



**Àrea de Ingenieria Telemática**  
**Departamento de Comunicaciones**  
**Universitat Politècnica de València**



# **Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación**

**E.T.S.I. de Telecomunicación**

**Interconexión de Redes de Telecomunicación**

**Práctica: MPLS**

## REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA:

Los ficheros para realizar la práctica se pueden encontrar en el portal PoliformaT de la asignatura. Todos los ficheros son necesarios para la realización de la práctica, y se deberán copiar a un directorio del ordenador de trabajo.

## ENTREGA DE RESULTADOS:

La práctica podrá realizarse en grupos de dos personas.

Al terminar de la clase de prácticas, se entregarán los resultados de los ejercicios que se encuentran al final de este documento. Los resultados se deberán dejar también en el **espacio compartido del alumno en la asignatura IRT del PoliformaT**, tal y como se describe en la Sección "5. Resumen de los Resultados a Depositar en PoliformaT".

## 1. Objetivo de la Práctica

El objetivo de la práctica es consolidar los conceptos que se han estudiado en el aula. Por tanto, como trabajo previo, deberás estudiar y comprender los conceptos estudiados sobre redes MPLS. Estos conceptos son necesarios para la realización de la práctica.

Con esta práctica se busca comprender el funcionamiento de una red MPLS sencilla. En un primer ejercicio, simularemos una red basada en una sola fuente y un único receptor de tráfico, dos routers LER (*label edge routers*) y 5 routers LSR (*label switch routers*) encargados de crear los LSP (*label switch paths*) correspondientes. Se analizará el funcionamiento de la red y se evaluarán los parámetros de prestaciones, tanto en condiciones normales, como ante un fallo en los enlaces. Se variarán las condiciones de funcionamiento cambiando las tasas binarias de los enlaces.

Para ello se utilizará el simulador "OpenSIM MPLS", desarrollado por la Universidad de Extremadura. Toda la información referida a este simulador, manual de usuario, e información adicional se encuentra en la dirección <http://www.manolodominguez.com/projects/opensimmpls/> y en el portal PoliformaT de la asignatura. Descarga el fichero ejecutable de <https://www.dropbox.com/s/er9cr2f18zf715n/simuladorMPLS.zip?dl=0>

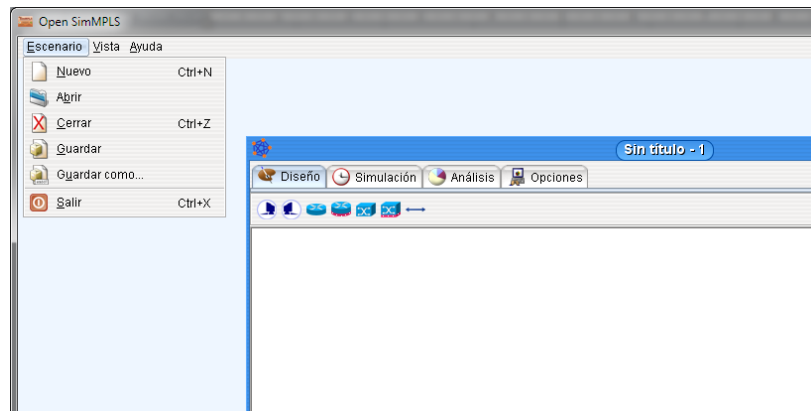
OpenSimMPLS es una herramienta muy sencilla e intuitiva que oculta al alumno la complejidad de determinadas funciones de MPLS, especialmente aquellas relacionadas con las funciones de control, y que pueden estudiarse con la ayuda de otras herramientas como Omnetpp++.

OpenSimMPLS 1.0 se distribuye como una aplicación JAR autocontenida. Para su ejecución, es necesario tener instalado el **Java Runtime Environment** (<https://www.java.com/es/download/>). Se recomienda copiar el fichero openSimMPLS.jar en la carpeta que se desee y la instalación habrá concluido.

## 2. Diseño de la Topología

En este primer ejercicio crearemos la carpeta 'mis documentos\MPLS\' donde copiaremos el archivo ejecutable, y éste será nuestro directorio de trabajo.

Ejecutamos OpenSimMPLS.jar y crearemos un nuevo escenario (Ctl+N)



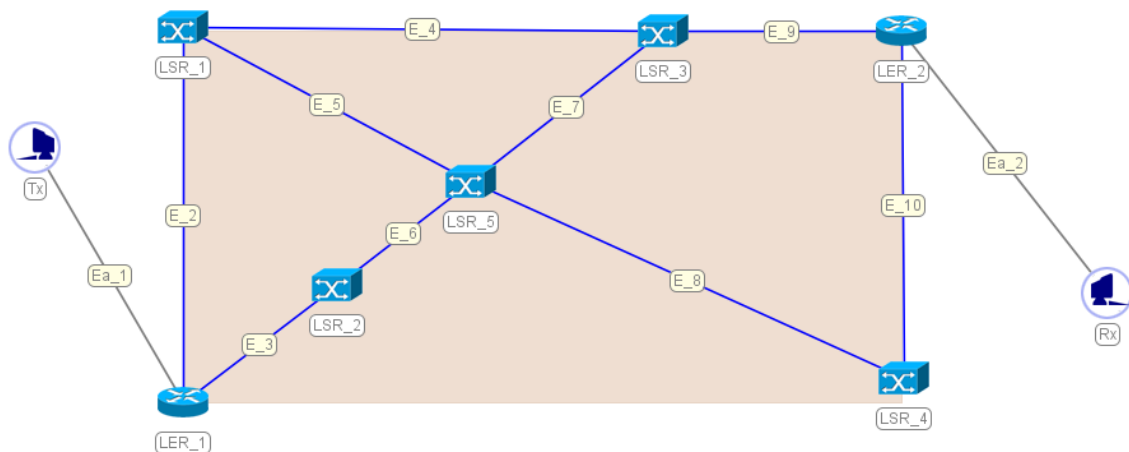
**Figura 1. Nuevo Escenario - Modo Diseño**

Las pestañas de Vista y Ayuda sirven, respectivamente, para poder visualizar varios escenarios y para acceder al manual de funcionamiento.

Las diferentes funcionalidades del simulador se describen con detalle en el manual de referencia. Se sugiere al alumno una lectura previa del mismo antes de la realización de la práctica.

Como norma general, activaremos la generación de estadísticas para todos los elementos de la red. Afecta al rendimiento de la simulación, pero es útil para la práctica. También haremos visible el nombre de nodos y enlaces.

El escenario que vamos a utilizar para la simulación se muestra en la figura siguiente:



**Figura 2. Topología de la Red**

Para comenzar, lo primero que hemos de crear es el **receptor**, que no dispone de ningún parámetro configurable.

El siguiente paso es crear los nodos LER (**LER\_1** y **LER\_2**) que pueden parametrizarse en función de su '**Potencia de conmutación**', de 1 Mb/s a 10.240 Mb/s, y del '**Tamaño del buffer de entrada**', de 1MB a 1024 MB. Por 'Potencia de conmutación' entenderemos la tasa binaria de los enlaces, mientras que 'Tamaño del buffer de entrada' es el número

octetos que el nodo puede almacenar temporalmente mientras procesa otros paquetes. Cuando la capacidad del buffer se supera, se descartan paquetes.

Existe un modo de configuración **Rápida** que asigna los siguientes valores predefinidos:

Gama	Conmutación	Memoria entrada
Muy Baja	1 Mb/s	1 MB
Baja	2560 Mb/s	256 MB
Media	5120 Mb/s	512 MB
Alta	7680 Mb/s	768 MB
Muy Alta	10240 Mb/s	1024 MB

**Tabla 1. Características de los LSR y LER**

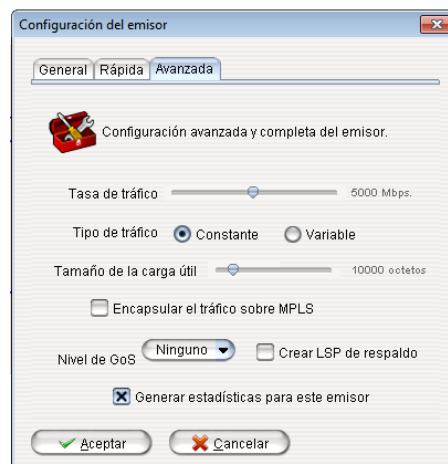
En la práctica configuraremos LER\_1 y LER\_2 como nodos de “gama media”.

El siguiente paso es crear los nodos LSR (**LSR\_1 a LSR\_5**) que pueden parametrizarse al igual que los nodos LER.

En la práctica configuraremos LSR\_1 a LSR\_5 como nodos de “gama media”.

El nodo transmisor **Tx** genera tráfico en la red y tiene que ser configurado para definir el destino del tráfico generado (solamente se admite tráfico unicast) y su tipo.

En nuestro caso, al existir un único receptor, **Rx**, éste será el valor a introducir en la pestaña “general”.



**Figura 3. Configuración Avanzada del Transmisor**

La configuración avanzada del transmisor es la que más opciones posee de todos los elementos que se pueden insertar en la topología del escenario.

**Tasa de tráfico.** Se refiere al número de bits por segundo que el transmisor es capaz de transmitir, y determinará la cantidad de paquetes que el transmisor puede enviar a un receptor durante la simulación. Los valores permitidos van desde 1 a 10.240 Mb/s

**Tipo de tráfico.** Si se desea generar tráfico **constante** o **variable**. Si elegimos tráfico variable, el transmisor generará aleatoria y automáticamente paquetes de tamaño variable de 0 hasta 65535 octetos siguiendo la distribución de tamaños de paquete real de Internet. Para ello se sigue el modelo estadístico ofrecido por la red Abilene (Internet2), que se describe en la Tabla 2.

Tamaño del paquete	Porcentaje
Menor de 100 octetos	47%
Entre 100 octetos y 1400 octetos (inclusive)	24%
Entre 1401 octetos y 1500 octetos (inclusive)	28%
Entre 1501 octetos y 65535 octetos (inclusive)	1%

**Tabla 2. Configuración del tamaño del paquete para el tráfico variable**

Si elegimos la opción de generar tráfico constante, los paquetes generados por el transmisor serán del mismo tamaño, y se generarán equidistantes en el tiempo. Al elegir esta opción, se activa la opción **Tamaño de la carga útil**. Se permiten valores entre 0 y 65.495 octetos.

La siguiente opción, por orden descendente, tiene el nombre de **Encapsular tráfico sobre MPLS**. Por defecto está desactivada, por lo que el transmisor generará paquetes IPv4. Marcándola haremos que el transmisor genere tráfico MPLS, es decir paquetes con etiqueta MPLS, en lugar de tráfico IPv4. Esta opción podría servir para simular tráfico proveniente de otro dominio MPLS, que ya vendría etiquetado (paquetes IP encapsulados en MPLS).

La siguiente opción **Nivel de GoS** nos permite especificar los parámetros de *Grade of Service* (GoS) deseados para el tráfico. Está compuesta por una lista desplegable, donde podemos seleccionar diferentes **prioridades** del tráfico. **El nivel 3 indica la máxima prioridad**. Además existe la posibilidad de **construir un LSP de respaldo** para el caso de fallo del LSP principal.

Como en el resto de configuraciones, existe la opción de generar diferentes patrones de tráfico a través de la pestaña de configuración rápida. Todos ellos son de tasa variable, como correo electrónico, tráfico web, transferencia de archivos, etc.



**Figura 4. Tipos de Tráfico predefinidos**

Para la práctica **configuraremos Tx como IPv4 con una tasa de bit constante de 5000<sup>1</sup> Mb/s y un tamaño de carga útil de 10.000 bytes. Activaremos la generación de estadísticas.**

Estos valores se han escogido para que la simulación pueda aportar un número suficiente de resultados.

Por último necesitamos configurar la conectividad entre los diferentes elementos de red. Para ello crearemos los enlaces correspondientes utilizando la herramienta **insertar enlace**.

Para configurar un enlace se requiere identificar los extremos del mismo. Para ello, seleccionamos equipo y puerto origen, y luego equipo y puerto destino. Por simplicidad,

<sup>1</sup> Utilizando los cursores puede ajustarse exactamente este valor

seleccionaremos el número de puerto más bajo disponible en los equipos. Después seleccionaremos el parámetro Retardo, que es configurable de 1 ns a 500.000 ns.

Como en el resto de elementos, existe la posibilidad de configurar retardos predefinidos.

Tipo enlace	Retardo (ns)
Muy Rápido	1.000
Rápido	62.500
Normal	125.000
Lento	187.500
Muy Lento	250.000

**Tabla 3. Retardo predefinido de enlaces**

En nuestro caso, comenzaremos insertando Ea\_1, Ea\_2, E\_2,...E\_10 y configuraremos la totalidad de los enlaces como “normal”.

Por último, guardaremos el proyecto con el nombre “**red1**” (escenario, guardar como...). Al guardar aparece una ventana solicitando si queremos añadir un CRC al fichero proyecto. **Diremos que NO**. El CRC evita que el fichero se pueda cambiar editándolo, por ejemplo con el Block de Notas (*notepad*).

Para comprobar que todo lo hemos realizado correctamente, podemos abrir el fichero “**red1.osm**” con el Block de notas.

**EJ 1**

Rellenaremos las tablas del **Ejercicio 1** con la información extraída del fichero. Comprobaremos la configuración del transmisor y el receptor. Fácilmente podremos identificar las direcciones IP de los equipos, el enlace entre ambos y los parámetros de tráfico.

### 3. Simulación de “red1”

Una vez construida la red y comprobada su correcta configuración, comenzaremos con la simulación. Para ello, en la pestaña de **Opciones**, configuraremos los parámetros de tiempo: **duración** (de la simulación) y el **paso**.

La **duración** total de la simulación puede configurarse mediante dos barras, una para los milisegundos y otra para el rango de nanosegundos que conjuntamente nos permiten un tiempo total de 3 milisegundos (2 ms + 999999 ns).

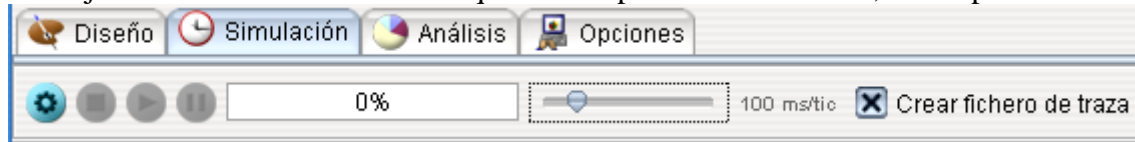
La barra de **paso** de simulación define el período de toma de datos del simulador para su procesamiento posterior. Cada paso de reloj muestra el estado de la simulación en el área de simulación. Esto significa que con un paso pequeño, la simulación será mucho más detallada. Por otro lado, con un paso grande, se disminuye la granularidad de lo representado en el área de simulación y, por tanto, se pierde precisión visual, y se reduce la precisión de los eventos registrados. La barra de simulación permite seleccionar tiempos que van de 1 ns al valor dado por la siguiente función:

$$\text{MáximoPaso} = \min\{\text{MinimoDelayDeLosEnlaces}, \text{DuracionDeLaSimulacion}\}$$

En nuestro caso vamos a comenzar la simulación con una duración total de 3 milisegundos y un tic de 1000 nsg.

Salvamos de nuevo el escenario y comprobaremos en el fichero que el tiempo de simulación y el paso son los deseados buscando este texto: “#Temporizacion#2999999#1000#”.

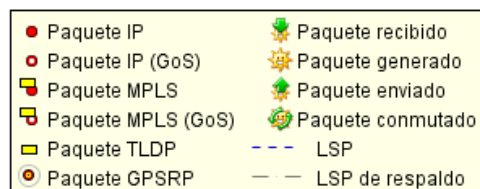
Para ejecutar la simulación tenemos que abrir la pestaña **Simulación**, donde podemos ver:



- 4 botones para gestionar la simulación (reinicio, stop, continuar y pausa)
- Una barra de progreso que indica el porcentaje del tiempo de simulación transcurrido.
- Una barra de deslizamiento que nos permite modificar el tiempo de refresco de pantalla del simulador, y que es configurable de 1 a 500 ms/tic. Esta opción es interesante porque nos permite observar la simulación a la velocidad más adecuada.
- Crear fichero de traza que nos permite almacenar los resultados de la simulación.

Configuraremos, por ejemplo, 20 ms/tic y **activaremos la opción de crear fichero de traza**. A continuación pulsamos sobre el botón “reinicio” y la simulación comenzará.

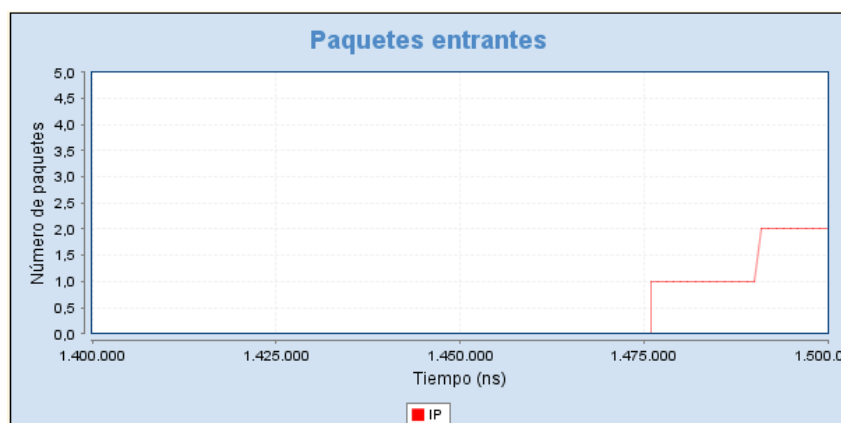
Cada tipo de paquete está identificado por una marca diferente. En nuestro caso solamente vamos a utilizar tráfico IP no etiquetado por lo que tendremos paquetes IP, paquetes MPLS y paquetes del protocolo TLDP (*Targeted LDP*).



Comprobaremos varias veces el funcionamiento de la simulación (podemos variar el valor del tic para hacerla más rápida) y trataremos de extraer conclusiones de la información que aparece en la pantalla.

## 4. Análisis de Resultados

Como hemos activado las estadísticas, en la pestaña de análisis podremos seleccionar las gráficas de resultados para cada uno de los elementos de red, el emisor y el receptor.



**Figura 5. Evolución de los paquetes entrantes con el tiempo.**

Pulsando con el botón de la derecha sobre la gráfica podemos modificar la escala para facilitar la lectura de información. Además, colocando el cursor sobre la línea aparecerán los valores (x,y).

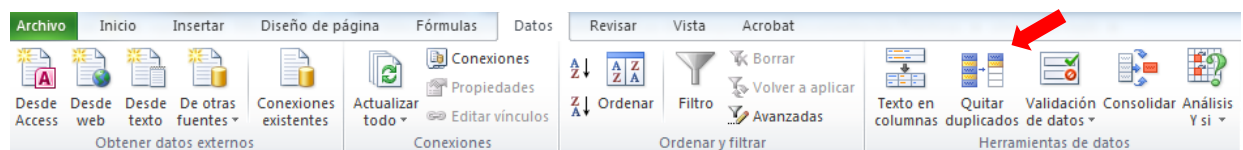
La visualización de las gráficas nos aporta información suficiente para entender el proceso, pero el **fichero de traza** nos proporciona una información más detallada<sup>2</sup>.

El fichero (**red1.osm.txt**) refleja la información generada por el simulador en un formato de texto. Su tamaño dependerá fundamentalmente del tiempo de **paso**. Cada línea describe un mensaje, indicándose el instante de tiempo en el que se generó el mensaje, entre corchetes el objeto, y por último la descripción del mensaje. El objeto hace referencia a cada uno de los elementos funcionales definidos en “**red1**”.

*14000: [Enlace lnk1] transporta un paquete IPv4*

Para poder manejar de una manera sencilla el fichero del resultado de la simulación, ya que sus aproximadamente 112.000 líneas impiden una gestión cómoda desde Block de notas, vamos a importar este fichero a una hoja de cálculo Excel.

Crea el fichero "Ejercicio2.xlsx", lo abrimos y en la pestaña **Datos**, seleccionamos **Obtener datos externos, Desde texto**, y seleccionaremos **red1.osm.txt**.



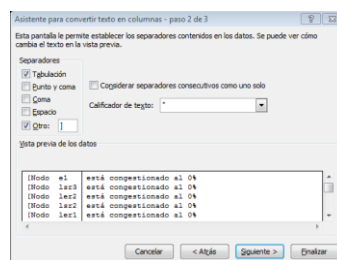
**Figura 6. Opciones de la pestaña de ‘Datos’ de Excel.**

A continuación indicaremos que los **campos están delimitados por el carácter “:”** para realizar una primera división de las líneas de información (incluir en una columna el *time-stamp*). Seguimos avanzando y cuando nos pida dónde insertar los datos, indicaremos que en “A1”.

Si todo ha ido bien, tendremos en la hoja todos los eventos generados por el simulador separados en dos columnas, una con el *time-stamp* y otra con el evento en sí.

Desgraciadamente, el simulador genera eventos duplicados que tenemos que eliminar para no distorsionar los resultados. Para ello, tenemos que pulsar en la pestaña datos **Quitar duplicados**. Por defecto, se seleccionarán las columnas A y B con todo el rango de datos. Pulsamos aceptar y nos aparecerán un mensaje con el número de elementos duplicados eliminados.

Para poder gestionar la información necesitamos separar los datos en más columnas. Para ello utilizaremos en la pestaña **Datos**, la función **Texto en columnas**.



**Figura 7. Asistente de importación de datos**

Se nos abrirá un asistente similar al utilizado anteriormente, seleccionaremos **Datos delimitados**, utilizando como delimitador el carácter “[”.

Se creará una nueva columna con la información de los objetos, pero con un carácter “[“, que pasaremos a eliminar. Para ello, en la pestaña inicio seleccionamos **Buscar y**

<sup>2</sup> El fichero de simulación ofrece resultados aproximados y en algunos casos, **elementos duplicados**.



**reemplazar**, introducimos el carácter “[” y dejamos sustituir por: “”(en blanco). Por último pulsaremos el botón de reemplazar todos

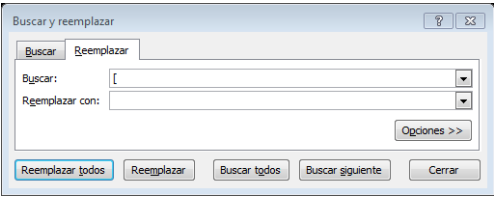


Figura 8. Buscar y reemplazar

A continuación, seleccionaremos la primera fila, pulsaremos botón derecho del ratón e insertaremos una nueva fila. Introduciremos el descriptor de cada columna: tiempo, objeto, y evento. Luego, posicionaremos el cursor en la primera casilla de la tabla y en la pestaña **Datos**, seleccionamos **Ordenar y filtrar, Filtro**:

tiempo	objeto	evento
1051	Nodo LER_2	está congestionado al 0%

Figura 9. Añadir fila de títulos y filtro

Si todo ha funcionado correctamente, tendremos la posibilidad de filtrar eventos por categoría simplemente seleccionando la pestaña “objeto”, o la pestaña “info”.

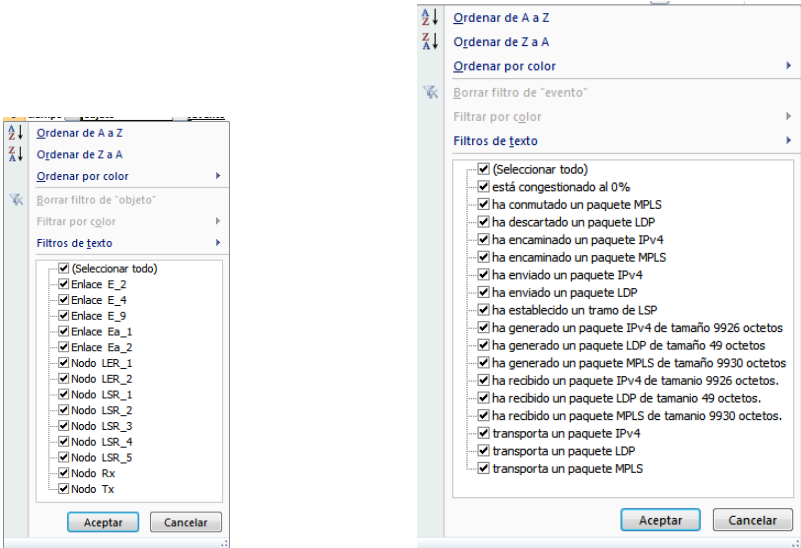


Figura 10. Filtros

A partir de este momento estamos en disposición de obtener de una manera sencilla información detallada sobre la simulación.

## 4.1 Análisis del Tráfico de Paquetes IP

EJ 2

Utiliza los resultados de " Ejercicio2.xlsx " y completa el **Ejercicio 2**.

## 4.2 Establecimiento de los LSPs

Como hemos comentado al principio de la práctica, para la creación de los LSP pueden emplearse diferentes protocolos de control como BGP, LDP, TLDP, RSVP-TE, CR-LDP etc. .

En las notas de clase, capítulo 2 MPLS, se muestra de forma simplificada el proceso de establecimiento de un LSP, y lo utilizaremos para comprender el flujo de paquetes LDP.

### 4.3 Tráfico IP con Prioridad

Carga el escenario “**red2a.osm**”. Observa que está compuesto por tres fuentes IP convencionales (Tx\_1 a Tx\_3) que generan paquetes sin prioridad (*best-effort*) y una fuente (Tx\_QoS\_1) que genera paquetes marcados con prioridad (nivel 1). Además, se han definido diferentes LERs, LERAs, LSRs y LSRA que interconectan las fuentes con un único receptor.

El objetivo del **Ejercicio 4** es evaluar el impacto que la multiplexación del tráfico *best-effort* tiene sobre el tráfico con prioridad. Este impacto se evaluará midiendo el *jitter* de paquete medido en el Receptor que las fuentes *best-effort* inducen sobre el tráfico de la fuente Tx\_QoS\_1.

En los escenarios que vamos a estudiar, Tx\_QoS\_1 siempre generará paquetes de longitud constante con una carga de 100 bytes y una tasa binaria de 100 Mb/s. Sin embargo, las fuentes Tx\_1 a Tx\_3 generarán tráfico a una tasa de 300 Mb/s con unos perfiles diferentes en cada escenario, como se describe más abajo.

En el escenario “red2a.osm” las fuentes IP convencionales **generan paquetes de longitud constante con una carga de 100 bytes y todas las fuentes se multiplexan en el LSRA\_1**.

En la pestaña “Simulación”, marca “Crear fichero de traza” y ejecuta la simulación. En la pestaña “Análisis”, selecciona “Receptor”, posicionar el ratón sobre la figura, botón derecho “Imprimir”, “Orientación Horizontal”, imprimir a fichero “**red2a.pdf**”.

Los resultados de la simulación se habrán recogido en el fichero “**red2a.osm.txt**”. Crea un fichero “Ejercicio4.xlsx” e importa el fichero de resultados para poder procesarlos de forma más cómoda. Los resultados se importarán en la casilla A1 de la Hoja 1.

Tal como se describió en la Sección 4, en la pestaña “Datos”, ejecuta el comando “Quitar duplicados”. Luego, crea las tres columnas: 1) *timestamps*; 2) objeto; 3) tipo de evento. Inserta los filtros.

Selecciona “Nodo Receptor”, y en tipo de evento “ha recibido un paquete IPv4 con GoS de tamaño x octetos.”, donde x significa cualquier tamaño. Para todos los eventos que aparecen, selecciona con el cursor las tres columnas, pulsa el botón derecho del ratón y selecciona copiar. Ve a la siguiente hoja del fichero “Ejercicio4.xlsx” y copia los resultados. Para ello, selecciona la casilla A1 de la Hoja 2 y pulsa de nuevo el botón derecho del ratón, “Pegado especial”, “Pegar Valores”. Ahora calcula la diferencia entre los tiempos de llegada de un paquete y el anterior.

Carga el escenario “**red2b.osm**”. La única diferencia con el anterior es que las fuentes IP convencionales **generan paquetes de longitud variable**. En la pestaña de Simulación, marca “Crear fichero de traza” y ejecuta la simulación. En la pestaña “Análisis”, selecciona “Receptor”, posicionar el ratón sobre la figura, botón derecho “Imprimir”, “Orientación Horizontal”, imprimir a fichero “**red2b.pdf**”.

Los resultados de la simulación se habrán recogido en el fichero “**red2b.osm.txt**”. Importa los datos a la Hoja 3 de “Ejercicio4.xlsx”, realiza las mismas acciones que hiciste para el fichero “red2a.osm.txt” y calcula la diferencia entre los tiempos de llegada de un paquete y el anterior en la Hoja 4.

Carga el escenario “**red2c.osm**”. Las fuentes IP convencionales **generan paquetes de longitud constante**. Sin embargo, las fuentes Tx\_1 y Tx\_2 generan paquetes con una carga de 100 bytes, mientras que **Tx\_3 los genera con 1000 bytes**. Además, todas las

fuentes excepto Tx\_3 se multiplexan en LSRA\_1, mientras que **Tx\_3 se multiplexa con el resto del tráfico en LSR\_1**. Nota que LSR\_1 no es un LSR activo.

En la pestaña de Simulación, marca “Crear fichero de traza” y ejecuta la simulación. En la pestaña “Análisis”, selecciona “Receptor”, posicionar el ratón sobre la figura, botón derecho “Imprimir”, “Orientación Horizontal”, imprimir a fichero “**red2c.pdf**”.

Los resultados de la simulación se habrán recogido en el fichero “**red2c.osm.txt**”. Importa los datos a la Hoja 5 de “Ejercicio4.xlsx”, realiza las mismas acciones que hiciste para el fichero “red2a.osm.txt” y calcula la diferencia entre los tiempos de llegada de un paquete y el anterior en la Hoja 6.

Agrega los ficheros “red2a.pdf”, “red2b.pdf” y “red2c.pdf” **en un único fichero “red2.pdf”**. Sube el fichero “**red2.pdf**” al espacio compartido.

**Justifica los resultados en el cuadro del Ejercicio 4 con suficiente rigor científico.**

#### 4.4 Reconfiguración del LSP

Carga el escenario “**red3.osm**”. Observa que es el mismo que el “red1.osm” excepto que se han acelerado los enlaces para facilitar la consecución de objetivos deseados. El objetivo es determinar el tiempo que necesita la red para definir un LSP alternativo cuando el LSP activo deja de funcionar.

En la pestaña de Simulación, **NO marques** “Crear fichero de traza” y ejecuta la simulación. Observa que los enlaces seleccionados para establecer el LSP son: E\_2, E\_4 y E\_9. Posiciona el cursor sobre el enlace E\_4 y aparecerá una ventana diciendo: “Enlace levantado. Haz clic aquí para caerlo”, pulsa sobre E\_4 y observa que el enlace pasa de estar dibujado con una línea azul a otra roja discontinua. Observa que el simulador busca otro camino alternativo. El algoritmo se basa en buscar la ruta con menor retardo entre el origen (LER\_1) y el destino (LER\_2).

##### EJ 5

En la pestaña de Simulación, **marca** “Crear fichero de traza” y ejecuta la simulación. Ahora tendrás que repetir lo mismo, pero de una forma específica. Cuando Rx haya recibido unos pocos paquetes (5 a 10) el enlace E\_4 debe dejar de funcionar (haciendo clic con el ratón sobre él). A continuación, el simulador buscará otra ruta, y finalmente los paquetes volverán a llegar a Rx. Espera a que Rx haya recibido otros 5 o 10 paquetes y para la simulación pulsando el botón “Finalizar la simulación”.

En la pestaña “Análisis”, selecciona “Rx”, posicionar el ratón sobre la figura, botón derecho “Imprimir”, “Orientación Horizontal”, imprimir a fichero “**red3.pdf**”.

Los resultados de la simulación se habrán recogido en el fichero “**red3.osm.txt**”. Importa los datos a la Hoja 1 de “Ejercicio5.xlsx”, realiza las mismas acciones que hiciste para el fichero “red2a.osm.txt”. Activa el filtro “Nodo Rx” y “ha recibido un paquete IPv4 de tamaño x octetos.” y calcula la diferencia entre los tiempos de llegada de un paquete y el anterior en la Hoja 2. A partir de los resultados, determina el intervalo de tiempo durante el que el Receptor no recibe paquetes. Calcula también el tiempo de establecimiento de cada tramo del LSP, sobre cada uno de los enlaces atravesados. Para ello, busca los eventos adecuados asociados a los objetos Enlace que son de nuestro interés. Escribe los resultados en la tabla del **Ejercicio 5**.

Sube el fichero “**red3.pdf**” al espacio compartido.

Partiendo del escenario “**red3.osm**”, modifica los retardos de los enlaces que consideres necesarios para conseguir que el LSP se establezca siguiendo la ruta: E\_3, E\_6, E\_7 y E\_9. Escribe los retardos finales de los enlaces en la tabla del **Ejercicio 5** “Configuración de los enlaces”. Además, escribe en la tabla del **Ejercicio 5** “Retardo de las rutas” el

retardo entre el LER\_1 y LER\_2 para cada una de las rutas posibles, utilizando los nuevos retardos definidos en la tabla “Configuración de los enlaces”. Para cada ruta, escribe el retardo como la suma de los retardos de los enlaces atravesados y lístalos en orden creciente de retardo.

## 5. Resumen de los Resultados a Depositar en PoliformaT

Los resultados se deberán depositar en el **espacio compartido del alumno en la asignatura IRT del PoliformaT**. **Elige el espacio del alumno que firme el primero el boletín con los resultados** que hay que entregar al final de la práctica. **Crea una carpeta** en tu PC con el nombre y apellidos (**Nombre\_Apellido1\_Apellido2**) del alumno que firme el primero el boletín con los resultados. Deja los resultados en la carpeta, y encapsula la carpeta en un fichero ZIP con el nombre "**Nombre\_Apellido1\_Apellido2\_P6MPLS.zip**".

Resumen de resultados:

- **Boletín de resultados a entregar.**
- **Ficheros Excel:** Ejercicio2.xlsx, Ejercicio4.xlsx (6 hojas) y Ejercicio5.xlsx (2 hojas).
- **Ficheros pdf:** red2.pdf (red2a.pdf + red2b.pdf + red2c.pdf) y red3.pdf.

## IRT. Práctica MPL. Resultados a entregar

Fecha:	01/06/2022
Nombre:	Gerardo Arias Martínez
Nombre:	Andrés Ruz Nieto

### Ejercicio 1.

#### Configuración de los enlaces:

#### Transmisor y Receptor

Nodo	Tasa tráfico (Mb/s)	Carga útil (Bytes)
Rx	***	***
Tx	5000	10000

#### Configuración de los routers:

Nodo	Tasa Binaria (Mb/s)	Memoria (MB)
LER_1	5120	512
LER_2	5120	512
LSR_1	5120	512
LSR_2	5120	512
LSR_3	5120	512
LSR_4	5120	512
LSR_5	5120	512

Enlace	Retardo (ns)
Ea_1	125000
Ea_2	125000
E_2	125000
E_3	125000
E_4	125000
E_5	125000
E_6	125000
E_7	125000
E_8	125000
E_9	125000
E_10	125000

**Ejercicio 2.**

A partir de los datos obtenidos, escribe aproximadamente:

Evento	
Número de Paquetes IP Enviados por Tx	196
Número de Paquetes IP Recibidos por LER_1	187
Número de Paquetes IP Recibidos por Rx	204
Tasa binaria (Mbit/s) del flujo de paquetes IP recibidos por Rx (para los cálculos, utiliza el intervalo de tiempo que transcurre desde el 1er paquete recibido hasta el último, y el tamaño de los paquetes)	10307,53 Mbits/s

Comenta los resultados obtenidos

$$\text{Tiempo (ns)} = 2988000 - 1472000 = 1516000$$

$$10040 \text{ Bytes} * 204 \text{ paquetes recibidos} = 2048160 \text{ Bytes}$$

$$2048160 \text{ B} * 8 \text{ bits/B} = 16385280 \text{ bits}$$

$$\text{Tasa binaria} = 16385280 \text{ bits} / 1516000 \text{ ns} = 10307,53 \text{ Mbits/s}$$

**Ejercicio 3.**

Rellena la siguiente tabla con el número de eventos que ocurren en cada elemento<sup>3</sup>:

	E_2	E_4	E_9	LER_1	LER_2	LSR_1	LSR_3
ha descartado un paquete LDP							3
ha enviado un paquete LDP				4	4	5	5
ha establecido un tramo de LSP	1	1	1				
ha generado un paquete LDP de tamaño 49 octetos				4	4	5	5
ha recibido un paquete LDP de tamaño 49 octetos.				1	4	5	8

Las casillas en blanco equivalen a un 0.

<sup>3</sup> Se puede realizar de manera casi automática mediante la función "tabla dinámica" de Excel. Se sugiere al alumno que explore esta opción.

Dibuja el cronograma del tráfico LDP hasta que se constituye el LSP y calcula el tiempo total consumido en construir el LSP

us	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
LER_1				+	+	+	+												*		
E_2																			X		
LSR_1						+ *	+ *	+ *	+ *							* +					
E_4																X					
LSR_3									+ *	+ *	+ *	+ *		+ *	*--	*--	*--				
E_9														X							
LER_2											+ *	+ *	+ *	+ *							

MARCA

- ha descartado un paquete LDP

--
- ha enviado un paquete LDP

+
- ha establecido **un tramo** de LSP

X
- ha recibido un paquete LDP de tamaño 49 octetos.

\*

¿Cuánto tiempo se ha tardado en constituir el LSP?	Entre 700 y 800 us
--	--------------------

En el Excel no se muestran múltiplos de 50 únicamente.

#### Ejercicio 4.

Define el *jitter* de paquete e indica cómo se calcula.

El jitter es la fluctuación medida en milisegundos, que mide la variación del retardo entre los paquetes que recibimos.

Se calcula como la suma de las diferencias de tiempo entre muestras consecutivas, dividido por el número de muestras menos 1.

El jitter máximo se obtiene haciendo la diferencia del retardo máximo con el retardo mínimo.

Justifica con suficiente rigor científico el resultado obtenido para el *jitter* de paquete en los diferentes escenarios.

Como se puede ver tanto en las gráficas de las 3 redes como en la tabla, en la red2a los paquetes llegan aproximadamente al mismo ritmo, dicho de otra forma, el flujo de paquetes es más constante.



### Ejercicio 5.

Retardos calculados:

Evento	Tiempo (ns)
Rx no recibe paquetes	358000
Re-establecimiento LSP en E_2	520000
Re-establecimiento LSP en E_5	491000
Re-establecimiento LSP en E_7	471000
Re-establecimiento LSP en E_9	450000

Configuración  
de los enlaces:

Enlace	Retardo (ns)
E_2	35001
E_3	25000
E_4	35000
E_5	20000
E_6	25000
E_7	20000
E_8	25000
E_9	20000
E_10	25000

Retardo de las rutas:

Ruta	Enlaces atravesados	Retardo total (ns)
1	E2-E4-E9	110001
2	E2-E5-E7-E9	115001
3	E2-E5-E8-E10	125001
4	E3-E6-E7-E9	110000
5	E3-E6-E8-E10	120000

Los tiempos se han ajustado al mínimo para que en caso de la caída de un enlace, la diferencia entre el retardo anterior y el actual se el menor posible.