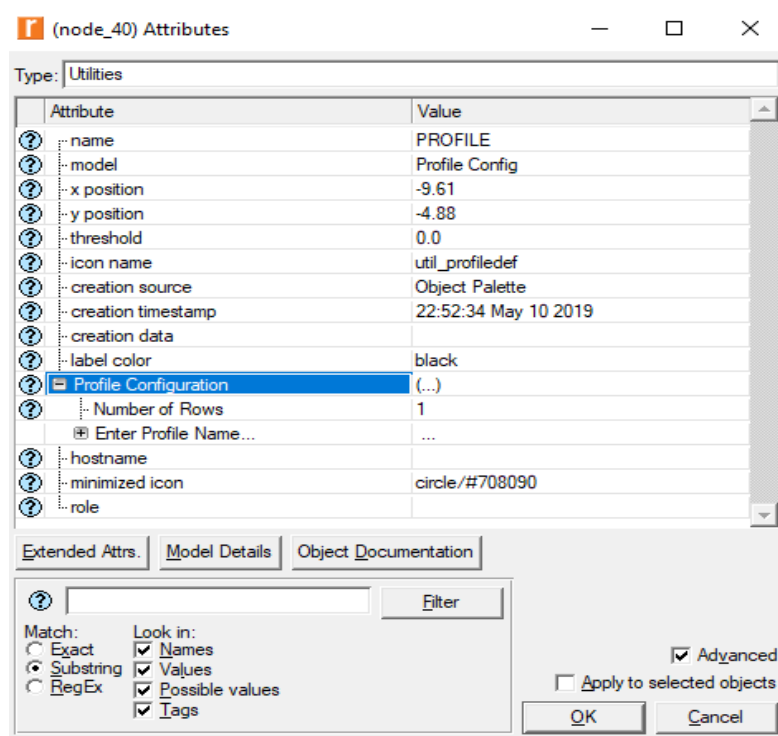
El perfil va a contener a cada una de las aplicaciones definidas previamente. Para lo cual seguimos los siguientes pasos:

- Clic derecho sobre “Profile Config”, seleccionar “Edit Attributes” (Figura 37-3).



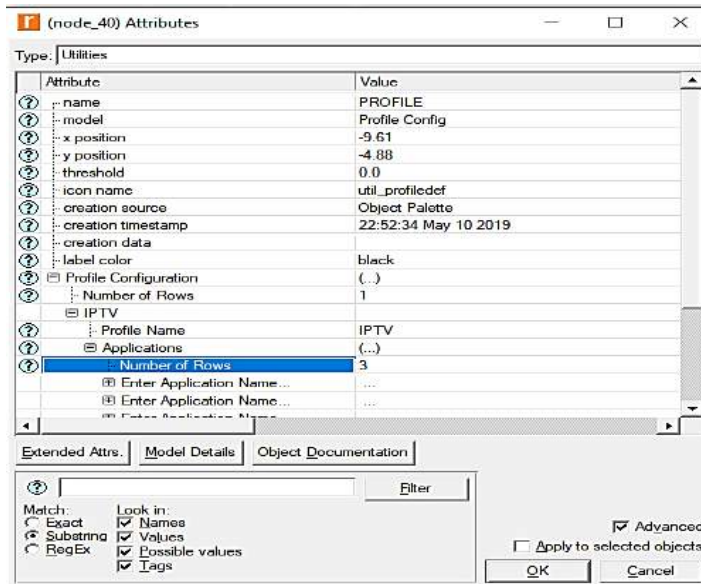
**Figura 37-3. Configuración Profile Config.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- En el atributo “name” escribir profile y en Profile Configuration en el atributo “Number of Rows” seleccionar el número “1” (Figura 38-3).



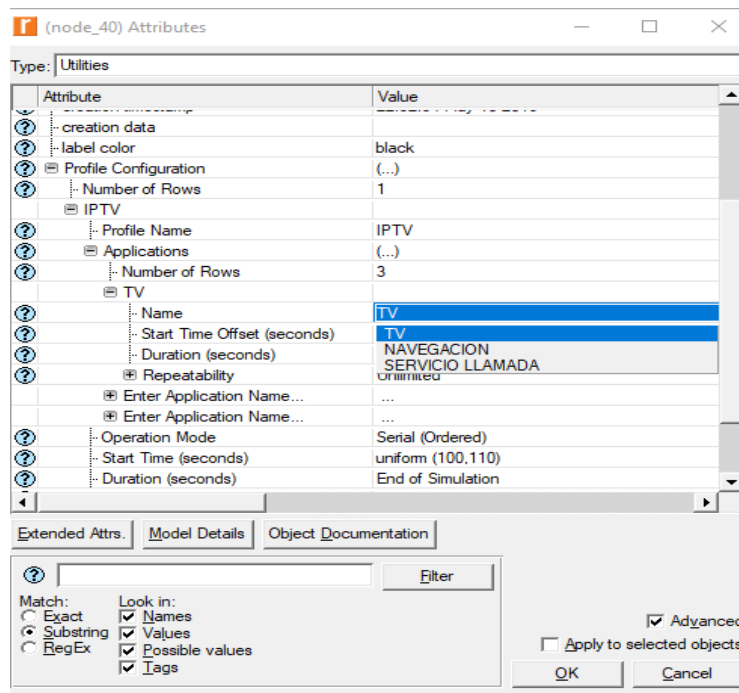
**Figura 38-3. Definición del atributo name y selección de Number of Rows.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Presionar en “Enter Profile Name”, en el atributo “Profile Name”, escribir “iptv”, presionar en “Applications” y en el atributo “Number of Rows” seleccionamos el número “3”. (Figura 39-3).



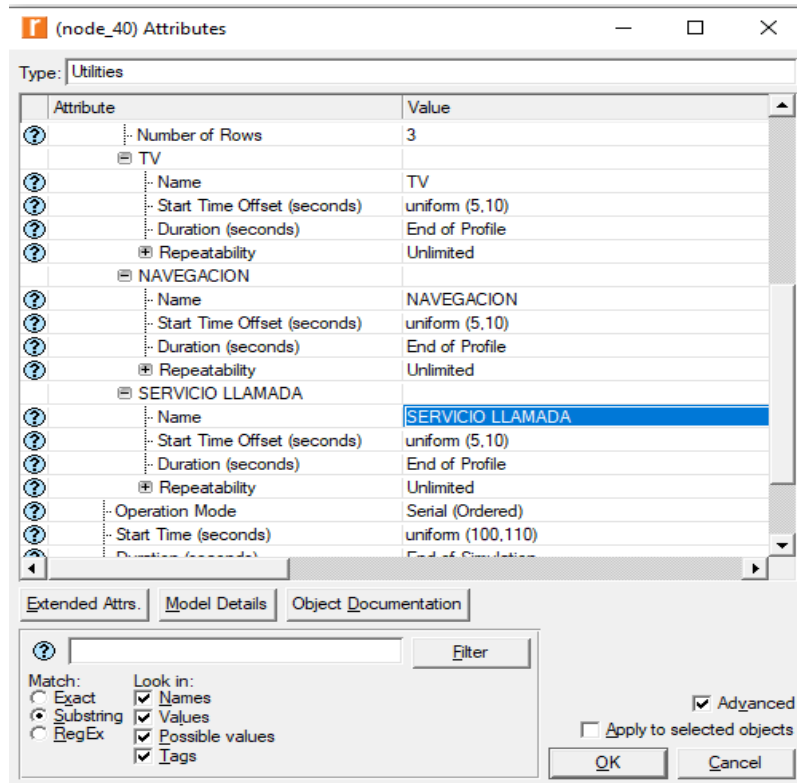
**Figura 39-3. Configuración de Profile Config.**  
Elaborado por: Nancy Casco B. 2019.

- En la opción Applications se dispone de tres atributos “Enter Application Name...”, en cada una seleccionar las aplicaciones que fueron definidas en el “Application Config”. (Figura 40-3)



**Figura 40-3. Asignación de las aplicaciones al perfil creado.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

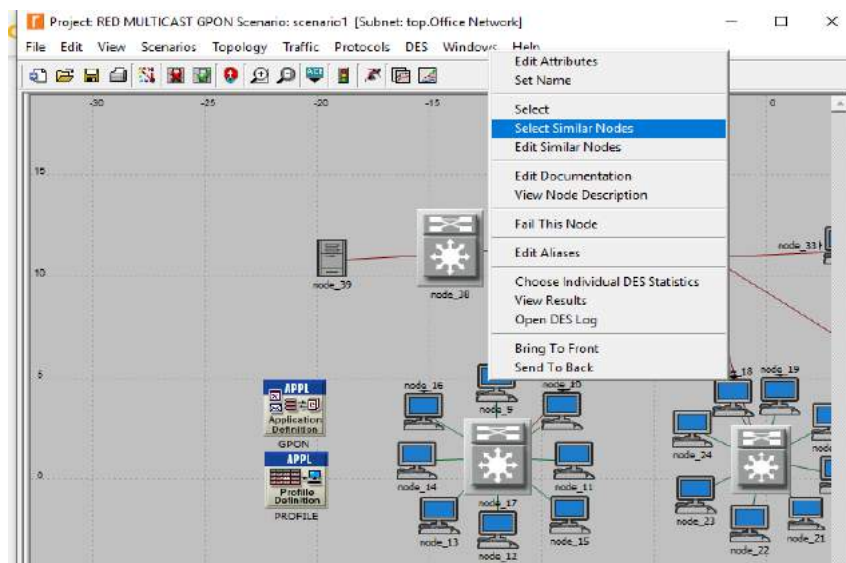
- Se termina la configuración del perfil seleccionando en los dos atributos restantes de “Enter Application Name...” los servicios faltantes. (Figura 41-3)



**Figura 41-3.** Perfil con todas las aplicaciones ya asignadas.  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

### 3.1.5 Asignar la aplicación y el perfil a los nodos

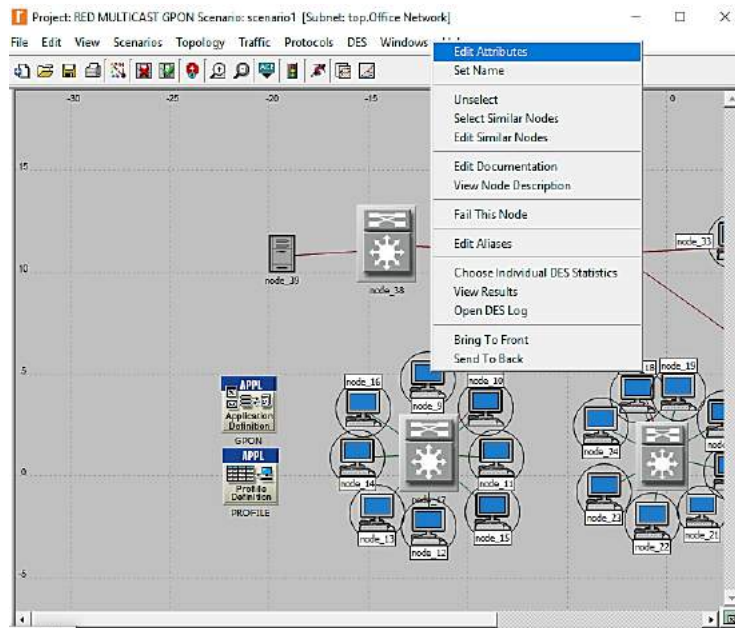
- Escoger un equipo final, clic derecho sobre él, escoger la opción de “Select Similar Nodes” esto permite seleccionar todas las estaciones de trabajo que están disponibles en el proyecto. (Figura 42-3).



**Figura 42-3.** Selección de nodos similares.  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

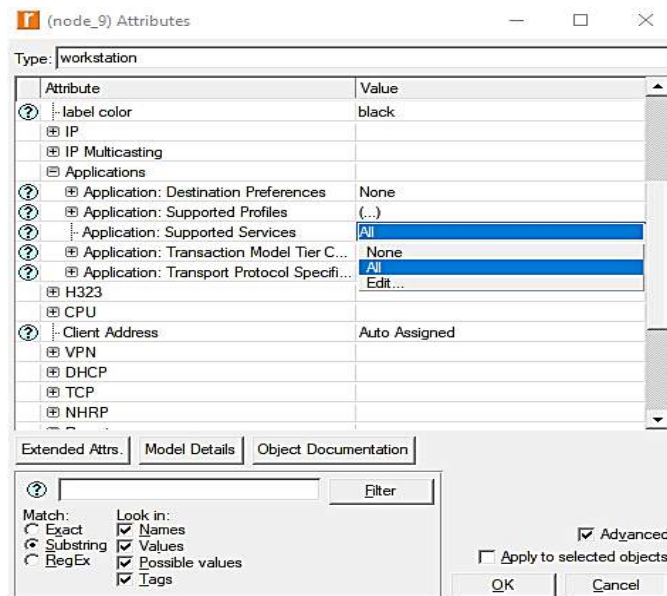


- Dar clic derecho a una estación de trabajo y seleccionar “Edit Atributos”, (Figura 43-3),



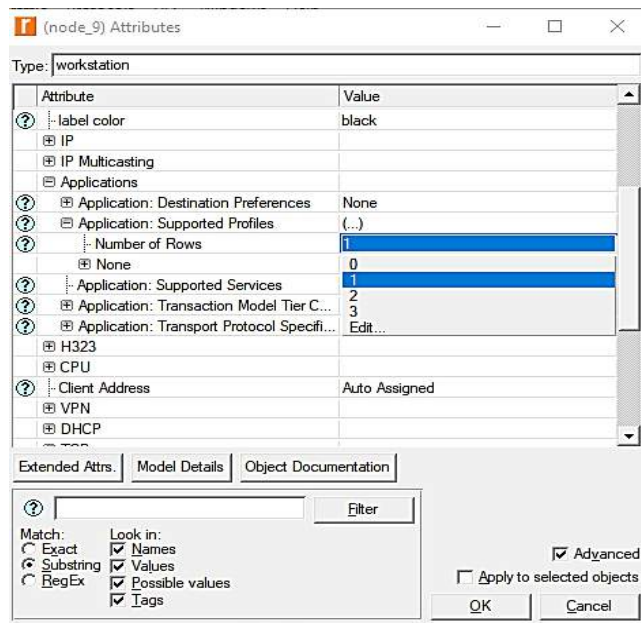
**Figura 43-3. Editar atributos de las estaciones de trabajo**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Presionar en “Applications”, buscar el atributo “Application: Supported Services” y seleccionar la opción “All” (Figura 44-3).



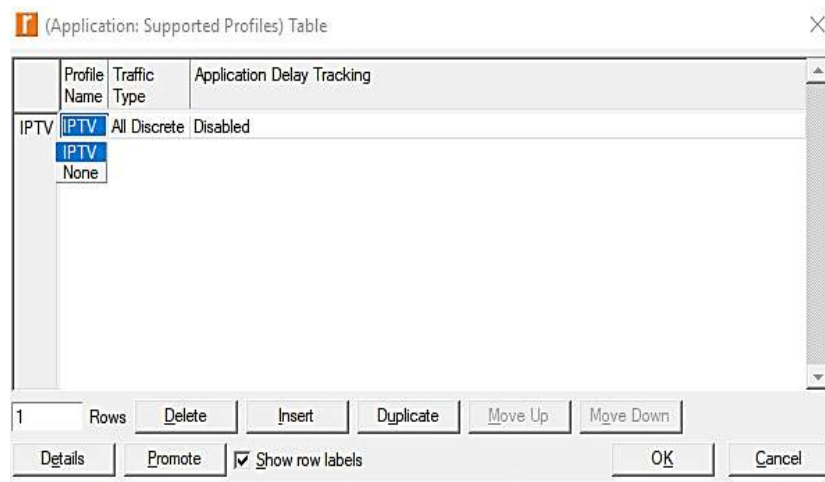
**Figura 44-3. Activación de la aplicación soporte todos los servicios.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- En el atributo “Application: Supported Profiles” seleccionar la opción “Edit”. Se presenta una nueva ventana y en la opción “Rows” seleccionar el número “1”. (Figura 45-3).



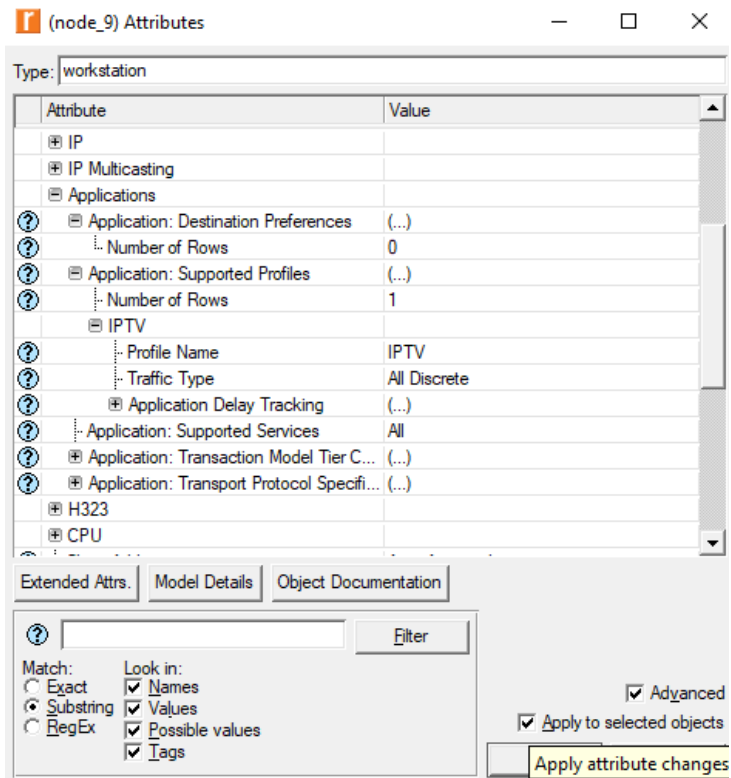
**Figura 45-3. Configuración del perfil en los nodos**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- El siguiente paso es dirigirnos a la opción llamada “Profile Name” y seleccionamos el perfil que fue creado con anticipación y que se denomina “iptv” (Figura 46-3).



**Figura 46-3. Selección del perfil para los nodos.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Seleccionar la opción “Apply to selects objects” para que todos los nodos similares, que fueron seleccionados previamente adopten la misma configuración (Figura 47-3).



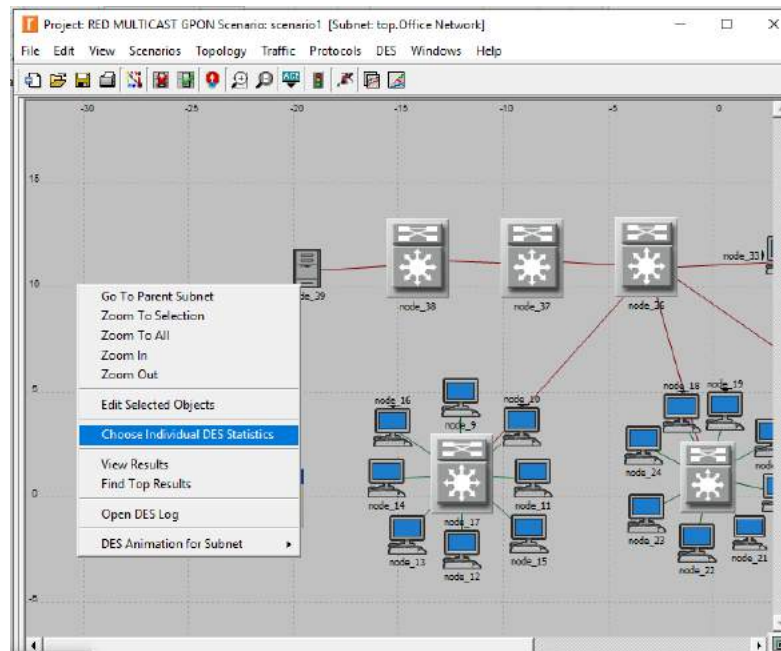
**Figura 47-3. Aplicando configuración a todos los nodos seleccionados.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

Para asignar un perfil al servidor fddi que se encuentra en el área de trabajo se realiza el mismo procedimiento.

### 3.1.6 Estadísticas para visualizar

Se debe seleccionar en la simulación las estadísticas que se requiere obtener y que sean presentados de manera gráfica, para lo cual se sigue los siguientes pasos:

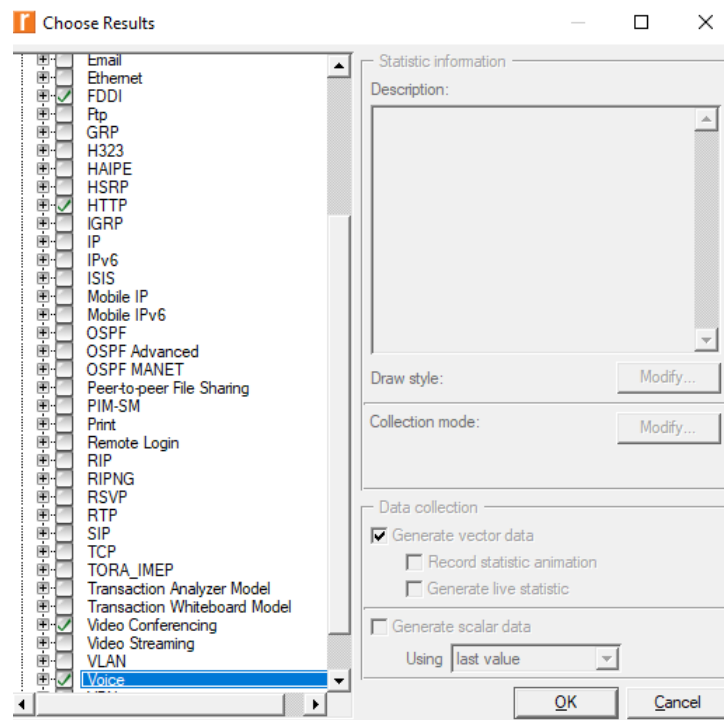
- En un espacio en blanco del área de trabajo dar clic derecho y seleccionar “Choose Individual DES Statistics” (Figura 48-3).



**Figura 48-3. Selección de Estadísticas para Visualizar.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- En la siguiente ventana en la sección de “GlobalStatistics” habilitar las opciones de: “FDDI”, “HTTP”, “Video Conferencing” y “Voice” (Figura 49-3).

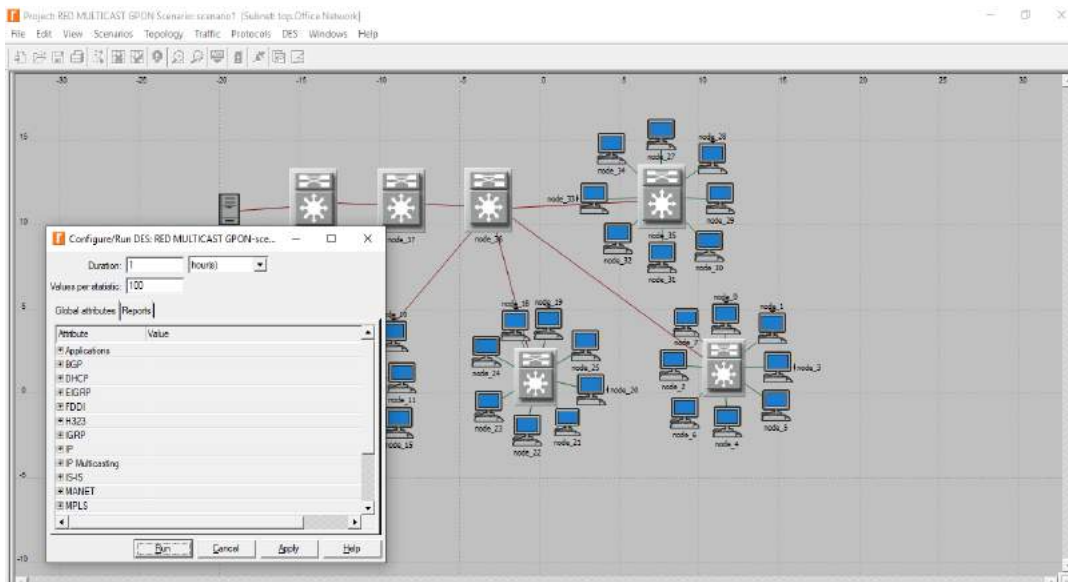


**Figura 49-3. Habilitando estadísticas que visualizaremos.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

### 3.1.7 Correr la simulación y visualizar resultados

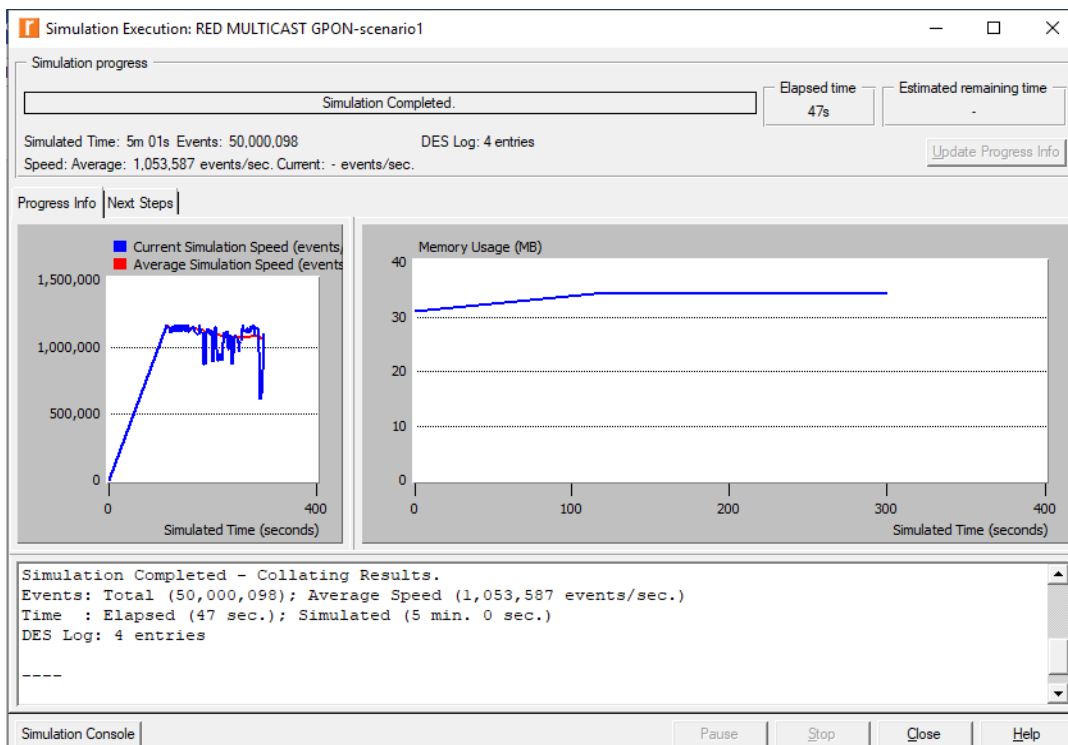
- Dar clic en el ícono Run que se encuentra en la barra de herramientas del programa, se presenta otra ventana donde se tiene el botón que dice “Run” presionar sobre el mismo y la simulación comenzara (Figura 50-3).



**Figura 50-3. Ventana para comenzar la simulación**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

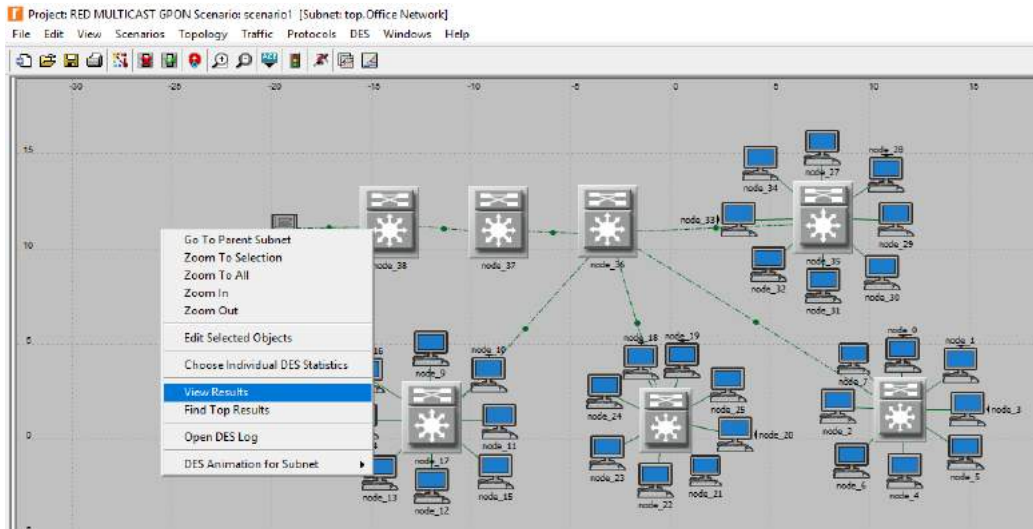
- Cuando la simulación concluya solo dar clic sobre el botón “Close”. (Figura 51-3)



**Figura 51-3. Finalización de la simulación correctamente.**

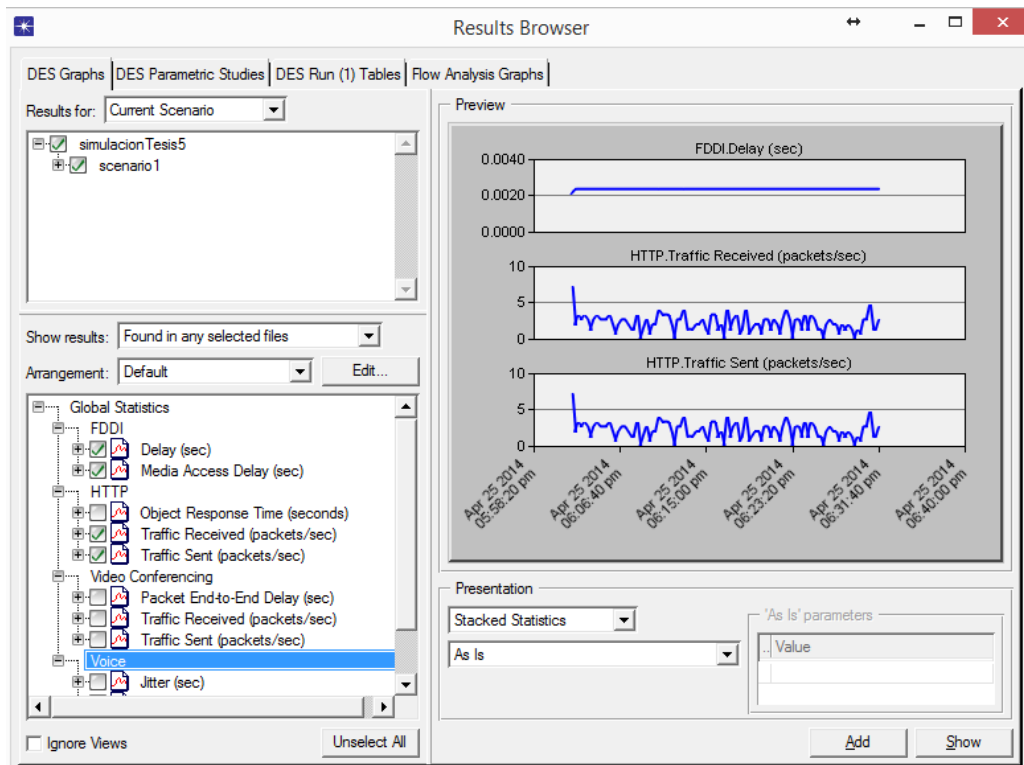
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

- Para visualizar los resultados en una sección en blanco del área de trabajo dar clic derecho y seleccionar “View Results” (Figura 52-3).



**Figura 52-3. Visualizar Resultados de la simulación.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

En la ventana llamada “Results Browser” y en la sección de “Global Statistics” estarán los check por defecto deshabilitados y según las estadísticas que se quiera visualizar ((Figura 53-3).



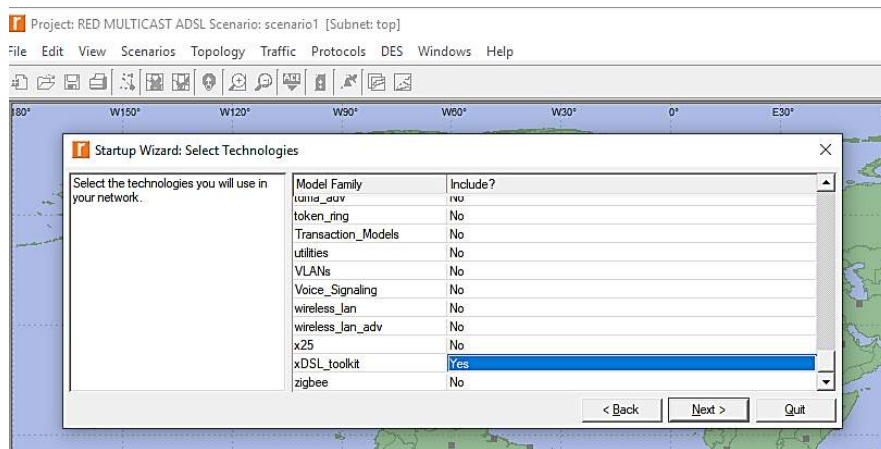
**Figura 53-3. Selección de Resultados a visualizar.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

### 3.2. Escenario 2 Red basada en Tecnología ADSL

El escenario dos corresponde a la utilización de la tecnología ADSL para lo cual se siguen los mismos pasos que se han detallado en el escenario anterior.

#### 3.2.1 Crear nuevo proyecto

En la ventana wizard que se presenta al momento de crear un nuevo proyecto, en la sección que permite escoger la tecnología se deberá marcar la opción “Xdsl\_toolkit y ethernet” (Figura 54-3).



**Figura 54-3. Selección de tecnología ethernet y xDSL.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

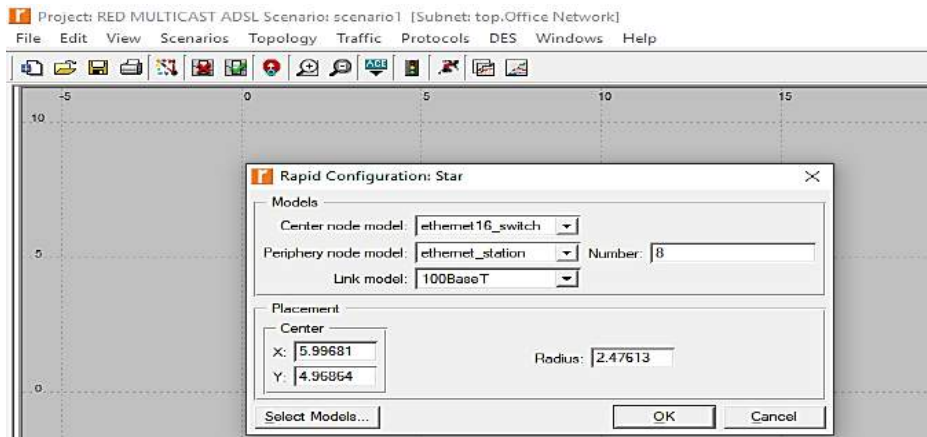
#### 3.2.2 Crear la topología de red

Para crear la topología de red de la paleta de objetos se debe arrastrar al área de trabajo los siguientes elementos:

- Un DSLAM\_atm\_1\_ip32.
- Un Ethernet Server.
- Cuatro xDSL\_modem.

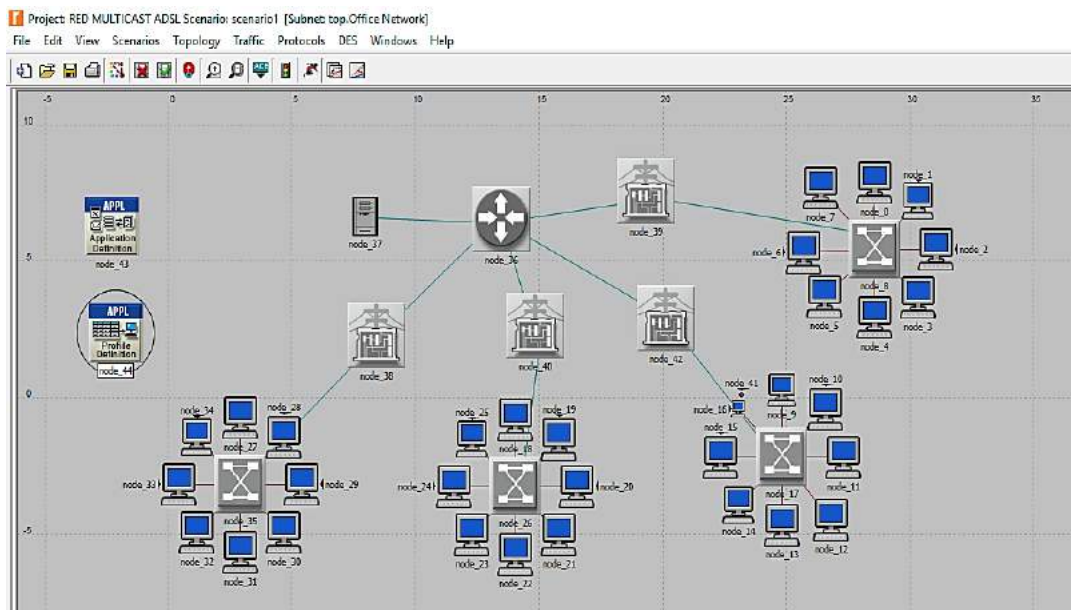
Utilizando la herramienta “Rapid Configuration” se crea cuatro topologías en estrella con los siguientes elementos: (Figura 55-3).

- Center node model: ethernet 16\_switch.
- Periphery node model: ethernet\_station.
- Link model: 100BaseT.



**Figura 55-3. Configuración Rapid Configuration.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

Como ya se cuenta con todos los elementos se procede a enlazar los nodos, arrastrar los elementos “Application Config” y “Profile Config”. (Figura 56-3)



**Figura 56-3. Topología final con tecnología ADSL.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

### 3.2.3 Definir y asignar la aplicación.

Se seguirán los mismos pasos que se detallaron en el escenario uno puesto que se quiere realizar una comparación entre las dos tecnologías implementadas.



### 3.2.4 Estadísticas para visualizar

Se seguirá el mismo proceso del escenario anterior ya que las estadísticas que se quieren visualizar en este escenario son las mismas lo que cambia es el tipo de tecnología a ser utilizada.

### 3.3. Simulación con GNS3 y VLC

La simulación se va a realizar en base a una red con topología estrella creada en el software GNS3, cuenta con una máquina asignada como servidor y varias máquinas que serán los usuarios finales, además se utilizara Wireshark software que permite capturar paquetes para ser analizados.

Las características técnicas de la máquina que se convertirá en el servidor del servicio se muestran en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Características técnicas del Servidor

<b>CARACTERÍSTICAS SERVIDOR</b>	
<b>Máquina Virtual</b>	Server VLC
<b>Sistema operativo</b>	Ubuntu 10.5
<b>RAM</b>	1 Gb
<b>Procesador</b>	Intel ® Core i5
<b>CPU</b>	2.3 Ghz

Fuente: Nancy Casco B. 2019

Las características técnicas de las máquinas que se convertirán en los usuarios finales se pueden observar en la tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Características técnicas de los clientes

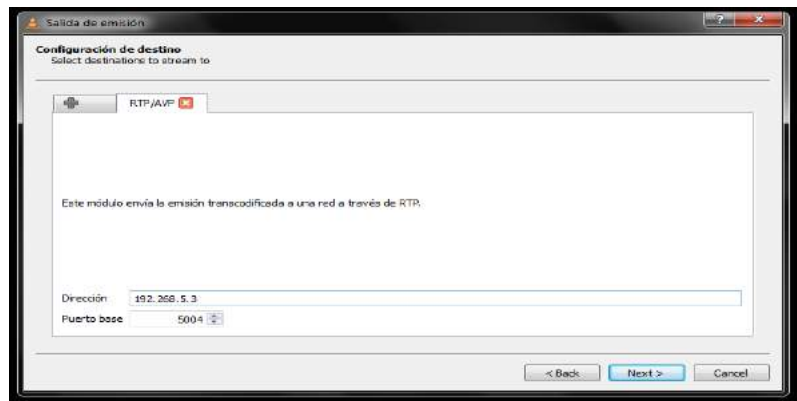
<b>CARACTERÍSTICAS USUARIOS</b>	
<b>Máquina Virtual</b>	Usuarios
<b>Sistema operativo</b>	Ubuntu 10.5
<b>RAM</b>	1 Gb
<b>Procesador</b>	Intel ® Core i5
<b>CPU</b>	2.3 Ghz

Fuente: Nancy Casco B. 2019

### 3.3.1. Configuración del Servidor VLC

Para el servidor IPTV se necesita un servidor de streaming de video se seleccionó el reproductor gratuito y multiplataforma VLC, que soporta múltiples formatos de audio y video sin la necesidad de instalar códecs adicionales. Una de las ventajas de este software es que permite su configuración como streaming de video con grandes características de video bajo demanda.

La emisión de video streaming se realiza a través del protocolo RTP Audio/Video Profile, con la dirección de red 192.168.5.3 y como puerto el 5004 que se encuentra asignado como base, pero se puede seleccionar cualquier valor a partir del 1024 como muestra la figura 57-3.



**Figura 57-3. Configuración Servidor VLC.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

Una vez configurado el servidor se procede a la emisión en la red de los videos seleccionados, VLC, también está instalado en los usuarios para la señal de streaming de video permitiendo que un usuario pueda funcionar como servidor y/o viceversa, para recibir la señal se debe abrir la opción de red, añadir la misma dirección IP asignada al servidor con el protocolo y el puerto. La figura 3.42 muestra la recepción de la señal de straming, en el usuario.

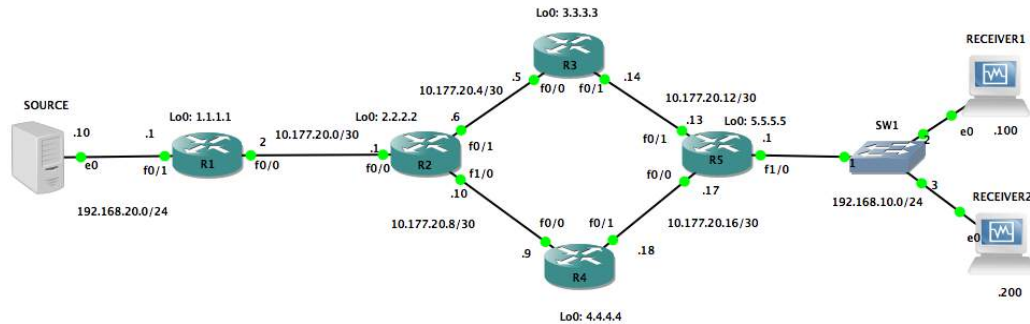


**Figura 58-3. Visualización del usuario.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

### 3.3.2. Configuración del escenario de red

La topología de red que se implementará en el software de simulación GNS3 es multicast cableada, como se muestra en la figura 3.43.



**Figura 59-3. Visualización del usuario.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

Lo que se va a realizar una vez seleccionados los elementos de la red es configurar cada uno de los routers para realizar la emisión de streaming de video, una vez que se inicia la transmisión se puede realizar la captura de paquetes a través de Wireshark. La figura 60-3 muestra la captura de paquetes del servidor VLC.

Wireshark: Protocol Hierarchy Statistics

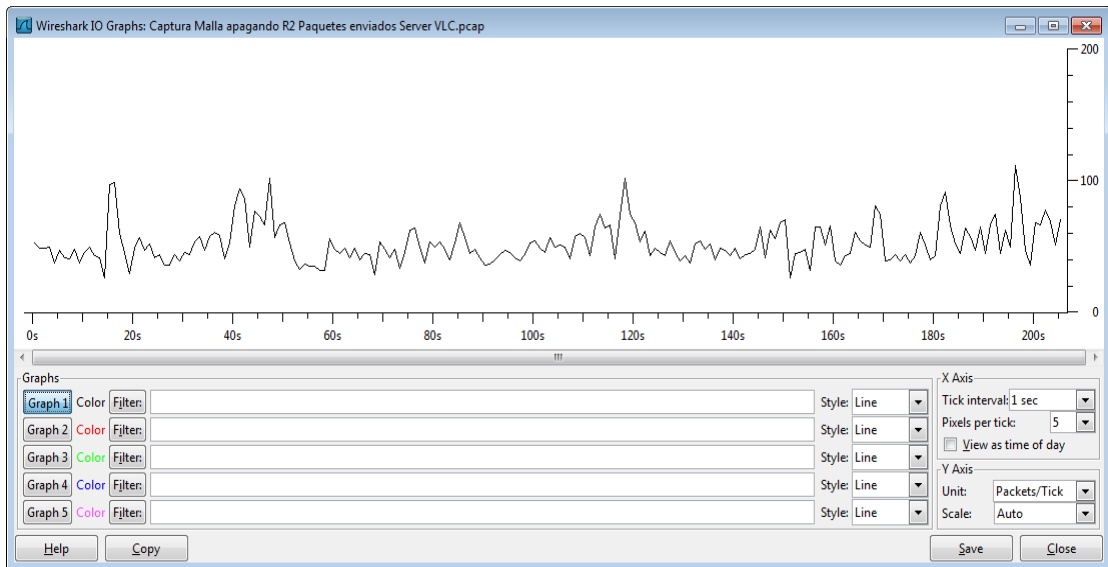
Display filter: none

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
Frame	100,00 %	10602	100,00 %	14340945	0,558	0	0	0,000
Ethernet	100,00 %	10602	100,00 %	14340945	0,558	0	0	0,000
Internet Protocol Version 6	98,29 %	10421	99,87 %	14321952	0,557	0	0	0,000
User Datagram Protocol	97,80 %	10369	99,83 %	14316818	0,557	0	0	0,000
Data	97,48 %	10335	99,81 %	14313826	0,557	10335	14313826	0,557
Domain Name Service	0,32 %	34	0,02 %	2992	0,000	34	2992	0,000
Open Shortest Path First	0,20 %	21	0,01 %	1890	0,000	21	1890	0,000
Protocol Independent Multicast	0,07 %	7	0,01 %	952	0,000	7	952	0,000
Internet Control Message Protocol v6	0,23 %	24	0,02 %	2292	0,000	24	2292	0,000
Configuration Test Protocol (loopback)	0,20 %	21	0,01 %	1260	0,000	0	0	0,000
Data	0,20 %	21	0,01 %	1260	0,000	21	1260	0,000
Internet Protocol Version 4	1,48 %	157	0,12 %	16515	0,001	0	0	0,000
User Datagram Protocol	1,48 %	157	0,12 %	16515	0,001	0	0	0,000
Dropbox LAN sync Discovery Protocol	0,07 %	7	0,01 %	1015	0,000	7	1015	0,000
Domain Name Service	0,32 %	34	0,02 %	2312	0,000	34	2312	0,000
NetBIOS Name Service	0,82 %	87	0,06 %	8004	0,000	87	8004	0,000
NetBIOS Datagram Service	0,02 %	2	0,00 %	459	0,000	0	0	0,000
SMB (Server Message Block Protocol)	0,02 %	2	0,00 %	459	0,000	0	0	0,000
SMB MailSlot Protocol	0,02 %	2	0,00 %	459	0,000	0	0	0,000
Microsoft Windows Browser Protocol	0,02 %	2	0,00 %	459	0,000	2	459	0,000
Hypertext Transfer Protocol	0,25 %	27	0,03 %	4725	0,000	27	4725	0,000
Logical-Link Control	0,03 %	3	0,01 %	1218	0,000	0	0	0,000
Cisco Discovery Protocol	0,03 %	3	0,01 %	1218	0,000	3	1218	0,000

**Figura 60-3. Resumen de paquetes capturados por Wireshark en el servidor VLC.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

En la figura 61-3 se muestra la gráfica de los paquetes cuando se transmitió el streaming de video.



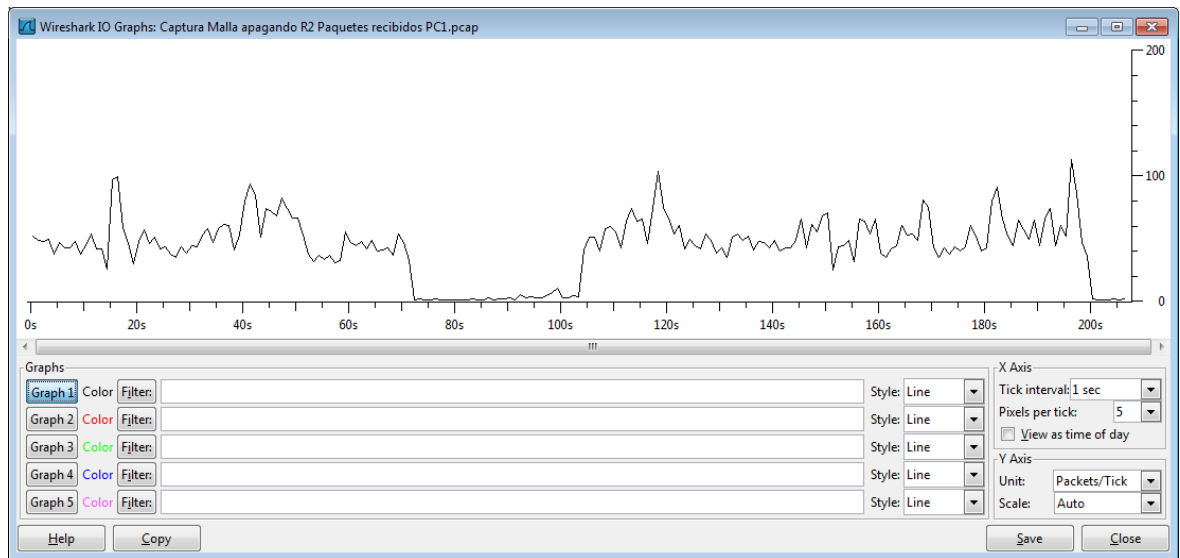
**Figura 61-3. Gráfica captura de paquetes durante la tx del streaming de video.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

En la figura 62-3 se puede visualizar la captura de los paquetes recibidos por uno de los usuarios de la red.

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
Frame	100,00 %	8725	100,00 %	11751624	0,456	0	0	0,000
Ethernet	100,00 %	8725	100,00 %	11751624	0,456	0	0	0,000
Internet Protocol Version 6	97,68 %	8523	99,81 %	11729044	0,455	0	0	0,000
User Datagram Protocol	97,03 %	8466	99,76 %	11723472	0,455	0	0	0,000
Data	96,64 %	8432	99,73 %	11720480	0,455	8432	11720480	0,455
Domain Name Service	0,39 %	34	0,03 %	2992	0,000	34	2992	0,000
Open Shortest Path First	0,23 %	20	0,02 %	1800	0,000	20	1800	0,000
Protocol Independent Multicast	0,08 %	7	0,01 %	952	0,000	7	952	0,000
Internet Control Message Protocol v6	0,34 %	30	0,02 %	2820	0,000	30	2820	0,000
Configuration Test Protocol (loopback)	0,24 %	21	0,01 %	1260	0,000	0	0	0,000
Data	0,24 %	21	0,01 %	1260	0,000	21	1260	0,000
Internet Protocol Version 4	2,02 %	176	0,17 %	20000	0,001	0	0	0,000
User Datagram Protocol	2,02 %	176	0,17 %	20000	0,001	0	0	0,000
Dropbox LAN sync Discovery Protocol	0,32 %	28	0,03 %	4060	0,000	28	4060	0,000
Bootstrap Protocol	0,02 %	2	0,01 %	932	0,000	2	932	0,000
Domain Name Service	0,39 %	34	0,02 %	2312	0,000	34	2312	0,000
NetBIOS Name Service	0,96 %	84	0,07 %	7728	0,000	84	7728	0,000
NetBIOS Datagram Service	0,01 %	1	0,00 %	243	0,000	0	0	0,000
SMB (Server Message Block Protocol)	0,01 %	1	0,00 %	243	0,000	0	0	0,000
SMB MailSlot Protocol	0,01 %	1	0,00 %	243	0,000	0	0	0,000
Microsoft Windows Browser Protocol	0,01 %	1	0,00 %	243	0,000	1	243	0,000
Hypertext Transfer Protocol	0,31 %	27	0,04 %	4725	0,000	27	4725	0,000
Address Resolution Protocol	0,02 %	2	0,00 %	102	0,000	2	102	0,000
Logical-Link Control	0,03 %	3	0,01 %	1218	0,000	0	0	0,000
Cisco Discovery Protocol	0,03 %	3	0,01 %	1218	0,000	3	1218	0,000

**Figura 62-3. Resumen más detallado de los paquetes capturados por Wireshark**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

En la figura 63-3 se muestra la gráfica de los paquetes cuando se recibió el streaming de video.



**Figura 63-3. Gráfica captura de paquetes durante la recepción del streaming de video.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

## CAPITULO IV

### 4. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

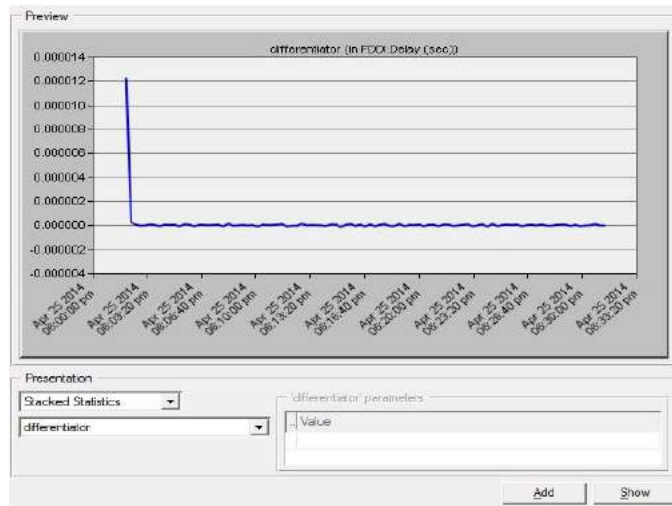
#### 4.1. Análisis de las simulaciones

Una vez realizada la simulación con la utilización de la tecnología GPON para el primer escenario y la tecnología ADSL para el segundo escenario se procede a realizar un análisis de la comparación de los resultados obtenidos de acuerdo a los parámetros establecidos y a los servicios que ofrece una red IPTV, para lo cual se va a utilizar DELAY que es un parámetro de rendimiento de una red, y representa la llegada de paquetes individuales. Este parámetro va a permitir determinar qué tan efectiva puede ser una red, ya que mientras menor sea este valor mucho más fluido y sin cortes será el servicio que se esté utilizando ya sea de voz, video o de internet.

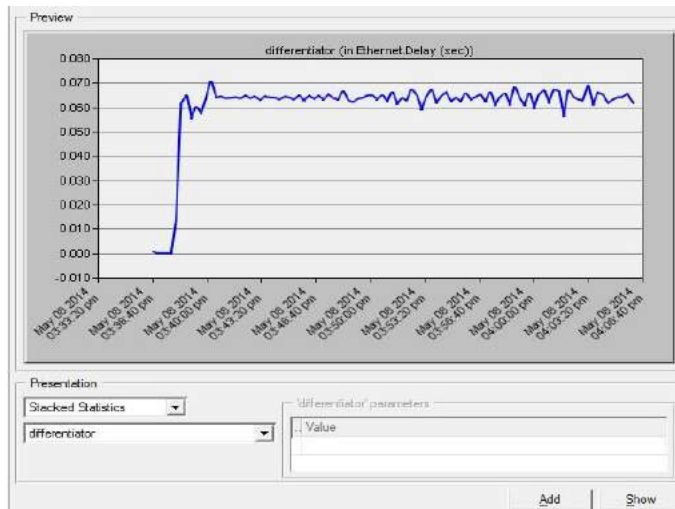
##### 4.1.1 *Gráfica GPON VS ADSL con Delay*

Se puede observar claramente una gran diferencia entre las gráficas de la Figura 64-4 que corresponde a la aplicación del DELAY en la tecnología GPON y de la Figura 65-4 que es la aplicación del DELAY en la tecnología ADSL, ya que en la primera red existe un retardo con un valor máximo de 0.012 milisegundos, llegando a estabilizarse de tal manera que el Delay se aproxima a 0.001 milisegundos, esto quiere decir que es un valor lo suficientemente óptimo para brindar los servicios de IPTV.

En la segunda red se puede observar que Delay tiene una variación irregular es decir que aumenta según el tiempo de servicio solicitado por los usuarios finales, llegando a tener picos máximos de hasta 0.07 segundos y tiende a aumentar según la tasa de clientes crezca, incrementando así el Delay del mismo, lo que afectaría la fluidez y calidad del servicio, además se observa que trata de estabilizarse entre 0.05 y 0.07 con ciertos picos de cambios drásticos.



**Figura 64-4. Delay sobre la Red GPON**  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.



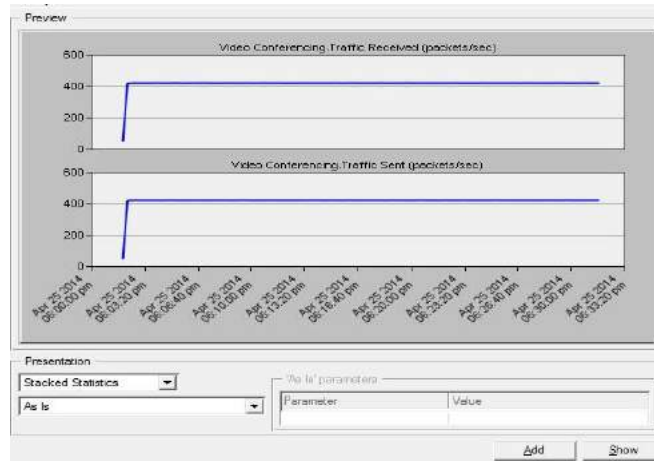
**Figura 65-4. Delay sobre la red ADSL**  
 Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

#### 4.1.2 Gráfica GPON vs ADSL respecto a la transmisión de paquetes de video

Las siguientes gráficas para analizar son con respecto a paquetes de video, es decir la transmisión de contenido de video hacia los usuarios finales. La figura 66-4 representa a la tecnología GPON mientras que la figura 67-4 representa datos de la tecnología ADSL, con la intención de poder observar que tecnología puede soportar más paquetes tanto enviados como los recibidos.

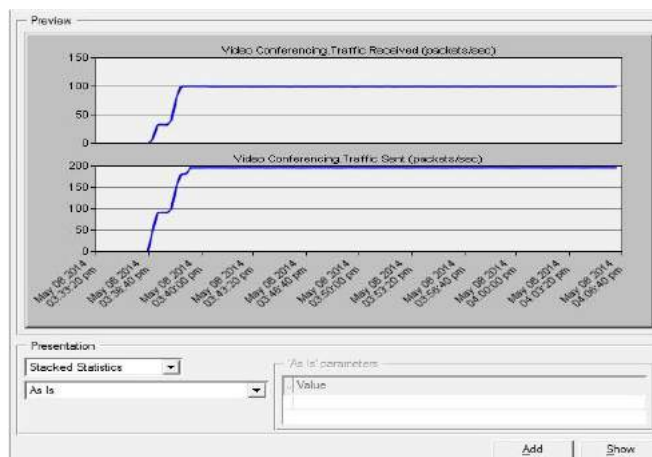
Si observamos la gráfica de la tecnología GPON, notamos que alcanza un máximo de 400 paquetes enviados y recibidos aprovechando el ancho de banda con el que cuenta esta tecnología. Mientras que en la gráfica de ADSL se obtiene un valor máximo de 100 paquetes recibidos por segundo y de 200 paquetes por segundo en cuanto a los enviados.

Con lo que podemos apreciar una vez más que la tecnología GPON trabaja de forma más eficiente en cuanto a la transmisión de paquetes de video.



**Figura 66-4. Video sobre la red ADSL.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.



**Figura 67-4. Video sobre la red GPON.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

### 4.1.3 Gráfica flujo de voz GPON VS ADSL

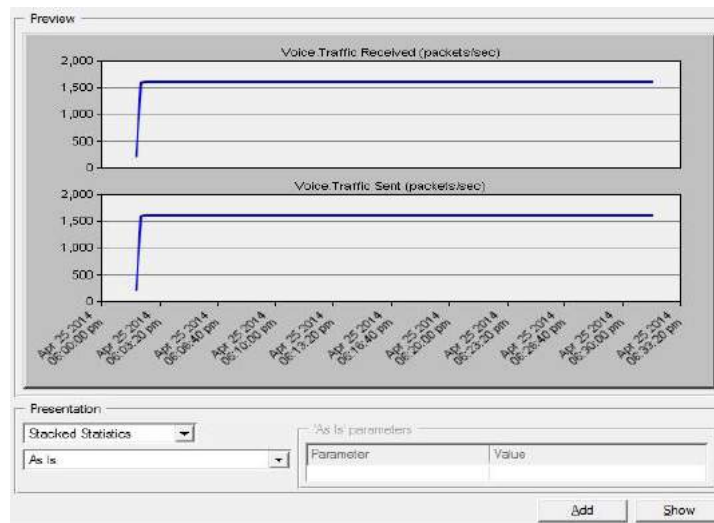
Las siguientes gráficas que se observan en las figuras 68-4 y 69-4 permiten analizar el tráfico de voz producido por llamadas telefónicas teniendo en cuenta que se usa el servicio de VoIP



(Voice Over Internet Protocol), la primera figura representa los resultados obtenidos en la simulación con la tecnología GPON y la segunda representa a la tecnología ADSL.

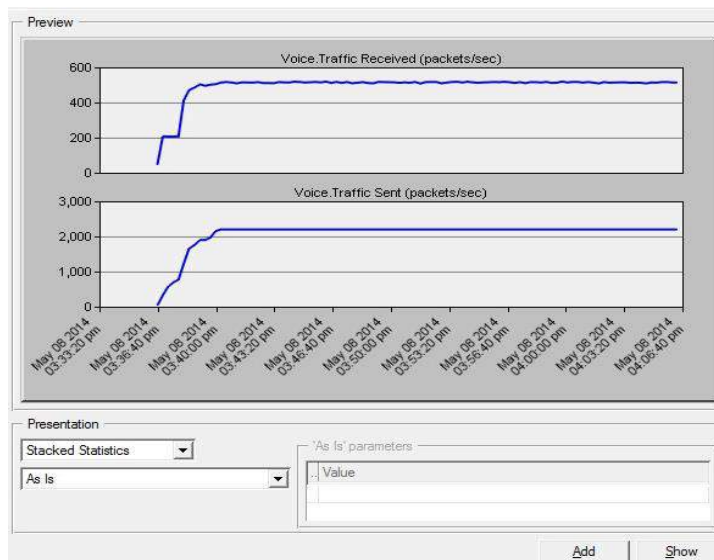
En la figura con la tecnología GPON si se analizan los paquetes enviados y recibidos se aprecia que son los mismos, aproximadamente existen 1.500 paquetes por segundo.

En la figura con tecnología ADSL los paquetes recibidos están aproximadamente en los 500 paquetes por segundo, y los enviados alcanza un aproximado de 2.000 paquetes por segundo, se puede determinar que la tecnología GPON es superior para los paquetes de voz.



**Figura 68-4. Voz sobre la red GPON.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.



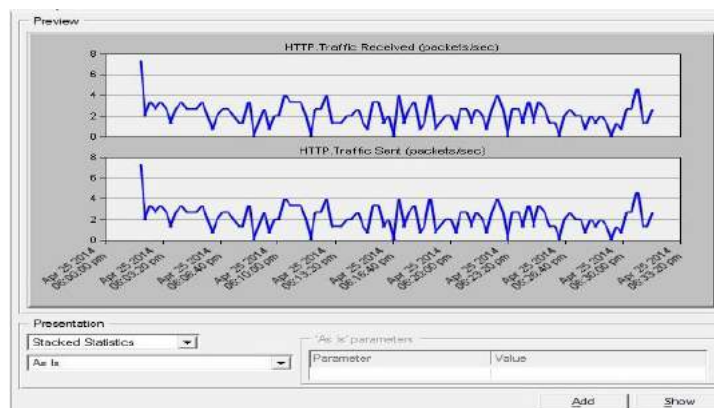
**Figura 69-4. Voz sobre la red ADSL.**

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.

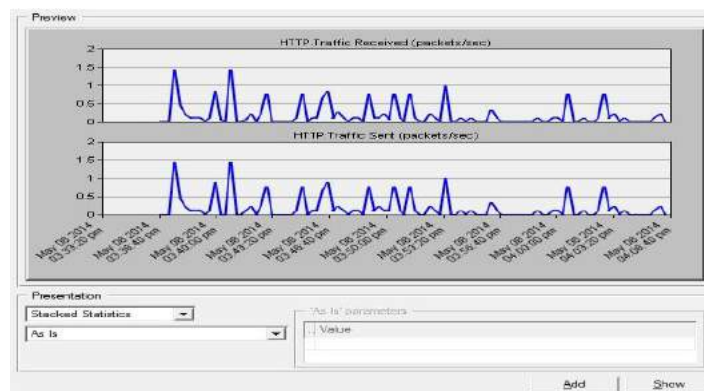
#### 4.1.4 Gráfica de paquetes HTTP GPON VS ADSL

Al hablar de paquetes HTTP las gráficas muestran la navegación por internet que los usuarios podrían realizar en la red IPTV, en la figura 70-4 se puede observar que se tiene 7 paquetes enviados y 7 paquetes recibidos por segundo cuando se utiliza la tecnología GPON, la figura 71-4 muestra que al utilizar tecnología ADSL el máximo de paquetes enviados y recibidos es de 1.5 paquetes por segundo.

Al analizar todas las gráficas de acuerdo a los parámetros establecidos tanto con la tecnología GPON como ADSL, se determina que GPON es más eficiente ya que permitió mucho más capacidad para enviar y recibir paquetes por segundo y obtuvo un Delay mucho más abajo que en la tecnología ADSL, y tras evaluar todas las gráficas en conjunto notamos que la tecnología GPON es superior en cuanto eficiencia de transmisión de servicios primordiales de IPTV como son la navegación de datos, la voz y el más importante de cierta forma el video.



**Figura 70-4. HTTP sobre la red GPON.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019.



**Figura 71-4. HTTP sobre la red ADSL.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

#### 4.1.5 Mediciones para la transmisión del servicio de televisión

Para realizar las mediciones en la entrega del servicio de televisión se utiliza un medio cableado con una variación de carga y tipo de protocolo, determinando cada uno de los parámetros con el incremento de usuarios.

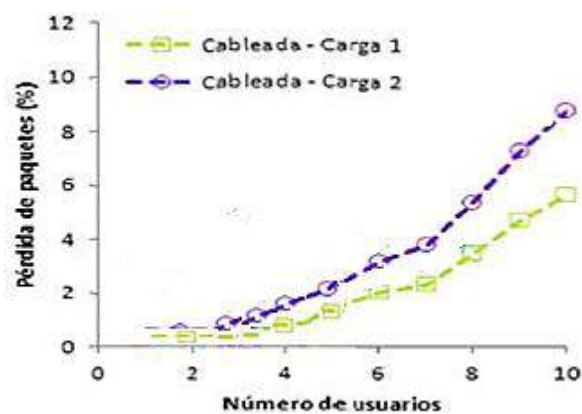
**Tabla 4-4.** Valores de retardo y jitter para el servicio de televisión

Carga	Red	Protocolo	Retardo promedio (ms)	Jitter promedio (ms)
Alta	Cableada	RTSP	148	25
Alta	Cableada	HTTP	157	32
Baja	Cableada	RTSP	111	21
Baja	Cableada	HTTP	117	22

Fuente: Nancy Casco B. (2019)

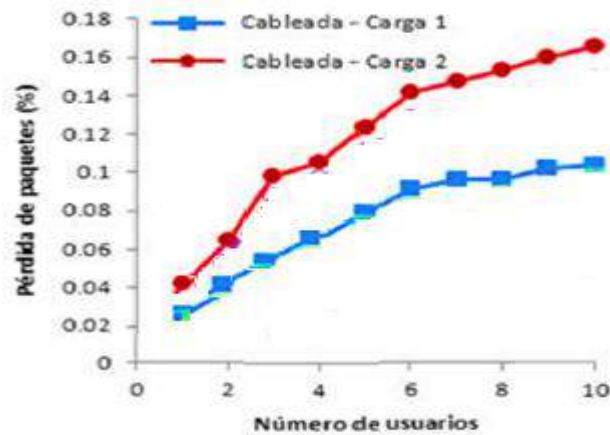
De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 4-4 se puede determinar que el protocolo RSTP tiene un menor valor de Jitter y de retardo independientemente de la carga y del medio de transmisión.

En la figura 72-4 se puede observar que el NSU para el protocolo RTSP es de 90 ms, mientras que el protocolo HTTP tiene un valor de 95ms logrando determinar que los usuarios han recibido un flujo de video con alta calidad. En la figura 73-4 se determina que el NSU para el protocolo HTTP están entre 9 y 11 ms que son mayores a los valores del protocolo RTSP, esto sucede porque si se garantiza la entrega de paquetes se pierde velocidad en la transferencia, por lo tanto, HTTP va a tener una mayor velocidad en la transmisión parámetro importante para IPTV.



**Figura 72-4.** Pérdida de paquetes con RSTP

Elaborado por: Nancy Casco B, 2019



**Figura 73-4. Perdida de paquetes con HTTP**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

#### 4.1.6 Mediciones para la transmisión del servicio de VoD

Para realizar las mediciones en la entrega del servicio de VoD al igual que el caso anterior se utiliza un medio cableado y un medio inalámbrico o Wifi, con una variación de carga y tipo de protocolo, determinando cada uno de los parámetros con el incremento de usuarios como se muestra en la tabla 5-4.

**Tabla 5-4:** Valores de retardo y jitter para el servicio VoD

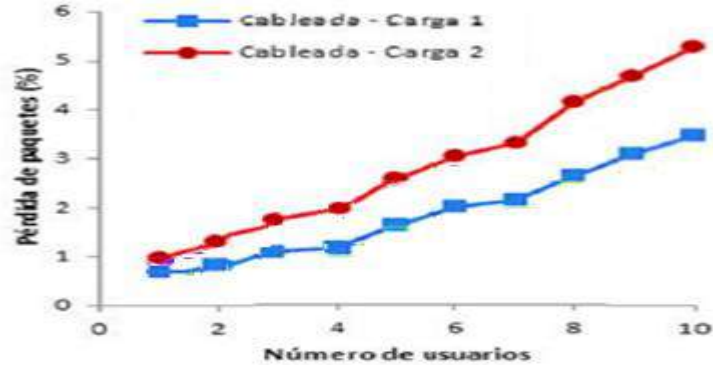
Carga	Red	Protocolo	Retardo promedio (ms)	Jitter promedio (ms)
Alta	Cableada	RTSP	153	32
Alta	Cableada	HTTP	164	37
Baja	Cableada	RTSP	123	25
Baja	Cableada	HTTP	132	25

Fuente: Nancy Casco B. 2019

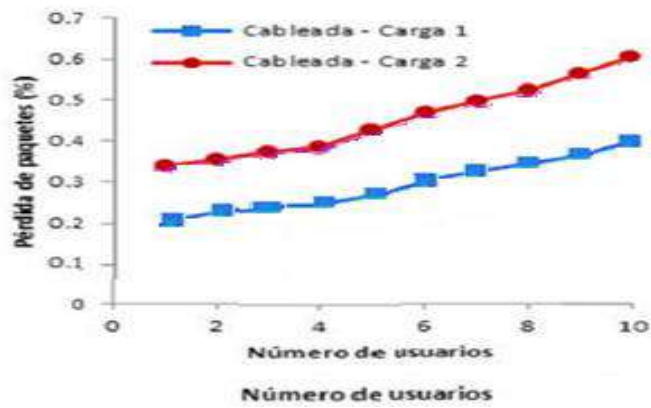
De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 5-4 se puede determinar que el protocolo RTSP tiene un menor valor de Jitter y de retardo independientemente de la carga y del medio de transmisión.

En la figura 3-51 se puede observar que el NSU para el protocolo RTSP es de 88 ms, mientras que el protocolo HTTP tiene un valor de 89ms logrando determinar que los usuarios han recibido un flujo de video con alta calidad, pero en comparación a la transmisión de televisión estos parámetros han disminuido. En la figura 3-52 se determina que el NSU para el protocolo HTTP

están entre 10 y 13 ms que son mayores a los valores del protocolo RTSP, esto sucede porque si se garantiza la entrega de paquetes se pierde velocidad en la transferencia, por lo tanto, HTTP va a tener una mayor velocidad en la transmisión parámetro importante para IPTV.



**Figura 74-4. Perdida de paquetes con RSTP**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019



**Figura 75-4. Perdida de paquetes con HTTP**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

#### 4.1.7 Ancho de banda mínimo requerido para el servicio de IPTV

La tabla 6-4 muestra el ancho de banda mínimo que requiere un usuario en la última milla para obtener los servicios de internet, telefonía e IPTV.

**Tabla 6-4:** Ancho de banda mínimo para IPTV

Servicio	AB requerida
Canal SD	2 Mbps
Canal HD	8 Mbps
Internet	1 Mbps
Telefonía	64 Kbps
<b>Total</b>	<b>11,64 Mbps</b>

Fuente: Nancy Casco B. (2019)

#### 4.1.8 Ancho de banda según el requerimiento de los usuarios

En la tabla 7-4 se observa la cantidad de ancho de banda que se transmite en un día iniciando solo con un usuario el cual consume 0,11 GB hasta los 5,49 GB de 50 usuarios en una hora que permanezcan en la utilización el servicio, si se considera todo el día el máximo de consumo es de 132Gb de 50 usuarios en el día.

**Tabla 7-4:** Número de usuarios del servicio IPTV en un día

NÚMERO DE USUARIOS			
1 usuario		10 usuarios	80 usuarios
Tiempo	Consumo (Gb)	Ancho de banda (Gb)	Ancho de banda (Gb)
1 hora	0,11	1,10	5,49
2 hora	0,22	2,20	10,99
3 Hora	0,33	3,30	16,48
4 Hora	0,44	4,39	21,97
5 Hora	0,55	5,49	27,47
6 Hora	0,66	6,59	32,96
7 Hora	0,77	7,69	38,45
8 Hora	0,88	8,79	43,95
9 Hora	0,99	9,89	49,94
10 Hora	1,10	10,99	54,93
12Hora	1,32	13,18	65,92
14 Hora	1,54	15,38	82,40
16Hora	1,76	17,58	87,89
18Hora	1,98	19,78	98,88
20 Hora	2,20	21,97	109,86
22 Hora	2,42	24,17	120,85
24 Horas	2,64	26,37	131,84

Fuente: Nancy Casco B. 2019

La tabla 8-4 muestra el consumo ancho de banda de 1, 10 y 50 usuarios por semana.

**Tabla 8-4.** Número de usuarios del servicio IPTV en 1 mes

NÚMERO DE USUARIOS			
1 usuario		10 usuarios	80 usuarios
Tiempo	Ancho de banda (GB)	Ancho de banda (GB)	Ancho de banda (GB)
1 semana	18,48	184,59	922,88
2 semana	36,96	369,18	184576
3 semana	55,44	553,77	2768,64
4 semana	73,92	738,36	3691,52

Fuente: Nancy Casco B. 2019

Los servicios IPTV sobre una plataforma ADSL presentan una pérdida de paquetes menor cuando se implementa el formato de compresión MPEG-2 en comparación con MPEG-4, la implementación de QoS no mejora el servicio en lo que tiene que ver a la pérdida de paquetes, el retardo máximo en relación con el códec implementado y a la calidad de servicio son indiferentes. El jitter y el retardo tiene relación con la calidad de servicio. Según los datos de la tabla 9-4 la mejor tasa de transmisión en la tecnología ADSL para la implementación de IPTV es 1024.

**Tabla 9-4.** Número de usuarios de IPTV en 1 mes

Tasa de transmisión	Codec	Calidad de servicio	Parámetro		
			Pérdida de paquetes	Retardo Máximo	Jitter promedio
768 kbps	MPEG-2	SI	0,10	50ms	4ms
		NO	0,08	53ms	9ms
	MPEG-4	SI	0,20	50ms	3ms
		NO	0,22	52ms	9ms
1024 kbps	MPEG-2	SI	0,30	54ms	3,6ms
		NO	0,28	54ms	9ms
	MPEG-4	SI	0,18	56ms	3,8ms
		NO	0,16	58ms	9ms
1536 kbps	MPEG-2	SI	0,17	50ms	4ms
		NO	0,22	50ms	8,2ms
	MPEG-4	SI	0,28	63ms	3,8ms
		NO	0,32	65ms	9ms

Fuente: Nancy Casco B. 2019

#### 4.2. Comprobación de las hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis “Mediante la simulación y evaluación de una arquitectura IPTV utilizando software libre es posible determinar los parámetros de calidad de servicio.”, planteada en esta investigación se utilizó el método Chi-Cuadrado que permite probar las hipótesis de acuerdo con la diferencia entre un conjunto de frecuencias observadas, teóricas y esperadas de una muestra.

El cálculo de Chi-Cuadrado se obtiene de la siguiente fórmula:

$$X_c^2 = \frac{\sum(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Las directrices que se utilizan para aplicar el método Chi-Cuadrado son:

**H0** (Hipótesis Nula) = La simulación de una arquitectura IPTV Multicasting con tecnología ADSL posee mejor calidad de servicio.

**H1** (Hipótesis Planteada / Alternativa) = La simulación de una arquitectura IPTV Multicasting con tecnología GPON brinda mejor calidad de servicio al usuario final, en relación con la arquitectura IPTV Multicasting con tecnología ADSL.

En la tabla 11-4 se muestran las frecuencias observadas en base a la calificación de los parámetros de la tabla 10-4.

**Tabla 10-4.** Valor de frecuencia observadas

Servicio	Rendimiento	Retardo	Relación flujo de paquetes
IPTV con ADSL	0,35	0,7	0,35
IPTV con GPON	0,98	0,98	0,99

Fuente: Nancy Casco B. (2019)

El grado de libertad para el cálculo de Chi. Cuadrado se muestra en la tabla 12-4

**Tabla 11-4.** Valor de frecuencia esperadas

Servicio	Rendimiento	Retardo	Relación flujo de paquetes
IPTV con ADSL	0,42	0,5	0,42
IPTV con GPON	0,91	1,1	0,91

Fuente: Nancy Casco B. (2019)

El cálculo de Chi-Cuadrado arroja un valor de 0,11, se consideró un 5% de nivel de significancia obteniéndose una probabilidad de éxito ( $p$ ) de 0,95. El valor crítico del Chi-Cuadrado según la tabla de Chi-cuadrado ( $v/p$  - Grado de libertad /probabilidad de éxito) para este caso es de 0.1026.

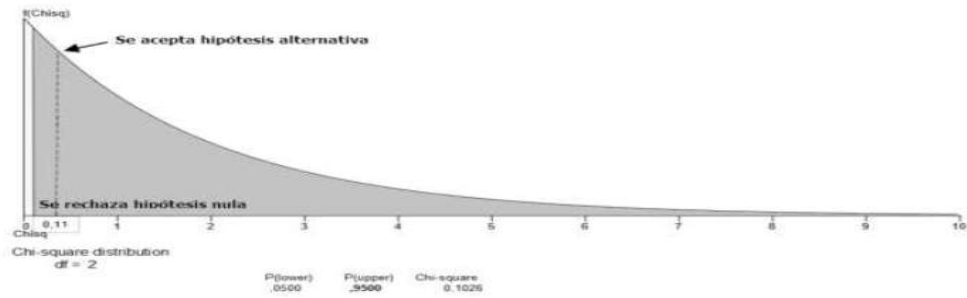
La metodología del Chi-Cuadrado determina si el valor calculado es menor al valor crítico se acepta la hipótesis nula, caso contrario se acepta la hipótesis planteada.

En este caso:

$$X_{CALC} > Valor\ crítico$$

$$0,11 > 0,1026$$





**Figura 76-4. Gráfica de chi cuadrado.**  
Elaborado por: Nancy Casco B, 2019

Con ello, se puede deducir que el valor calculado es mayor que el valor crítico por lo tanto se acepta la hipótesis planteada.

## CONCLUSIONES

- Para la simulación de las diferentes topologías de red se utilizó Opnet Modeler y GNS3 herramientas robustas utilizadas en redes de comunicaciones, ya que permiten construir redes de cualquier magnitud, limitado únicamente por las capacidades físicas del host donde funciona el programa (memoria RAM, disco duro, puertos Ethernet, etc.). Wireshark fue el programa analizador de red escogido, es de fácil instalación y manejo, con un ambiente grafico muy intuitivo. Dentro de su paquete de programación, se encuentran varias herramientas para el análisis de los parámetros de calidad de una red, sean estos de voz, video o datos.
- Al realizar la simulación con la utilización del software Opnet Modeler y GSN3, de dos escenarios (topología de red malla y estrella, alámbrica e inalámbrica) con tecnología GPON y ADSL, se logró verificar que GPON ofrece mayor escalabilidad, mejores resultados en el análisis de los parámetros para la transmisión de servicios IPTV, brindando mayor QoS de servicio que la tecnología ADSL. Realizando una variación en el tipo de protocolo utilizado para la transmisión de video streaming se logró determinar que el protocolo HTTP tiene mejor desempeño que RTSP ya que sus pérdidas son menores en todos los casos en un 70% mientras que el jitter y el retardo se mantienen dentro de valores del estándar considerados.

## ***RECOMENDACIONES***

De los resultados expuestos se indican las siguientes recomendaciones

- Antes de implementar una red siempre es recomendable crear un entorno virtual en base a lo que se tiene previsto utilizando herramientas que se encuentran al alcance y facilitan predecir el comportamiento que llegaría a tener, por lo que Openet Modeler resulta una alternativa eficiente y fácil de usar.
- Se recomienda el análisis de los métodos de seguridad que se pueden implementar en una red IPTV para evitar vulnerabilidades y garantizar el servicio.
- Para lograr mejores condiciones de servicio se debería estabilizar las líneas DSL y distribuir de manera más eficiente los paquetes de localización de datos y nodos. Analizar el soporte de IPTV en cuanto a la cantidad de clientes heterogéneos, debido a la gran diversidad de tecnologías de acceso existentes, esto provoca descompensación en el sistema y hace que el envío de un stream de video pueda saturar nodos con recursos limitados degradando la calidad en nodos más potentes.
- La calidad de servicio está ligado a la eficiencia por lo que se debe realizar un análisis de este, además se debe analizar algoritmos que permitan mejorar la eficiencia y calidad de servicio en la red

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bellido L. (2004) Contribución a las metodologías para la evaluación de la calidad de servicio en redes heterogéneas [PhD Tesis]. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
2. Carlsson, C. y P. Walden (2007). “Mobile TV - To Live or Die by Content”. En: 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, (HICSS '07), Waikoloa, USA, Jan. 3-6, 2007. doi: 10.1109/HICSS.2007.382.
3. Carrillo, Alfredo (2008), “Evaluación técnica y económica del servicio de televisión vía protocolo internet (IPTV) para una empresa de telefonía fija” Tesis Mag en Telemática, Univ. De Cuenca.
4. Chaudhry, A. y J.Y. Khan (2009). “An Efficient MBMS Content Delivery Scheme over the HSDPA Network”. En: 4th International Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC), Melbourne, VIC, 11-13 Feb., 2009. doi: 10.1109/ISWPC.2009.4800565.
5. China Telecom Guangdong aprovecha la oportunidad de IPTV [en línea] <[http://www.huawei.com/ilink/co/success-story/HW\\_U\\_191469?KeyTemps=China%20Telecom,%20IPTV,%20sistema%20de%20soporte%20de%20las%20operaciones](http://www.huawei.com/ilink/co/success-story/HW_U_191469?KeyTemps=China%20Telecom,%20IPTV,%20sistema%20de%20soporte%20de%20las%20operaciones)> [consulta: 24 de junio 2013].
6. Dai, Z. y col. (2008). “Vertical Handover Criteria and Algorithm in IEEE802.11 and 802.16 Hybrid Networks”. En: IEEE International Conference on Communications (ICC '08), Beijing, China, 19-23 May., 2008. doi: 10.1109/ICC.2008.470.
7. Gupta, Priyanka y Ajay Dureja (2015). “A survey on Real-Time Traffic Monitoring & Dynamic Profile Management in Mobile Data Networks”. En: International Journal of Innovations & Advancement in Computer Science (IJIACS), 4.1, págs. 654-660.
8. Holma, Harri, Martin Kristensson y Jorma Kaikkonen (2010). “Multimedia Broadcast
9. IEEE/STD/802.21 (2008). Media Independent Handover Services, IEEE. <https://standards.ieee.org/about/get/802/802.21.html>.
10. IETF RFC 2386 (1998), A Framework for QoS-based Routing in the Internet.
11. 3GPP TS 23.107 (2011), Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 10).
12. Imran, K., M. Mellia y M. Meo (2007). “Measurements of Multicast Television over IP”. En: 15th IEEE Workshop on Local Metropolitan Area Networks (LANMAN 2007). Hyatt Regency, NY, USA, 10-13 Jun., 2007. doi: 10.1109/LANMAN.2007.4295994.

13. ISO/IEC 13818-2 (2000), Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.
14. ISO/IEC 14496-10 (2005), Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding AVC.
15. ISO/IEC 13818-7 (2006), Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 7: Advanced Audio Coding (AAC).
16. ISO/IEC 14496-3 (2005), Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 3: Audio.
17. 3GPP TS 26.234 V11.0.0 (2012), Transparent end-to-end Packet-switched Streaming Service (PSS); Protocols and codecs (Release 11).
18. ITU-T/FG.IPTV (2007). ITU-T Recommendation FG IPTV, Definition of Quality of Experience (QoE). <https://www.itu.int/md/T05-FG.IPTV-IL-0050/en>.
19. ITU-T Rec. E.800 (2008), Definitions of terms related to quality of service.
20. ITU-T Rec. G.1080 (2008), Quality of experience requirements for IPTV services.
21. ITU-T Rec. Y.1541 (2006), Network Performance Objectives for IP-Based Services.
22. ITU-T. "IPTV Focus Group Proceedings". ITU, 2008, p. 715.
23. ITU-T Rec. G.1010 (2001), End-user multimedia QoS categories
24. ITU-T Rec. H.262 (2000), Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.
25. ITU-T Rec. H.264 (2005), Advanced video coding for generic audiovisual services.
26. Jimenez, J. M. y col. (2015). "New algorithm to improve QoE of IPTV service customers". En: Communications Software, Services and Multimedia Applications Symposium (CSSMA). London, UK, 8-12 June, 2015.
27. Juluri, P., V. Tamarapalli y D. Medhi (2016). "Measurement of Quality of Experience of Video-on-Demand Services: A Survey". En: IEEE Communications Surveys Tutorials, 18.1, págs. 401-418. doi: 10.1109/COMST.2015.2401424.
28. Kim, Jongryool y col. (2008c). "Challenges and Realization of Real-Time Multiview
29. Kuran, Mehmet S. y Tuna Tugcu (2007). "A survey on emerging broadband wireless
30. Lloret Mauri, J., García Pineda, M., Boronat Seguí, F. (2008). IPTV: La televisión por Internet. España: Publicaciones Vértice S.
31. Lloret, J. y col. (2011b). "A QoE management system to improve the IPTV network". En: International Journal of Communication Systems, 24.1, págs. 118-138. doi: 10.1002/dac.1145.
32. Lopez-Herreros, A. y col. (2015). "A New IP Video Delivery System for Heterogeneous Networks using HTML5". En: IEEE International Conference on Communications (ICC), London, United Kingdom, June 8-12, 2015

33. Mcdonagh, C. Vallati, A. Pande, P. Mohapatra, P. Perry, and E. Mingozzi, "Investigation of Scalable Video Delivery using H . 264 SVC on an LTE Network," Proceeding of the 14th Wireless Personal Multimedia Communications Symposium (WPMC'11), October 2011, pp. 1-5
34. Multicast Service (MBMS)". En:WCDMA for UMTS. John Wiley y Sons, Ltd, págs. 409-429. doi: 10.1002/9780470669501.ch14.
35. Ohmori, S., Y. Yamao y N. Nakajima (2000). "The future generations of mobile communications based on broadband access technologies". En: IEEE Communications Magazine, 38.12, págs. 134-142. doi: 10.1109/35.888267.
36. Ping Chung, Soung Chang Liew y Chinlon Lin (2005). "Voice over wireless LAN via IEEE 802.16 wireless MAN and IEEE 802.11 wireless distribution system". En: International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Maui, HI, USA, 13-16 Jun., 2005. doi: 10.1109/WIRLES.2005.1549460.
37. Sadiku MNO, Nelatury SR: IPTV: an alternative to traditional cable and satellite television. IEEE Potentials 2011, 30(4):44-46
38. Sánchez Meza, Erick Vinicio. Implementación de iptv a través de enlaces de internet de Banda ancha (televisión sobre ip). Tesis (Ingeniero electrónico). Ciudad de Guatemala, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ingeniería, 2008.
39. Torres J., Ramírez R., López D. Estado del arte de IPTV y consideraciones técnicas para su migración a ipv6 en Colombia. [en línea]<<http://ingenieria1.udistrital.edu.co/digital/index.php/redesdeingenieria/article/view/48/40>> [consulta: 24 de marzo del 2012].

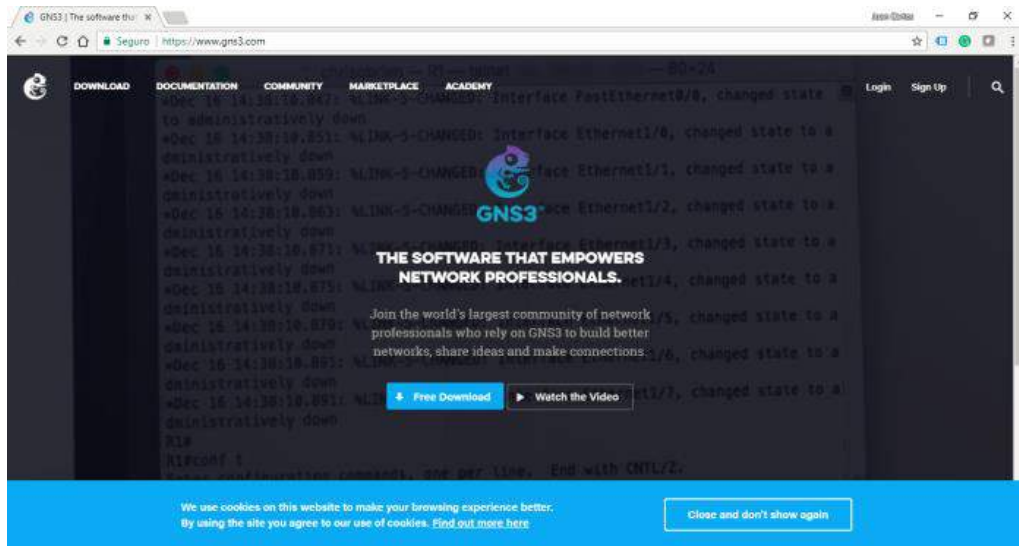
## ANEXOS

### ANEXO A. Descarga e instalación Gns3

#### Descargar GNS3 Mediante Registro

El primer paso es el registro en GNS3 para la descarga del emulador de redes, eso tiene las siguientes ventajas: a) Ingresar a la comunidad GNS3 con acceso a foros, b) Descargar recursos complementarios y c) Descargar documentación actualizada. Recomendamos leer el siguiente este artículo para revisar los requerimientos mínimos del programa.

Para poder conseguir el instalador nos dirigimos a la dirección web: <https://www.gns3.com/> donde encontraremos el botón “Free Download”, le damos click para continuar como se muestra en la Figura 1

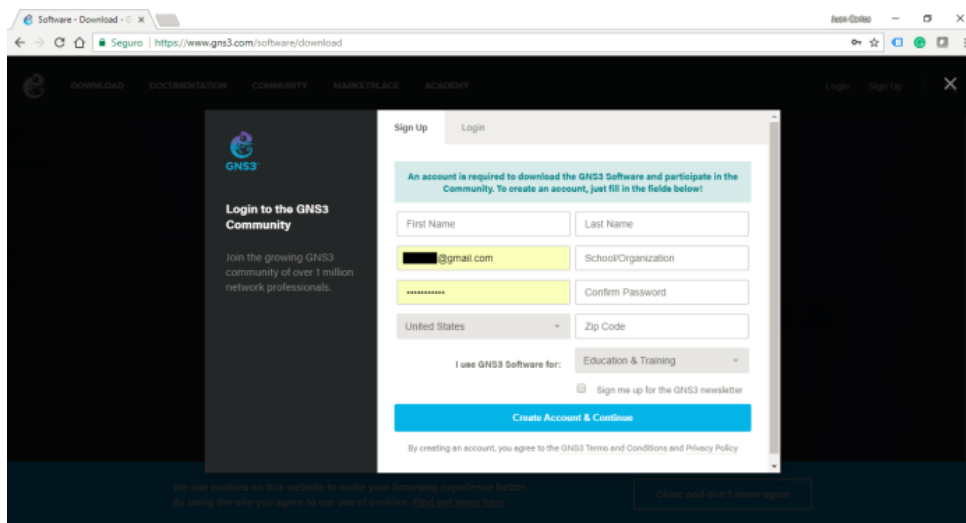


**Figura 1.** Pantalla principal GNS3. gns3 tutorial.

Fuente: <https://www.gns3.com/>

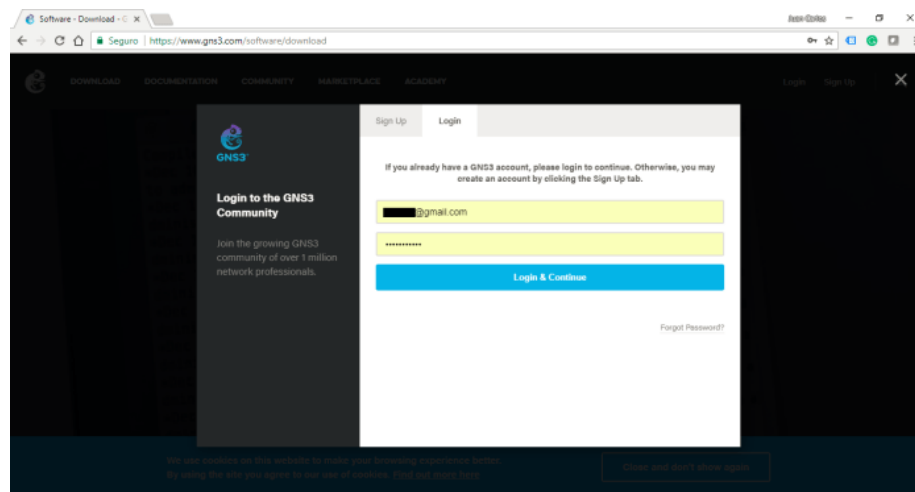
Luego aparecerán dos opciones:

- La primera es “Sign Up” nos permitirá configurar crear un usuario, para eso ingresar sus nombres y apellidos, además un correo electrónico y su contraseña, ingresar el país de procedencia y si corresponde el código postal. Finalmente ingresar para que harán uso del software GNS3, bastará que coloquen que es para propósitos de Educación y Entrenamiento (Education and Training) y le dan click en el botón “Creat Account & Continue”. Pueden observar a continuación la Figura 2 que corresponde a esta opción.



**Figura 2:** Sign UP GNS3. gns3 tutorial  
**Fuente:** <https://www.gns3.com/>

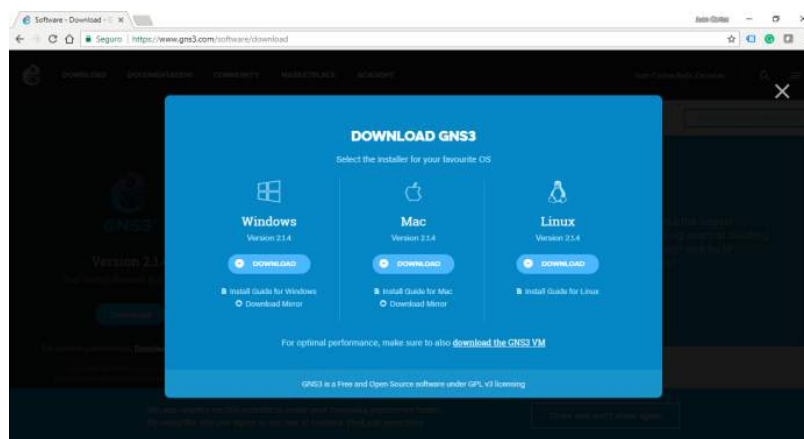
- La segunda opción “Login” nos da la pantalla para el acceso a usuarios previamente registrados, bastará colocar el correo y contraseña (Ver la Figura 3).



**Figura 3.** Log In GNS3. gns3 tutorial.  
**Fuente:** <https://www.gns3.com/>

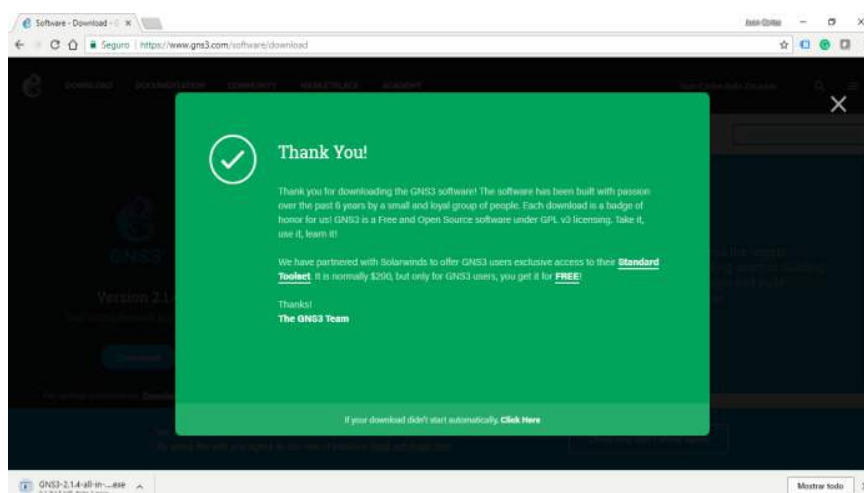
Una vez se acceda a la página, se mostrará automáticamente una pantalla azul donde se puede elegir entre tres opciones de descarga según el sistema operativo, estos son: a) Windows, b) Mac y c) Linux. Para fines del tutorial, y dado que trabajaremos en Windows 10, seleccionaremos Windows (Ver Figura 3).





**Figura 3** Selección del sistema operativo. gns3 tutorial.  
Fuente: <https://www.gns3.com/>

Luego de seleccionar el sistema operativo, automáticamente iniciará la descarga, (Ver Figura 4), el navegador que se utiliza en este tutorial es el Google Chrome, Versión 65.0.3325.181 (Build oficial) (64 bits) gns3 tutorial.



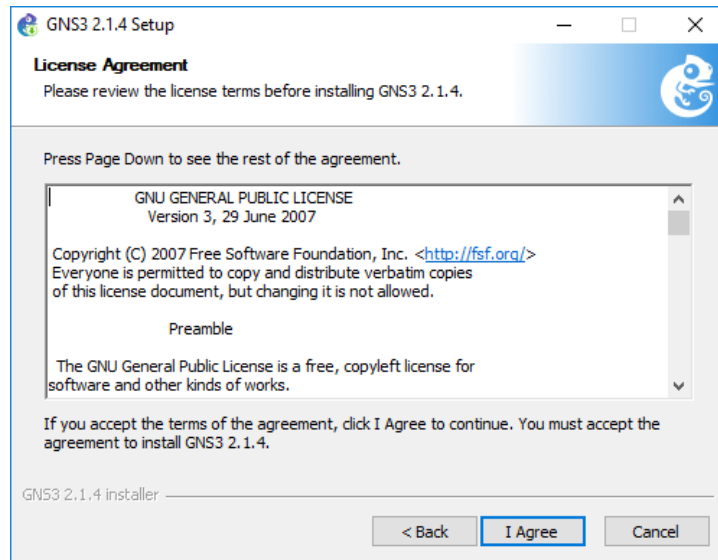
**Figura 4.** Inicio de descarga del GNS3. gns3 tutorial  
Fuente: <https://www.gns3.com/>

## Instalación de GNS3

A continuación, se describe el procedimiento de instalación de GNS3 en Windows 10, la ejecución es similar para otras versiones de Windows.

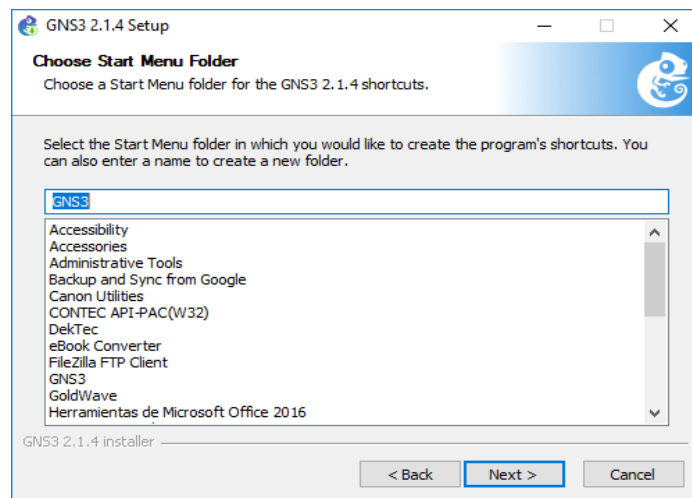
### Inicio de la Instalación GNS3

Una vez finalizada la descarga se debe ejecutar el archivo, luego les pedirá permisos de administrador, le dan Ok y aparecerá la siguiente pantalla según la Figura 5, esta hace referencia al acuerdo de licencia para poder ejecutar la instalación GNS3. Dar Click en “Agree”.



**Figura 5.** Acuerdo de Licencia para la ejecución de la plataforma GNS3.  
**Fuente:** GNS3 instalador.

Luego se elige el Folder donde se instalará el acceso directo en el menú inicio (Ver Figura 6), se recomienda dejarlo por defecto.



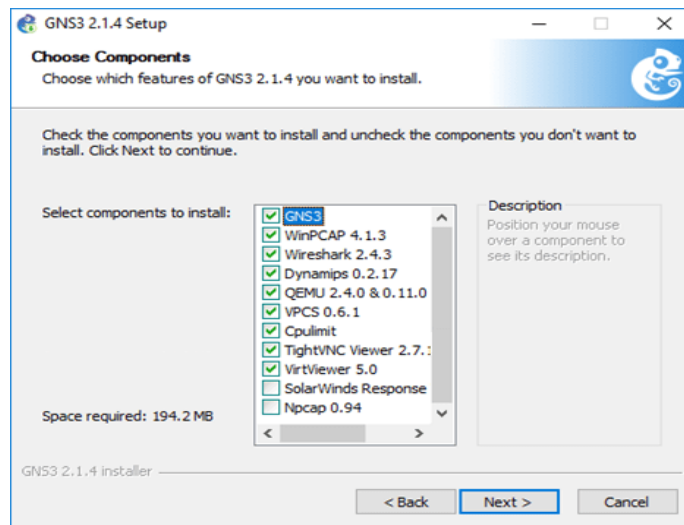
**Figura 6.** Pantalla para escoger el Folder de acceso directo en menú inicio.  
**Fuente:** GNS3 instalador.

### **Selección de componentes para la instalación GNS3**

A continuación, se solicitará seleccionar los componentes que se instalarán junto con el GNS3 tal como se muestra en la Figura 7. Considerar la Tabla 1 con relación a los componentes que están incluidos durante la instalación del GNS3, además de la función de cada uno de ellos y la web de sus desarrolladores. Se recomienda seleccionar e instalar los componentes que están en negrita.

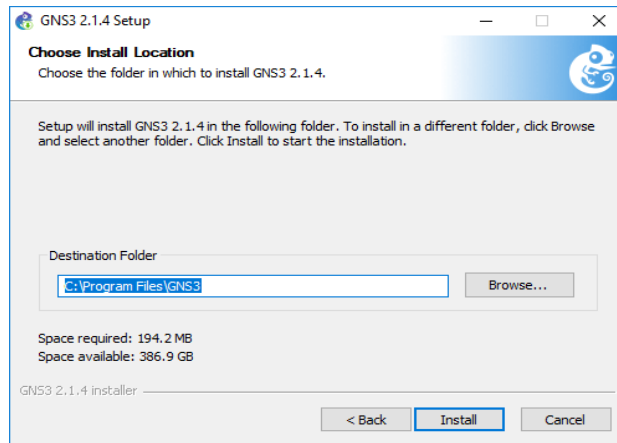
**Tabla1:** Lista de componentes incluidos en la instalación del GNS3

Aplicación	Función	Web del Desarrollador
GNS3	Simulador gráfico de red	<a href="https://www.gns3.com/">https://www.gns3.com/</a>
WinPCAP	Permite enviar y capturar paquetes	<a href="https://www.winpcap.org/">https://www.winpcap.org/</a>
WireShark	Analizador de paquetes	<a href="https://www.wireshark.org/">https://www.wireshark.org/</a>
Dynamips	Emulador de router Cisco	<a href="https://rednectar.net/tag/dynamips/">https://rednectar.net/tag/dynamips/</a>
QEMU	Ejecuta máquinas virtuales	<a href="https://www.qemu.org/">https://www.qemu.org/</a>
VPCS	Simulador de Terminales (PC)	<a href="https://sourceforge.net/projects/vpcs/">https://sourceforge.net/projects/vpcs/</a>
Cpulimit	Limita el uso que hace la CPU en un proceso	<a href="http://cpulimit.sourceforge.net/">http://cpulimit.sourceforge.net/</a>
TightVNC Viewer	Control remoto de máquinas virtuales	<a href="https://www.tightvnc.com">https://www.tightvnc.com</a>
Solar Response	Winds Analizador de paquetes trabaja con Wireshark	<a href="https://www.solarwinds.com">https://www.solarwinds.com</a>
Npcap	Sniffer de puertos	<a href="https://nmap.org/npcap/">https://nmap.org/npcap/</a>



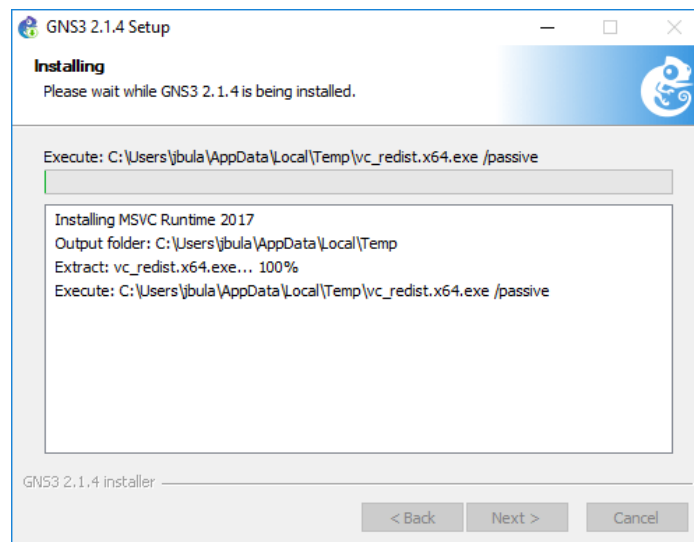
**Figura 7.** Selección de componentes en la instalación del GNS3.  
**Fuente:** GNS3 instalador.

Posteriormente, seleccionar la carpeta donde se instalará la aplicación, en este caso se ha dejado la carpeta por defecto tal como se muestra en la Figura 8.



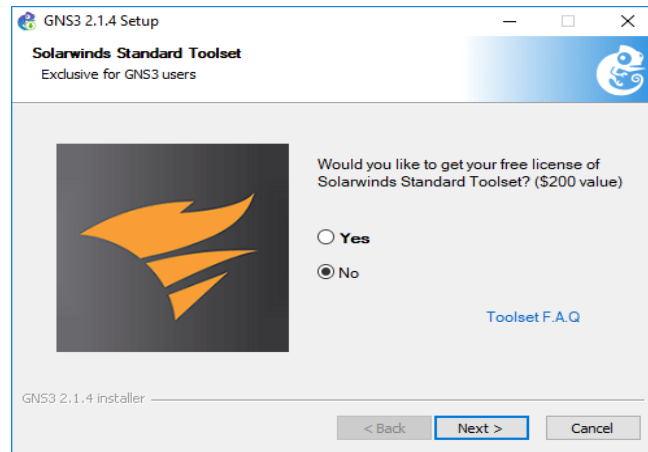
**Figura 8.** Selección de la carpeta de instalación.  
**Fuente:** GNS3 instalador.

Después se realiza el inicio de la copia de archivos tal como se muestra en la Figura 9. Se instalarán aplicaciones adicionales como el Visual C++, darle los accesos para que pueda ejecutarse la aplicación sin problemas.



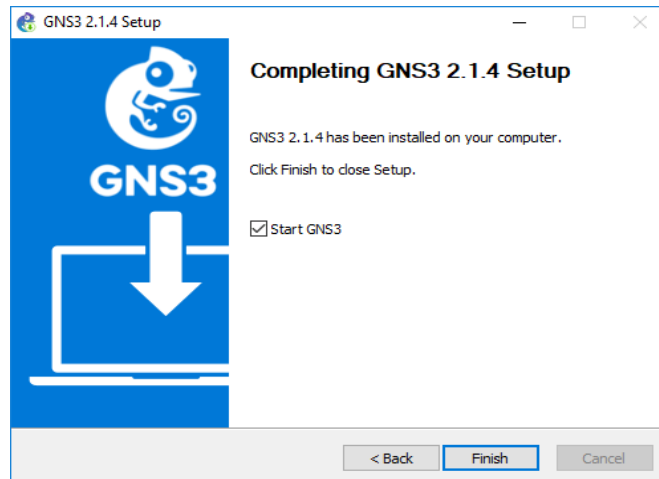
**Figura 9.** Inicio de la copia de archivos al disco local.  
**Fuente:** GNS3 instalador.

En algunos casos se requerirá la conexión a internet para poder descargar aplicaciones como el Wireshark. (Ver Figura 10), se completa la copia de los archivos dar click en Next para continuar. Luego aparecerá una pantalla preguntando instalar la aplicación Solarwinds Standard Toolset, es una aplicación que ayuda en las tareas de administración, gestión y monitoreo de redes, si lo requieren lo pueden instalar, este es el enlace de la aplicación para que puedan consultar mayor información: [http://info.solarwinds.com/standardtoolset\\_au](http://info.solarwinds.com/standardtoolset_au).



**Figura 10.** Selección para la instalación de Solarwinds Standard Toolset.  
**Fuente:** GNS3 instalador.

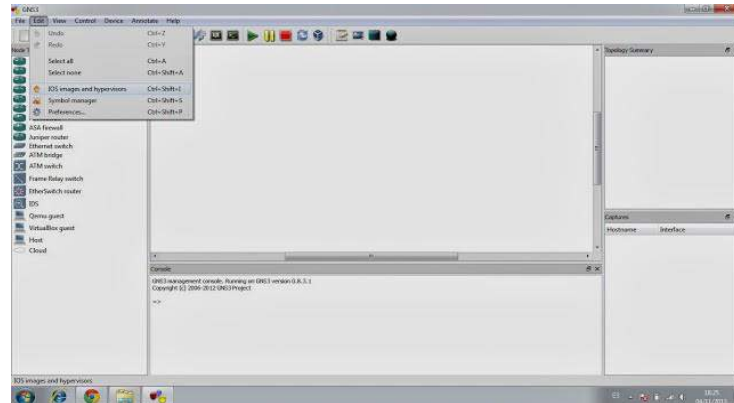
Finalmente se concluye con la instalación GNS3. Seleccionar Start GNS3.



**Figura 11.** Pantalla de finalización de la instalación.  
**Fuente:** GNS3 instalador.

## ANEXO B: Configuración de GNS3 para su uso:

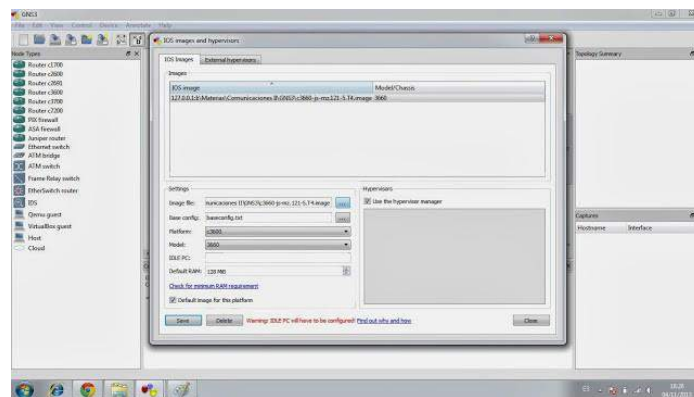
1) En el GNS3 ir a la barra de menú y hacer click en “Edit o Editar”, se desplegará un submenú, dar click en “Images IOS and Hypervisors o Imágenes IOS y Hypervisors”. (Ver figura 12).



**Figura 12.** Pantalla de inicio de configuración GNS3.

**Fuente:** Software GNS3.

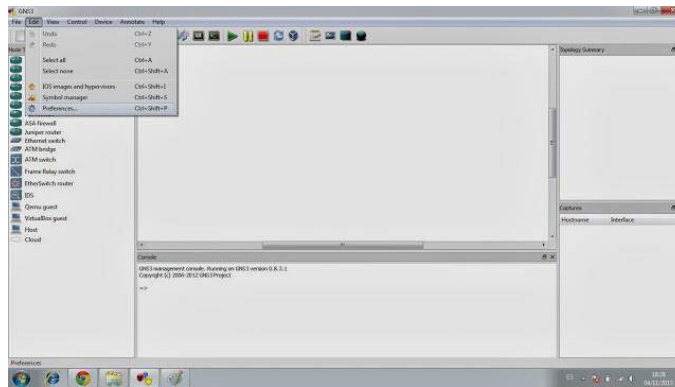
Seleccionaremos la ubicación de donde se encuentra la imagen del router c3660 y le dar click a Guardar, (no hay que alarmarse por las letras rojas que aparecerán al presionar guardar) y cerrar. (Ver figura 13).



**Figura 13.** Ubicación de la imagen del router.

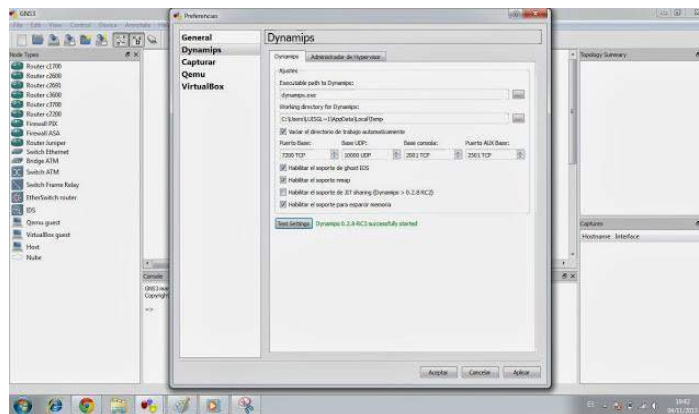
**Fuente:** Software GNS3.

2) Ir nuevamente al menú y seleccionars la casilla “Editar” pero esta vez escogerla opción “Preferencias”. (Ver figura 14)



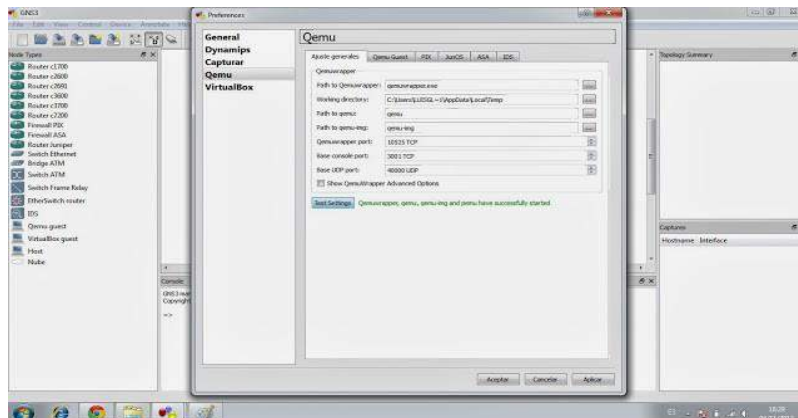
**Figura 14.** Pantalla opción preferencias.  
Fuente: Software GNS3.

3) En la ventana que se acaba de abrir, configurar el idioma de GNS3, dar click sobre la pestaña Dynamips y presionar el botón “Test Setting” y esperar a que aparezca el mensaje. (Ver figura 15).



**Figura 15.** Configuración del idioma.  
Fuente: Software GNS3.

Luego ubicarse en la pestaña de Qemu y dar click sobre el mismo botón y esperar el mensaje. (Ver figura 16).



**Figura 16.** Configuración del idioma.  
Fuente: Software GNS3.

## ANEXO C: Descarga e Instalación Opnet Modeler

- 1) Para acceder a la descarga del software se debe ingresar en la página oficial OPNET official server, y se procede al registro. (Ver figura 17)

**riverbed** Download > Activate License > User Forum > Log In

### Academic Edition Account Signup

Welcome to the Riverbed Modeler Academic Edition site. Using the form below, please register to download the Riverbed Modeler Academic Edition software.

■ **Required fields**

First Name ■

Last Name ■

Address 1

Address 2

City

State

Country ■

Postal Code

Email Address ■

Re-enter Email ■

Phone

Fax

Please enter the name of your employer, or type N/A if not applicable:  
Employer ■

Please tell us about the academic program you are enrolled in, or type N/A if not applicable:

**Figura 17.** Página de registro

Fuente: [https://cms-api.riverbed.com/portal/community\\_home](https://cms-api.riverbed.com/portal/community_home)

- 2) Ingresar con el usuario y contraseña establecida en el momento del registro. (Ver figura 18).

**riverbed** Download > Activate License > User Forum > Log In

### Welcome to the Riverbed's Modeler Academic Community

Register now to download the academic version of Riverbed Modeler. Gain access to documentation and community support.

Username: NancyCecilia

Password: \*\*\*\*\*

Remember Me

**Log In**

[Forgot Password](#) | [Register](#)

Riverbed Modeler Academic Edition provides a virtual environment for modeling, analyzing, and predicting the performance of IT infrastructures, including applications, servers, and networking technologies. Based on Riverbed's award-winning Modeler product, Academic Edition is designed to complement specific lab exercises that teach fundamental networking concepts. The commercial version of Modeler has broader capabilities designed to increase network R&D productivity; develop proprietary wireless protocols and technologies; and evaluate enhancements to standards-based

**Important Notice to all users of Riverbed Modeler Academic Edition:**

Riverbed Modeler team is excited to announce an updated release of Modeler Academic Edition, Release# 17.5.A PL7 Build #13312.

In this notice, we would like to make customers aware of two **important dates:**

**Figura 18.** Ingreso a la plataforma con las credenciales

Fuente: [https://cms-api.riverbed.com/portal/community\\_home](https://cms-api.riverbed.com/portal/community_home)



3) Seleccionar la opción de descarga. (Ver figura 19)

The screenshot shows the Riverbed website's download page. At the top, there is a navigation bar with the Riverbed logo and links for 'Download', 'Activate License', 'User Forum', and a user profile for 'Nancy Casco'. The main heading is 'Download Modeler Academic Edition Software'. Below this, there is a section for terms and conditions with a radio button selected for 'I have read this SOFTWARE AGREEMENT and I understand and accept the terms and conditions described herein'. A large blue button with a download icon and the text 'Download File (600 MB)' is prominent. To the right, under 'System requirements', there is a list of operating systems and hardware specifications. At the bottom of the page, there is a note about administrator privileges.

**riverbed** Download ▶ Activate License ▶ User Forum ▶ Nancy Casco

## Download Modeler Academic Edition Software

In order to access and use Riverbed Modeler Academic Edition, you must read and accept the Riverbed End User License Agreement and Product Warranty Statement from the link <https://www.riverbed.com/legal/>

I have read this SOFTWARE AGREEMENT and I understand and accept the terms and conditions described herein

I do not accept

**Download File (600 MB)**

After you have downloaded the installer, simply run the executable and follow the instructions to install the software.

NOTE: You must be logged in with Administrator privileges to install the software.

### System requirements

**Operating systems:**

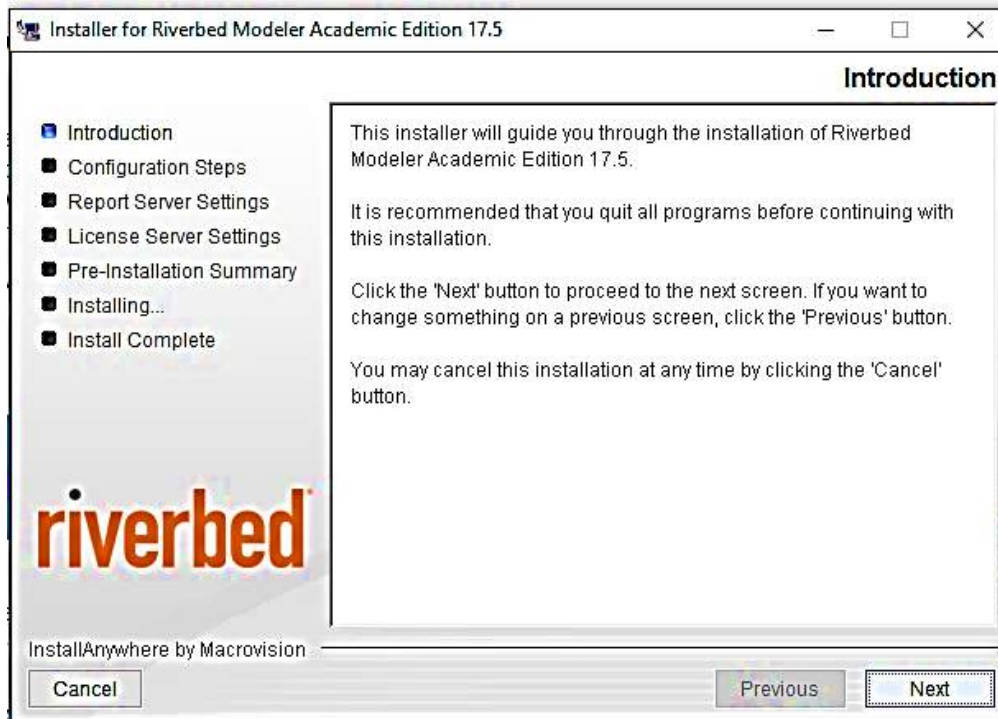
- Windows 10 Professional and Enterprise
- Windows 7 Professional (32 and 64 bit)
- Windows Vista Business (32-bit and 64-bit)
- Windows XP Professional (32-bit and 64-bit)
- Windows Server 2008 (32-bit and 64-bit)
- Windows Server 2003 (32-bit and 64-bit) and Windows Server 2003 R2 (32-bit and 64-bit)

- 512 MB required memory
- 3 GB Up to an additional 2 GB of free disk space may be required during installation of disk space 1024 x 768 minimum resolution monitor

**Figura 19.** Página para la descarga.

**Fuente:** [https://cms-api.riverbed.com/portal/community\\_home](https://cms-api.riverbed.com/portal/community_home)

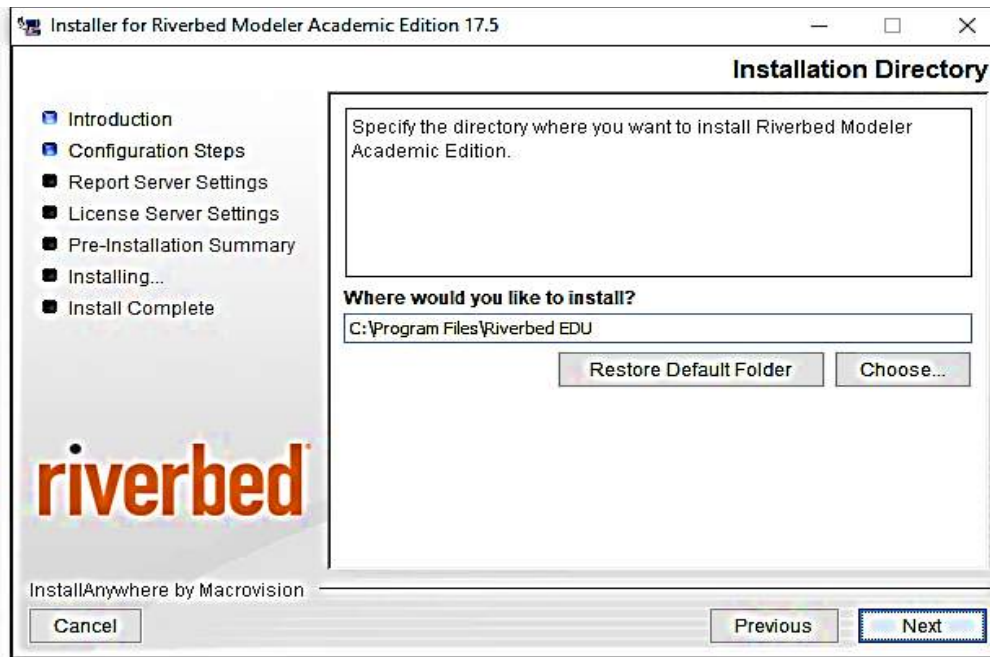
4) Una vez descargado el archivo se procede a la instalación, seleccionando en Next para dar inicio. (Ver figura 20)



**Figura 20.** Página de inicio de instalación.

**Fuente:** Riverbed

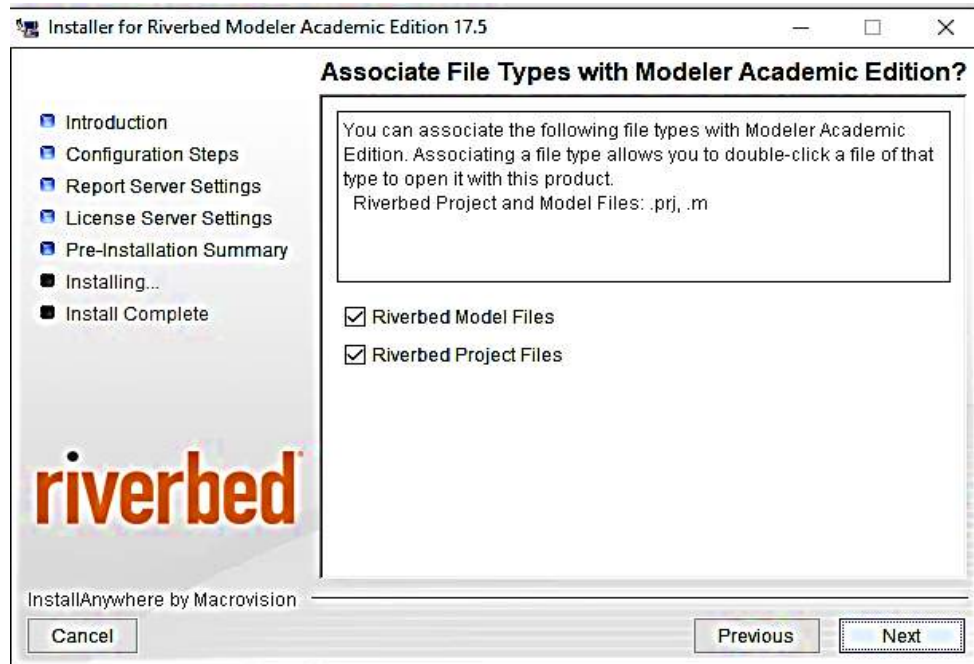
5) Seleccionar el lugar donde se desea que se instale el programa. (Ver figura 21)



**Figura 21.** Destino de instalación.

Fuente: Riverbed

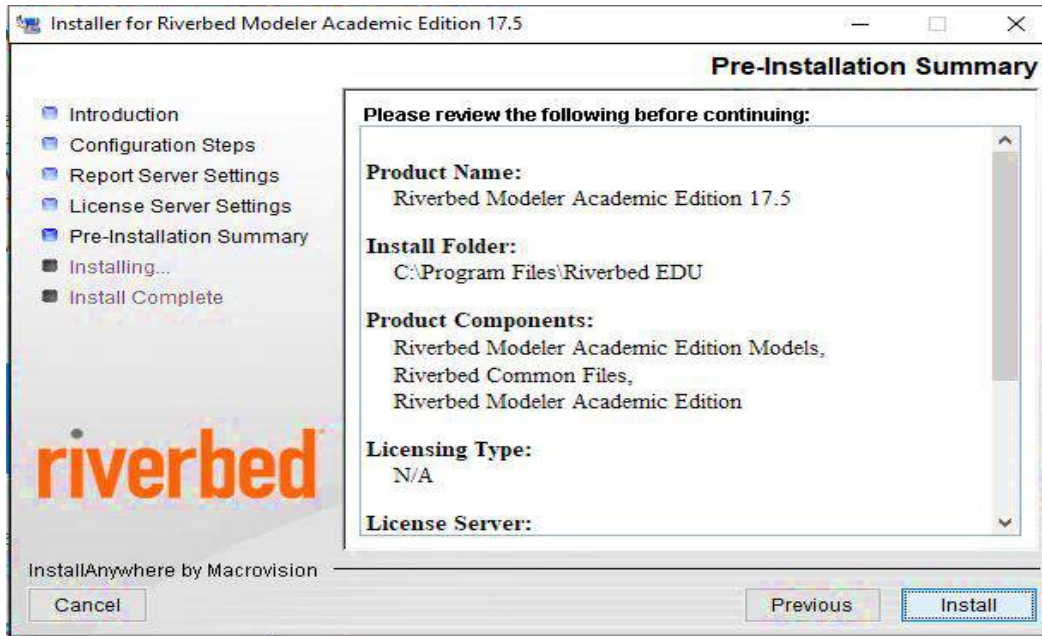
6) Seleccionar los archivos Model y Project. (Ver figura 22).



**Figura 22.** Selección de archivos para la instalación.

Fuente: Riverbed

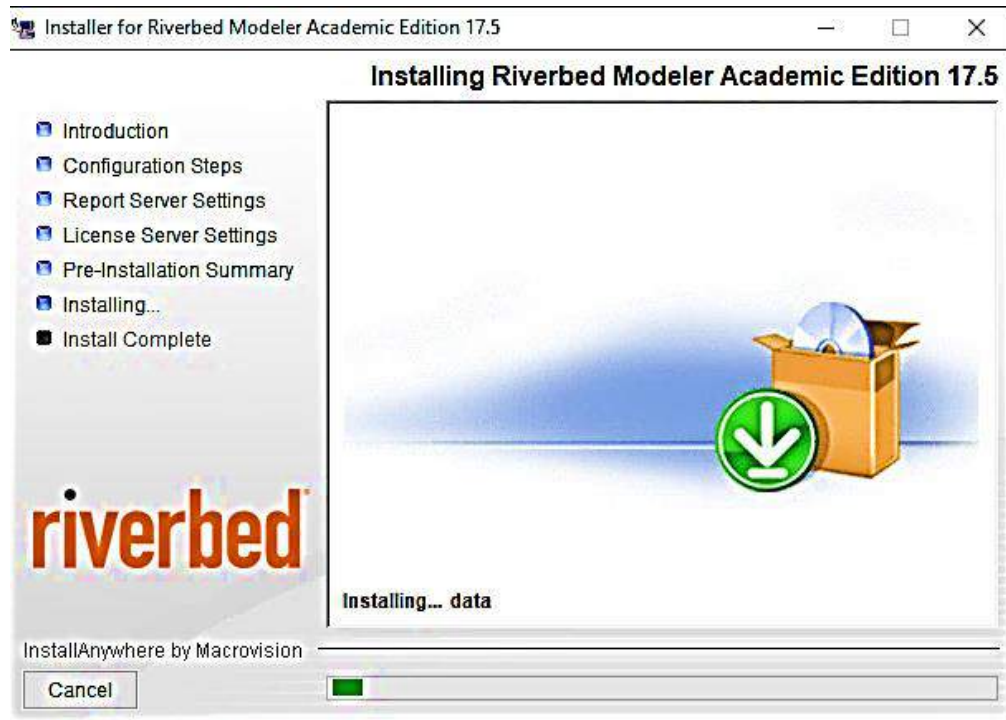
- 7) Se observa la información sobre el software a ser instalado al igual que el lugar de instalación, seleccionar la pestaña Install. (Ver figura 23).



**Figura 23.** Información del software.

Fuente: Riverbed

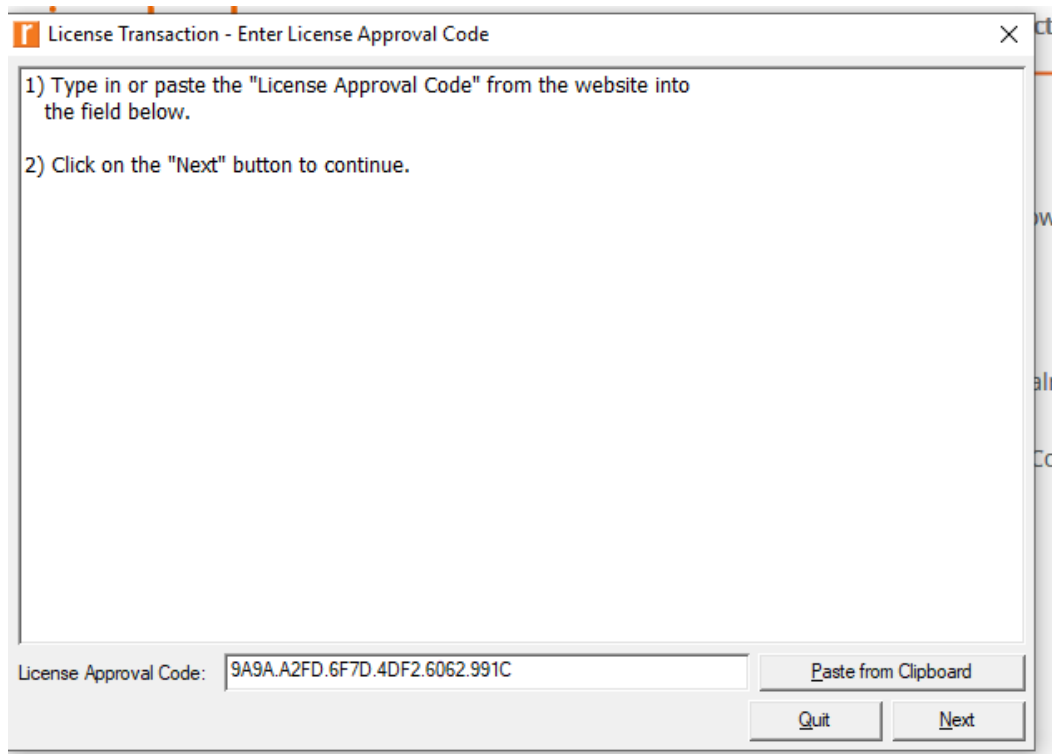
- 8) Proceso de instalación. (Ver figura 24).



**Figura 24.** Proceso de instalación.

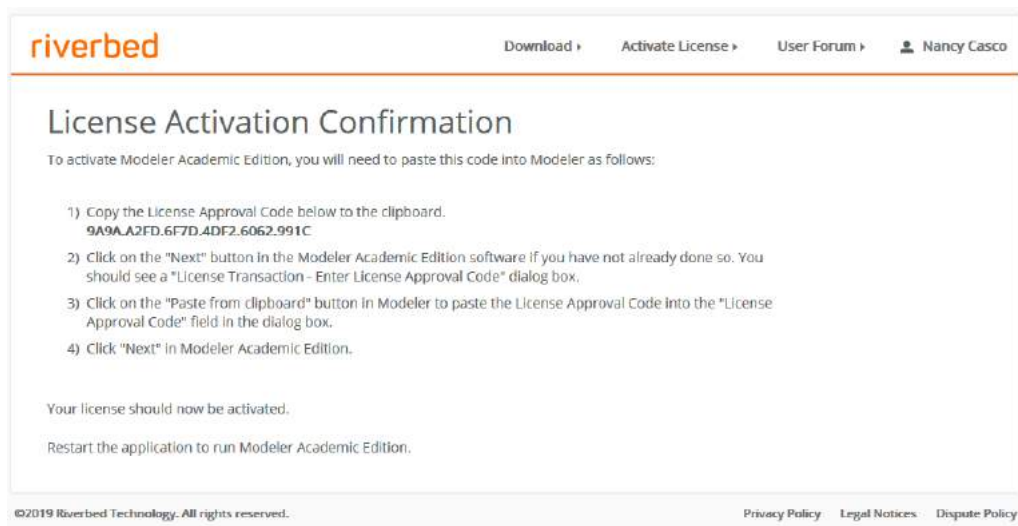
Fuente: Riverbed

9) Una vez instalado el software se procede a la activación de la licencia. (Ver figura 25,26,27).



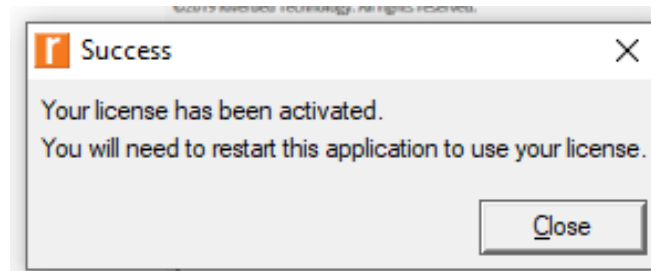
**Figura 25.** Activación de la licencia

Fuente: Riverbed



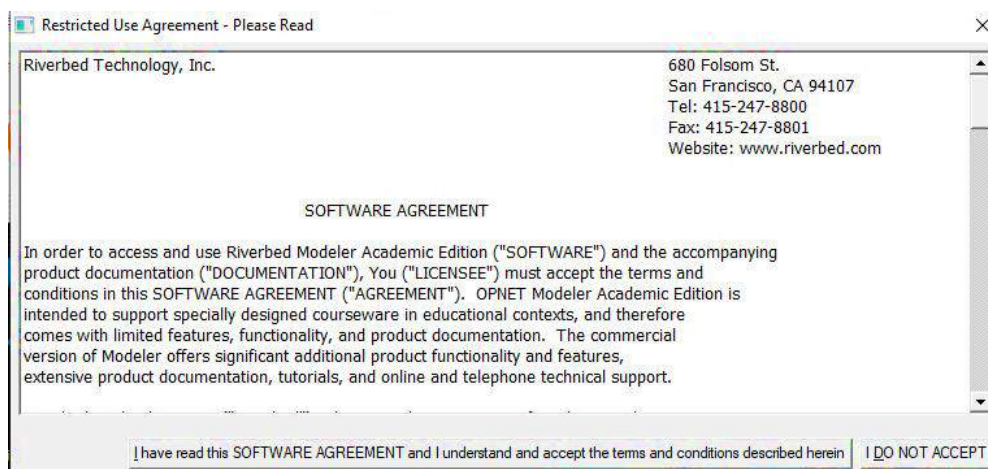
**Figura 26.** Confirmación de activación de la licencia

Fuente: Riverbed



**Figura 27.** Activación satisfactoria de la licencia  
**Fuente:** Riverbed

10) Ejecutar el programa para poder trabajar. (Ver figura 28)



**Figura 28.** Activación satisfactoria de la licencia  
**Fuente:** Riverbed