

Construcción de un Entorno de Simulación para Redes Ópticas de Conmutación de Ráfagas

Daniel Guasch, Cristina Cervelló-Pastor, Anna Agustí, David Roca
Dep. Ingeniería Telemática, Universidad Politécnica de Cataluña
Avda. Víctor Balaguer s/n, 08800 Vilanova i la Geltrú
Tel: 93 896 7244, Fax: 93 896 7700
{daniel.guasch, cristina, anna.agusti, droca}@entel.upc.edu

Resumen

En este trabajo se presenta la construcción de un entorno de simulación para redes Ópticas que permite el modelado del comportamiento de routers ópticos genéricos basados en la técnica de conmutación de ráfagas (OBS, Optical Burst Switching) con el propósito de evaluar nuevos algoritmos asociados con la problemática de resolución de contendas existente en estas redes. El entorno de simulación permite el análisis y diseño de redes OBS con el objetivo de estudiar el comportamiento de varios algoritmos de planificación, algoritmos de encaminamiento, así como plantear nuevas alternativas a la problemática asociada a la calidad de servicio. La finalidad del diseño planteado es obtener el máximo caudal minimizando las pérdidas derivadas de la colisiones y permitir la comparativa de los algoritmos existentes en la literatura con nuevas propuestas.

1. Introducción

El rápido crecimiento del tráfico de datos y la rápida evolución de las tecnologías para la creación e interconexión de redes, son dos de los factores clave que han suscitado la necesidad de sacar el máximo rendimiento posible a las redes de transporte en general y a los sistemas de comunicaciones ópticas en particular, por ser los que proporcionan mayores velocidades de transmisión. En la siguiente generación de redes ópticas se considera que la arquitectura de red va a ser IP sobre WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), en la cual el tráfico se transmitirá en el dominio óptico sin conversiones O/E o E/O. Sin embargo, una conmutación de paquetes óptica pura aún no es posible hoy en día, por lo que la conmutación óptica de ráfagas (OBS, *Optical Burst Switching*) se ha propuesto como una tecnología alternativa.

La conmutación óptica de ráfagas, OBS [1], es una tecnología que integra la conmutación de paquetes y la transmisión WDM con la intención de aumentar el aprovechamiento del ancho de banda de las fibras ópticas. Esta tecnología se sitúa a medio camino entre la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes e intenta aprovechar las ventajas de ambas tecnologías de conmutación.

En OBS el plano de control y el de datos están claramente diferenciados. Para compensar la lentitud relativa de los dispositivos electrónicos, las unidades de datos de los usuarios recibidos en la frontera de una red OBS (paquetes IP, celdas ATM, tramas FR, tramas Ethernet, etc.) se ensamblan en unidades de mayor tamaño –denominadas ráfagas– que se conmutan por medios ópticos como una sola entidad después de que, en cada nodo, un paquete de control (BCP, *Burst Control Packet*) previamente

transmitido haya preparado la configuración interna del conmutador óptico para el instante de llegada de la ráfaga. Por ello, los datos de los usuarios se agregan en los nodos frontera de la red, ordenados en función de la dirección destino y/o según la calidad de servicio requerida (QoS, *Quality of Service*) [2] y agrupados en ráfagas de longitud variable.

De este modo, la tecnología OBS permite reducir la carga de procesado por parte de los dispositivos intermedios en comparación con la tecnología de conmutación de paquetes tradicional ya que sólo es necesaria la conversión opto-electro-óptica (O/E/O) para los canales de control y, además, cada paquete de control reserva recursos para un conjunto de unidades de datos de usuario que se agrupan en una misma ráfaga. Por otro lado, se consigue mayor grado de multiplexado estadístico de usuarios en comparación con la tecnología de conmutación de circuitos debido a que los recursos sólo se reservan durante la transmisión de una determinada ráfaga.

Aunque existen varias definiciones asociadas a las redes OBS [3], la mayoría de las arquitecturas propuestas para redes ópticas de conmutación de ráfagas se basan en mecanismos de reserva unidireccional [4][5], en los cuales, después de un tiempo de offset, la ráfaga de datos se transmite sin esperar un reconocimiento positivo de la reserva. Una de las principales limitaciones de los esquemas con reserva unidireccional es su elevada probabilidad de bloqueo. Cuando dos paquetes de diferentes puertos de entrada o con diferentes longitudes de onda de entrada deben ser conmutados al mismo puerto de salida y con la misma longitud de onda se produce competencia por el uso de los mismos recursos. En ese caso, el controlador del conmutador y el elemento de conmutación deben

utilizar alguna estrategia para resolverla. La contienda en el puerto de salida se puede resolver en tres dimensiones: longitud de onda (utilizando convertidores de longitud de onda), tiempo (utilizando líneas de retardo) o espacio (utilizando técnicas de deflexión o *deflection routing*)[6]; o utilizando estrategias que combinan soluciones en más de una dimensión. También existen soluciones en las que se realiza un truncado (*Burst Segmentation*) de la parte de la ráfaga que provocaría la colisión con otra ráfaga, transmitiendo sólo una parte de la misma [7][8].

Algunas de estas soluciones sólo resuelven en parte las pérdidas derivadas de las contiendas y otras, a pesar de ofrecer mejores prestaciones, resultan ser soluciones inviables en términos económicos o en términos tecnológicos. Es por ello que en el estudio de las redes OBS, la contienda sigue siendo una problemática a resolver [9][10], siendo necesarios la aportación, y su posterior análisis, de nuevos algoritmos y protocolos que la reduzcan o anulen. Sobre ésta influye el algoritmo de encaminamiento [11] usado, el algoritmo de planificación (*scheduling*) de las longitudes de onda utilizado [12][13][14], así como la decisión del offset y la aplicación de la QoS que se lleve a cabo.

En este trabajo se presenta la construcción de un entorno de simulación para redes OBS que permite el modelado del comportamiento de routers ópticos genéricos basados en la técnica de conmutación de ráfagas con el propósito de evaluar nuevos algoritmos asociados con la problemática de resolución de contiendas existente en estas redes. El entorno de simulación ha de permitir el análisis y diseño de redes OBS con el objetivo de estudiar el comportamiento de varios algoritmos de planificación, algoritmos de encaminamiento, así como plantear nuevas alternativas a la problemática asociada a la calidad de servicio. La finalidad del diseño planteado es obtener el máximo caudal (aprovechar al máximo el ancho de banda disponible) minimizando las pérdidas derivadas de las colisiones.

El contenido del artículo es el siguiente. En la Sección 2 se presenta la arquitectura de los nodos y de la red OBS del simulador. En la Sección 3 se introduce el esquema de funcionamiento de los nodos OBS. La sección 4 contiene un análisis de los parámetros que intervienen en una transmisión de las ráfagas en redes OBS. La Sección 5 presenta algunos resultados del simulador. Por último, la Sección 6 contiene, a modo de resumen, las conclusiones de este trabajo

2. Arquitectura del Simulador

En esta sección se introducen los bloques funcionales que constituyen la arquitectura del

simulador, primero la correspondiente a un nodo OBS, para finalizar con la arquitectura de la red.

2.1. Arquitectura de un nodo OBS

Para el diseño del entorno de simulación se sigue la arquitectura que se presenta en la Fig. 1, donde se pueden apreciar los diferentes componentes que debe tener un router OBS. Los routers actúan sobre líneas de comunicaciones, gestionando de forma independiente la información de control y la transmisión de datos. De esta forma, se divide la arquitectura de los routers en dos planos: el plano de control y el de transmisión. Las líneas de comunicaciones se basan en fibras ópticas con WDM, que transportan la información multiplexada de diferentes flujos de datos, y líneas para la información de control que pueden ser tanto ópticas como eléctricas (en este último caso evitando la conversión O/E/O del plano de control).

En el plano de transmisión se encuentran los demultiplexores, encargados de separar por un lado las diferentes longitudes de onda y por otro los flujos de control de los de datos, y los multiplexores, responsables de realizar la función complementaria. En la parte central de la Fig. 1 se observan dos bloques adicionales: el retardador óptico y la matriz de conmutación. El retardador óptico retarda las ráfagas de datos, en el caso de que sea necesario, mientras que la matriz de conmutación las encamina a la salida adecuada.

El resto de elementos que se observan en la arquitectura de un router óptico, pertenecen a la capa de control. El plano de control es el encargado de gestionar el comportamiento del router. En él se encuentra la unidad de control, responsable de coordinar los subsistemas de planificación (*scheduling*), encaminamiento (*routing*) y retardador (*buffer*). El subsistema de planificación permite el desarrollo de algoritmos que gestionen la calidad de servicio (QoS) mediante el uso de prioridades. El subsistema de encaminamiento posibilita la simulación e investigación en el desarrollo de algoritmos para el encaminamiento dinámico. El bloque retardador permite gestionar los retardadores ópticos implementados en la capa de transmisión.

En el plano de control se realiza la gestión de las colas de entrada, encargadas de almacenar temporalmente los paquetes de control y enviarlos a la unidad de control, y de las colas de salida, que envían los paquetes al siguiente dispositivo de red.

2.2. Arquitectura de la Red OBS

Una red OBS estará formada por nodos frontera y nodos centrales.

En la arquitectura de red presentada, un nodo frontera tiene las mismas funcionalidades que un nodo central y además incluye un módulo de

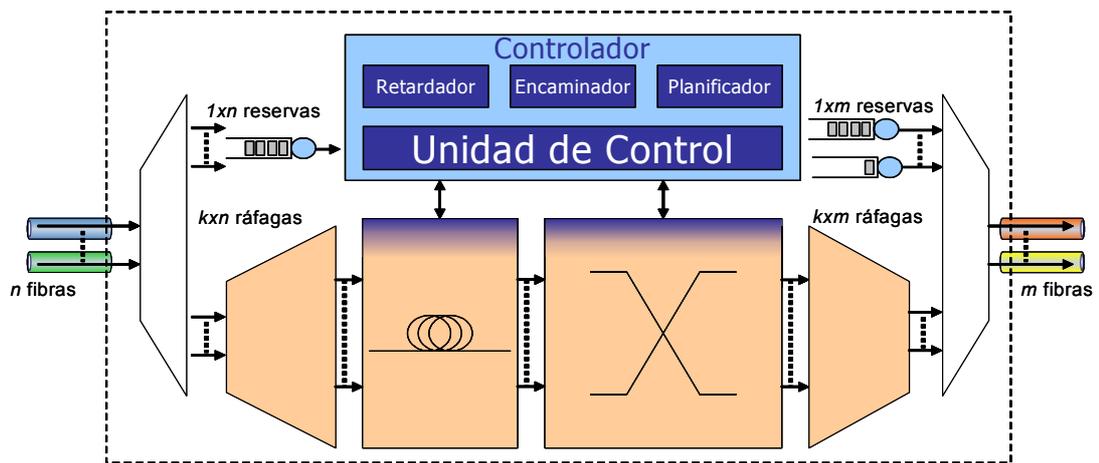


Fig. 1. Arquitectura de un nodo OBS del Simulador

generación de ráfagas que gestiona colas de paquetes procedentes de los usuarios (por ejemplo, IP) y ráfagas construidas en el dominio OBS.

3. Esquema de funcionamiento de los nodos OBS

La gestión de reservas del sistema, mostrada en el diagrama de flujo de la Fig. 2, involucra todos los elementos descritos en el plano de control de la arquitectura de un router OBS (Fig. 1). El procesado distingue entre un paquete de control enviado para efectuar la reserva de recursos y un paquete de control enviado para la cancelación de recursos previamente reservados. Esta funcionalidad de cancelación es opcional, forma parte de las diferentes opciones de algoritmos a elegir en el simulador. En la Fig. 3 se muestran las diferentes condiciones y situaciones que pueden darse en el diagrama de flujos de la Fig. 2.

En el caso de que el paquete a procesar sea de cancelación con un valor de TTL válido y que sea coherente con una reserva realizada previamente, se diferencia entre si ya se están recibiendo los datos o no, ya que en el segundo caso aún hay tiempo suficiente para propagar el paquete de cancelación hacia adelante con el objetivo de liberar recursos reservados anteriormente. En cualquier caso, la reserva se anula con la llegada del paquete de cancelación correspondiente.

En el caso de que el paquete sea un paquete de reserva que no haya superado su tiempo de vida (TTL), se entra en un bucle cuya duración viene determinada por la cantidad de paquetes de control existentes en la cola de reservas. Mientras haya reservas por realizar, el algoritmo se mantendrá en iteración. Para cada paquete de control se realiza la comprobación de si el tiempo de procesado empleado por el router no supera el intervalo de tiempo restante hasta que llegue la ráfaga de datos. En caso negativo, no se realizará la reserva, eliminando el paquete de control de la cola, y registrando el descarte.

A continuación, se obtienen, mediante una tabla de encaminamiento, aquellos caminos de salida viables para la reserva. Este punto se corresponde con el módulo de encaminamiento descrito en la arquitectura del router. Si no existiese ningún camino válido, se proporciona la posibilidad de retardar la reserva durante un determinado periodo de tiempo especificado por el bloque retardador, ampliando el margen temporal en el que encaminar la ráfaga de datos. Si esta acción proporciona un camino viable, se realiza la reserva en el plano de transmisión y se actualiza la cola de reservas.

En el caso de que el anterior bloque dé como resultado que no existe ninguna salida posible para la ráfaga de datos, se recurre al bloque denominado en la arquitectura del router como *scheduling* o planificación. En primer lugar se determinan las reservas involucradas en cada flujo de salida, para, a continuación, comprobar si la reserva que se está procesando es prioritaria respecto de todos los datos involucrados en cada uno de los caminos posibles. En el caso de que se halle un camino viable, se sustituyen las reservas afectadas, se colocan los paquetes de control sustituidos en la cola para ser procesados y se registra la nueva reserva prioritaria.

Por otro lado, en el caso de que el procedimiento anterior no dé como resultado un camino viable, se recurre de nuevo al buffer retardador, ampliando de esta forma el proceso de planificación durante un determinado periodo de tiempo. En caso contrario, no se aceptará la reserva, eliminando el paquete de control de la cola y registrando el descarte debido a la incapacidad de encontrar un camino de salida por donde encaminar la ráfaga de datos. En este último caso, se incluye la posibilidad de utilizar paquetes de cancelación, sólo si se dispone de tiempo suficiente para ello, con el objetivo de liberar los recursos reservados previamente tanto hacia adelante como hacia atrás e intentar buscar un camino alternativo a partir de nodos anteriores del camino seguido.

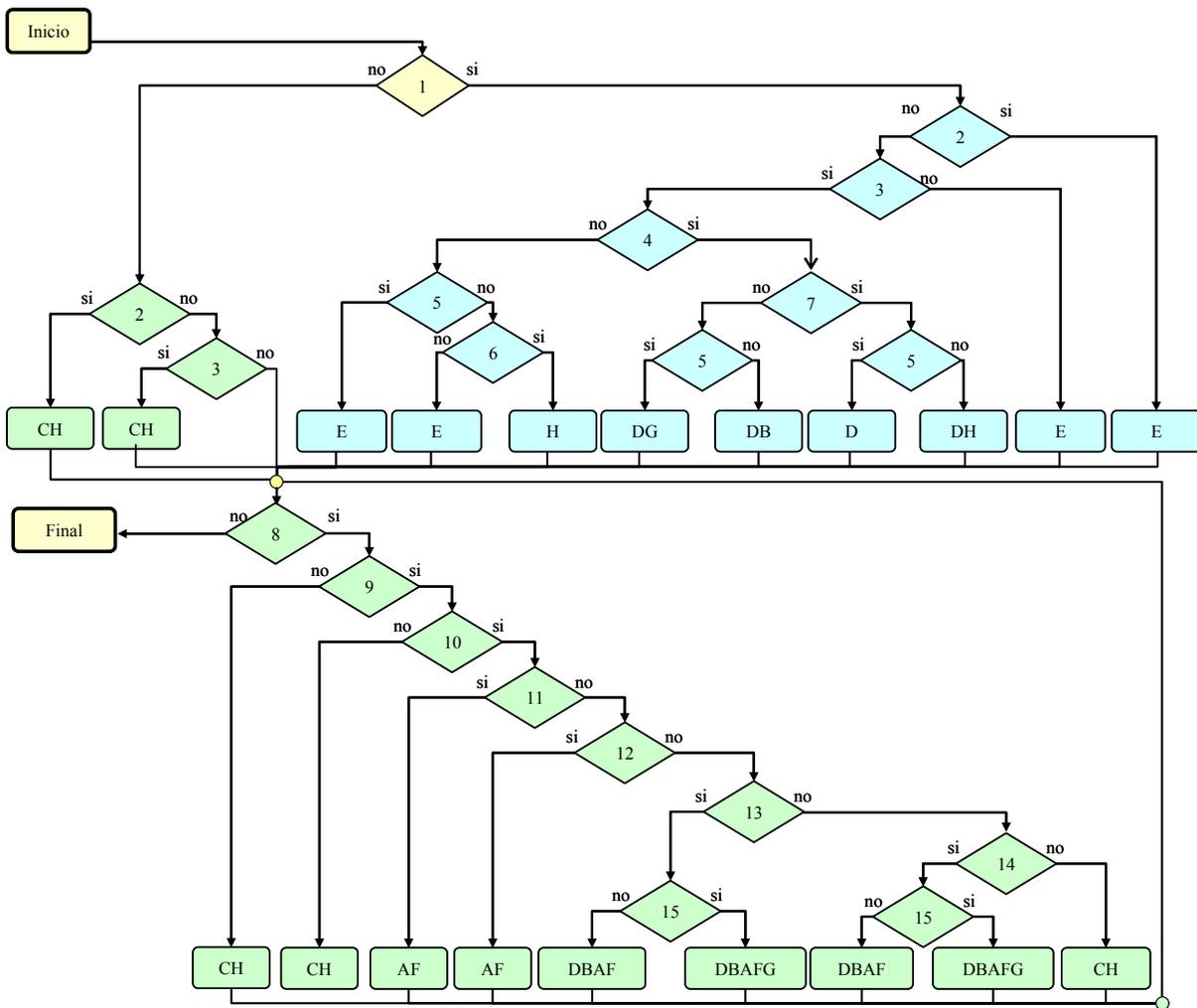


Fig. 2. Programación del plano de control de un nodo central OBS

| Condiciones | |
|-------------|--|
| 1. | ¿Es una cancelación? |
| 2. | ¿El campo TTL es 1? |
| 3. | ¿Se ha recibido antes el paquete de reserva? |
| 4. | ¿Existe la reserva? |
| 5. | ¿Es una cancelación hacia adelante? |
| 6. | ¿La cancelación ha provocado la eliminación de datos transmitidos? |
| 7. | ¿Se están recibiendo los datos? |
| 8. | ¿Quedan reservas en la cola? |
| 9. | ¿Tiene tiempo de ser procesado? |
| 10. | ¿Es el destino alcanzable? |
| 11. | ¿Hay un camino libre? |
| 12. | Si se retarda, ¿hay un camino libre? |
| 13. | ¿Puede sustituir una reserva anterior? |
| 14. | Si se retarda, ¿puede sustituir una reserva anterior? |
| 15. | ¿Se ha enviado el paquete de reserva de la reserva sustituida? |

| Escenarios | |
|------------|--|
| A. | Realiza la reserva |
| B. | Añade reserva anterior a la cola |
| C. | Anula reserva |
| D. | Anula reserva anterior |
| E. | Anula cancelación |
| F. | Propaga paquete reserva hacia adelante |
| G. | Propaga paquete cancelación hacia adelante |
| H. | Propaga paquete cancelación hacia atrás |

Fig. 3. Condiciones y escenarios del flujo del plano de control de un nodo central OBS

Estos intentos se van a repetir mientras se disponga de suficiente tiempo para procesar el paquete de control antes de que se produzca la llegada de la ráfaga.

En la Fig. 4 se muestra una división de los routers OBS frontera y centrales en bloques funcionales. Se puede observar como un router frontera contiene una interfaz entre los dominios IP y OBS, mientras que un router central sólo opera en el dominio OBS.

En la Fig. 5 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a las funcionalidades que son exclusivas de un router frontera OBS.

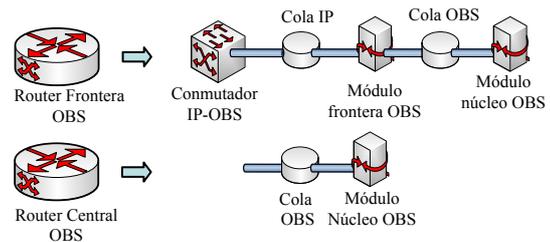


Fig. 4. Bloques de los routers OBS

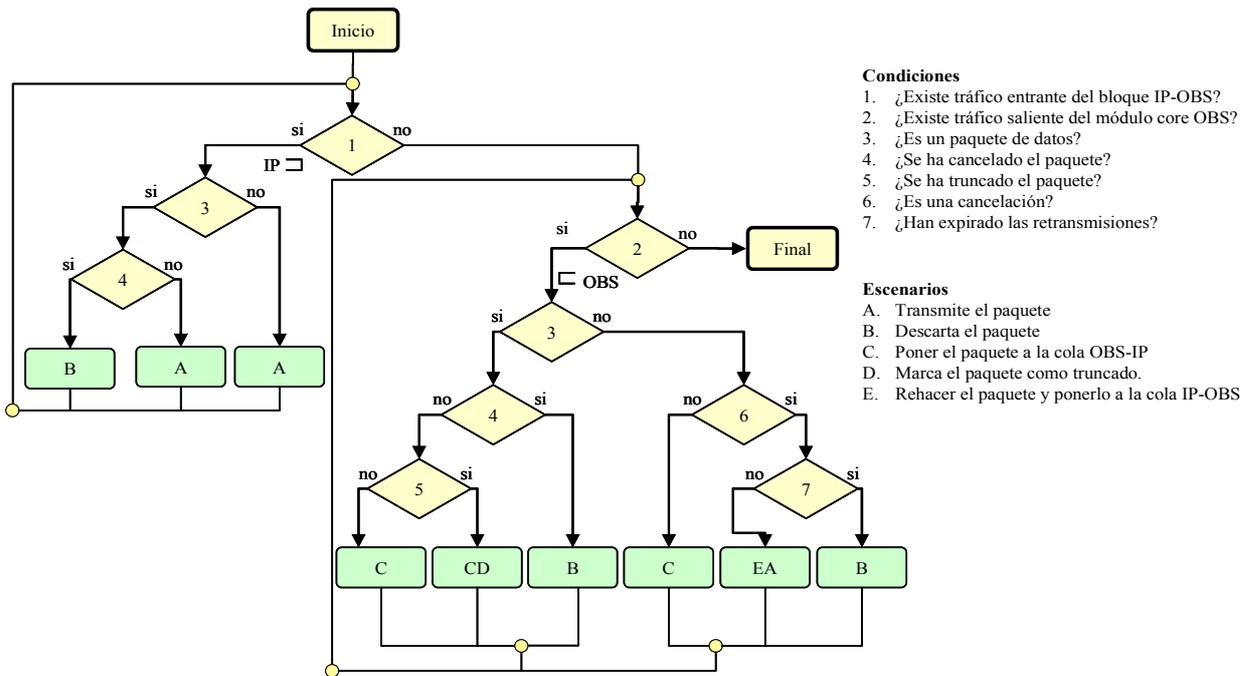


Fig. 5. Algoritmo principal de un nodo frontera OBS

El nodo inicialmente trata de multiplexar el tráfico procedente de las redes externas con el que ya circula en esos instantes en la red OBS.

Esta acción se ve condicionada por la gestión de las peticiones de retransmisiones del resto de nodos de la red OBS –realizadas mediante los paquetes de cancelación correspondientes–. Existe, evidentemente, un número máximo de retransmisiones que permite limitar dicha funcionalidad. Además, un router frontera OBS también tiene todas las funcionalidades propias de un routers central (Fig. 2).

4. Análisis de la transmisión

En el dimensionado de los parámetros que intervienen en la transmisión de una ráfaga hay que tener en cuenta, esencialmente, que el tiempo de offset debe ser suficientemente grande como para permitir que el paquete de control sea procesado antes de que llegue la ráfaga en los nodos intermedios de la red. De este modo, la ráfaga no requiere ser retardada a nivel óptico en dichos nodos. Por otra parte, la llegada de paquetes de control a un nodo no debe provocar la saturación del mismo.

En la Fig. 6 se muestra un esquema temporal correspondiente a la recepción y transmisión de paquetes de control y de datos por parte de un nodo. Los intervalos de tiempo que intervienen en este esquema son los siguientes:

- t_{offset} : Intervalo de tiempo entre el inicio de transmisión/recepción del paquete de control y el inicio de transmisión/recepción de la ráfaga asociada.

- t_{bcp} : Tiempo de transmisión/recepción del paquete de control (BCP).
- t_p : Tiempo de procesado del paquete de control.
- t_{op} : Tiempo de operación total con el paquete de control por parte del nodo, que incluye en tiempo de procesado más el tiempo de espera en cola.
- t_x : Intervalo de tiempo entre dos paquetes de control correspondientes a ráfagas del mismo flujo.
- t_c : Tiempo necesario para realizar la conmutación adecuada para la ráfaga de datos asociada al paquete de control.

El tiempo de offset mínimo desde el punto de vista de un nodo ha de cumplir:

$$t_{offset\ min} \geq t_{bcp} + t_p + t_c .$$

Por otra parte, si tenemos en cuenta todos los nodos de la red, que denotaremos por N , el tiempo de offset mínimo para una ráfaga ha de cumplir:

$$t_{offset\ min} \geq t_c + t_{bcp} + t_p \cdot N .$$

El intervalo de tiempo, t_x , entre la llegada de dos paquetes de control correspondientes al mismo flujo de datos, ha de cumplir la siguiente relación para conseguir que la cola de paquetes de control del nodo no se llegue a saturar:

$$t_{x\ min} \geq n_f \cdot n_\lambda \cdot t_p - t_c ,$$

donde n_f es el número de fibras ópticas y n_λ es el número de longitudes de onda de cada una.

Esta expresión refleja la peor situación a nivel de congestión que puede darse en el nodo. En este caso debería ser capaz de procesar todos los paquetes de control correspondientes a las ráfagas que puede recibir por todas sus fibras de entrada y por todas las longitudes de onda, durante el tiempo que transcurre

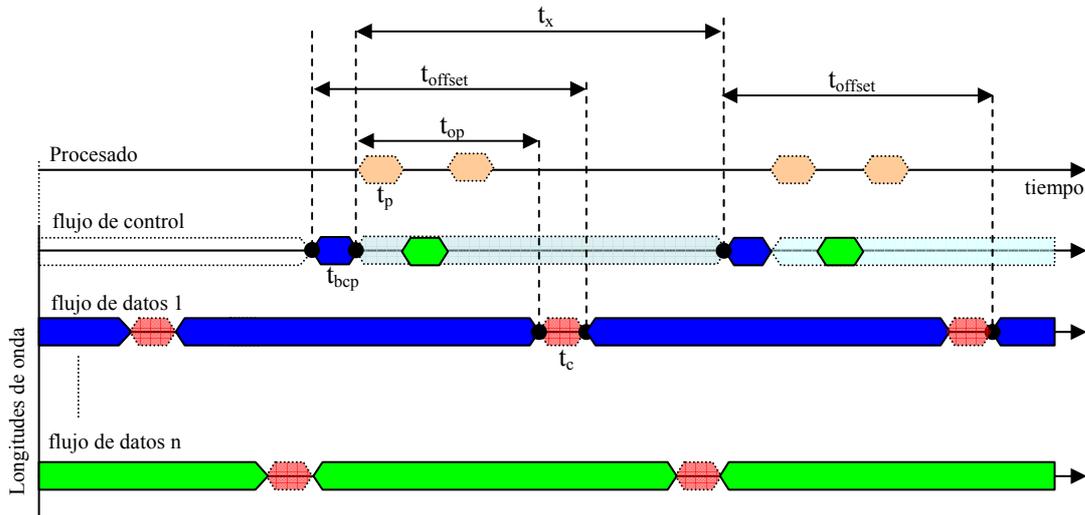


Fig. 6 Esquema temporal de la transmisión/recepción de información en el plano de control y en el de datos

desde la llegada de un paquete de control y el siguiente correspondientes a un mismo flujo.

En estas expresiones se ha considerado que no se producen errores en la red, de modo que la transmisión de la ráfaga se produce con éxito.

En general puede darse el caso de que no existan los recursos necesarios en la red para la transmisión de la ráfaga y, en esta situación, el simulador da como opción la posibilidad de utilizar la técnica de las cancelaciones para liberar recursos reservados previamente a lo largo del camino. Teniendo en cuenta que un nodo puede recibir además de paquetes de control, paquetes de cancelación hacia delante y hacia atrás, el tiempo t_x mínimo debería cumplir:

$$t_{x_{\min}} \geq 3 \cdot n_f \cdot n_\lambda \cdot t_p - t_c$$

En el caso de la red de N nodos, considerando la situación en la que el paquete de control viaja hasta el extremo final de la red y los paquetes de cancelación viajan en sentido contrario para liberar los recursos reservados a lo largo del camino por dicho paquete de control, el tiempo de offset mínimo debería ser:

$$t_{\text{offset}_{\min}} > 2 \cdot (t_c + t_{bcp} + t_p \cdot N).$$

Si los errores se reiteran, el tiempo de offset necesario será consecuentemente mayor.

5. Resultados del Simulador

A continuación se presenta, a modo de resultado práctico, el fragmento inicial de una simulación de la topología planteada en la Fig. 7. Esta simulación se ha diseñado para permitir valorar las prestaciones del simulador tanto en su vertiente de resultados estadísticos como su capacidad de representación gráfica de los paquetes involucrados.

La red simulada consiste en dos nodos frontera y dos nodos núcleo interconectados mediante enlaces formados por 4 fibras ópticas (2 de salida y 2 de entrada a cada nodo), en cada una de las cuales circulan 3 longitudes de onda (1 para el plano de control y 2 para el plano de datos).

La simulación resuelve la transmisión de 11 ráfagas desde el nodo frontera 1 hasta el nodo frontera 4, pasando por los nodos núcleo 2 y 3. La transmisión de estas ráfagas genera una secuencia de paquetes de control y de datos que da lugar a los resultados de la Tabla 1. En esta Tabla se muestra el resumen de las estadísticas obtenidas en cada nodo en el intervalo temporal de simulación escogido. Se observa como en el intervalo de tiempo simulado, el nodo frontera 1 transmite 24 paquetes, de los cuales 9 son ráfagas y 14 son de control. Nótese que los 14 paquetes de control corresponden a las 11 ráfagas iniciales más 3 retransmisiones posteriores debidas a problemas de comunicación identificadas a partir de las 3 cancelaciones recibidas desde el nodo 2. Igualmente de las 9 ráfagas de datos, el nodo 2 aporta algunos datos interesantes como el hecho de que acepta y transmite 8 ráfagas, entre las cuales 3 han generado algún tipo de problema de congestión.

En el ejemplo actual la congestión se resuelve mediante buffers y sólo una ráfaga no se puede propagar la cual sería retransmitida posteriormente (aunque no se muestra en el intervalo de simulación). Cabe destacar que los reajustes introducidos en la resolución de la congestión en el nodo 2 son transmitidos a los nodos vecinos en forma de 6 nuevos paquetes de control. En los nodos 3 y 4 no se dan problemas de congestión y las 8 ráfagas que consiguen encaminarse en el nodo 2 llegan a su destino. En el nodo 3 se aprecia un primer detalle de cómo, al descartarse inicialmente una ráfaga en el nodo 2, éste solo recibe 10 BCP, mientras que el nodo 2 recibe 11.

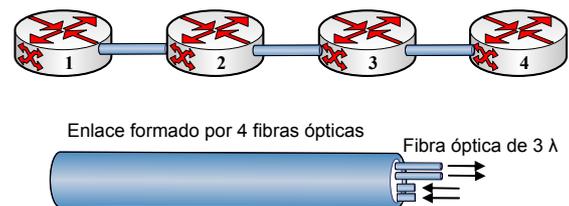


Fig 7. Red OBS simulada

Tabla. 1. Tabla resumen de las estadísticas de la simulación

| Nodos | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------|----|----|----|----|
| Paquetes recibidos | 3 | 23 | 24 | 23 |
| Paquetes recibidos control | 3 | 14 | 16 | 15 |
| Paquetes recibidos datos | 0 | 9 | 8 | 8 |
| Paquetes transmitidos | 23 | 28 | 24 | 0 |
| Paquetes transmitidos control | 14 | 20 | 16 | 0 |
| Paquetes transmitidos datos | 9 | 8 | 8 | 0 |
| Ráfagas aceptadas | 0 | 8 | 8 | 8 |
| Ráfagas descartadas | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Ráfagas truncadas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Retransmisiones | 3 | 0 | 0 | 0 |
| BCP (Reservas) aceptados | 0 | 11 | 10 | 9 |
| BCP (Reservas) descartados | 0 | 3 | 0 | 0 |
| BCP (Reservas) anulados | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Reservas sustituidas | 0 | 3 | 0 | 0 |
| BCP (Cancelaciones) aceptadas | 3 | 0 | 3 | 3 |
| BCP (Cancelaciones) generadas | 0 | 6 | 0 | 0 |
| BCP (Cancelaciones) propagadas | 0 | 0 | 3 | 0 |

Se observa, además, como el nodo 3 propaga el paquete de control informativo de los problemas de congestión al nodo 4.

Analizar la respuesta del simulador a partir exclusivamente de los datos estadísticos recopilados a lo largo de la simulación es una tarea ardua y presenta una dificultad añadida en las etapas de diseño. Por esta razón se ha programado una interfaz gráfica que permite analizar visualmente la evolución de la red.

Las Fig. 8 a 11 representan el tráfico en los enlaces de entrada y salida de los nodos de la red.

La Fig. 8 proporciona la evolución del tráfico en el nodo frontera 1. La Fig. 8(b) detalla el tráfico generado por el nodo, procedente de las redes externas. Por motivos de facilidad en la interpretación, el tráfico retransmitido por éste se ha incorporado por la segunda fibra de salida del nodo, visualizado en la Fig. 8(c). Estas retransmisiones son generadas a causa de los paquetes de control recibidos del nodo 2, tal y como se observa en la Fig. 8(a).

La Fig. 9 presenta el tráfico en las fibras de entrada y salida del nodo 2.

Nótese que el simulador tiene en consideración el retardo de propagación entre los nodos, el cual se fija al inicio de la simulación. Este detalle se aprecia comparando las Fig. 8(a), 8(b) y 8(c) con las Fig. 9(b), 9(a) y 9(c), respectivamente. La Fig. 8(d) muestra, en cambio, la resolución de la congestión en el nodo mediante la aplicación de buffers de entrada.

En la Fig. 10(a) y 10(b) se aprecia el tráfico en el nodo núcleo 3. En ella se pone de manifiesto un detalle de la programación de los paquetes de control que gestionan la congestión, que no se aprecia en las estadísticas de la Tabla 1.

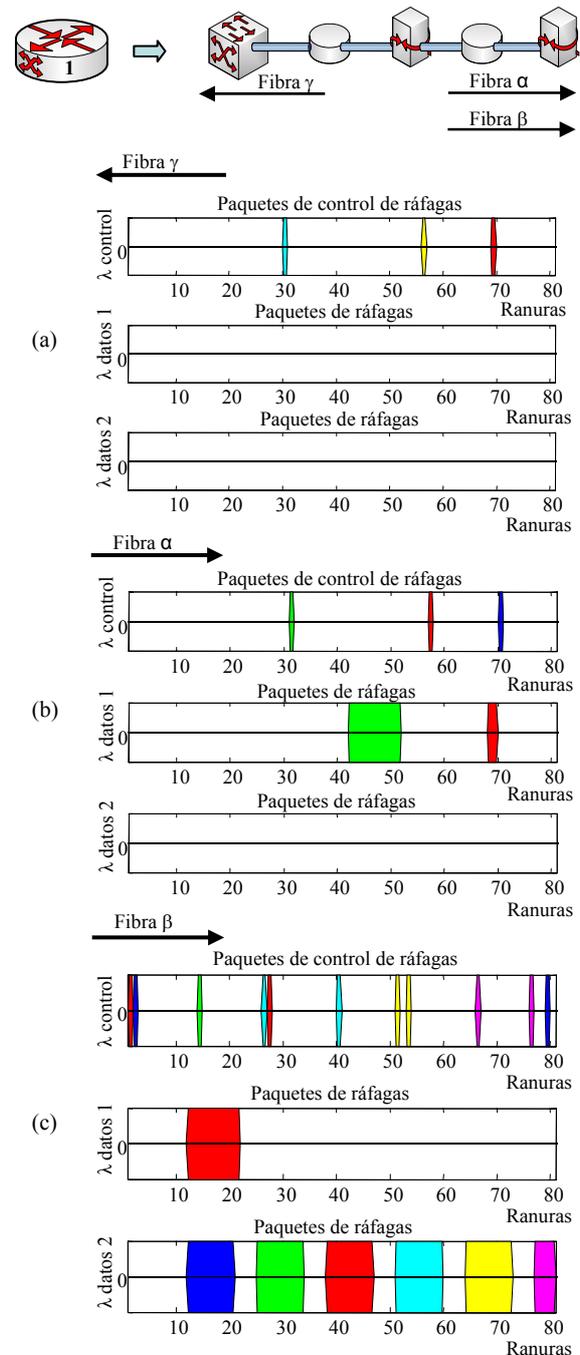
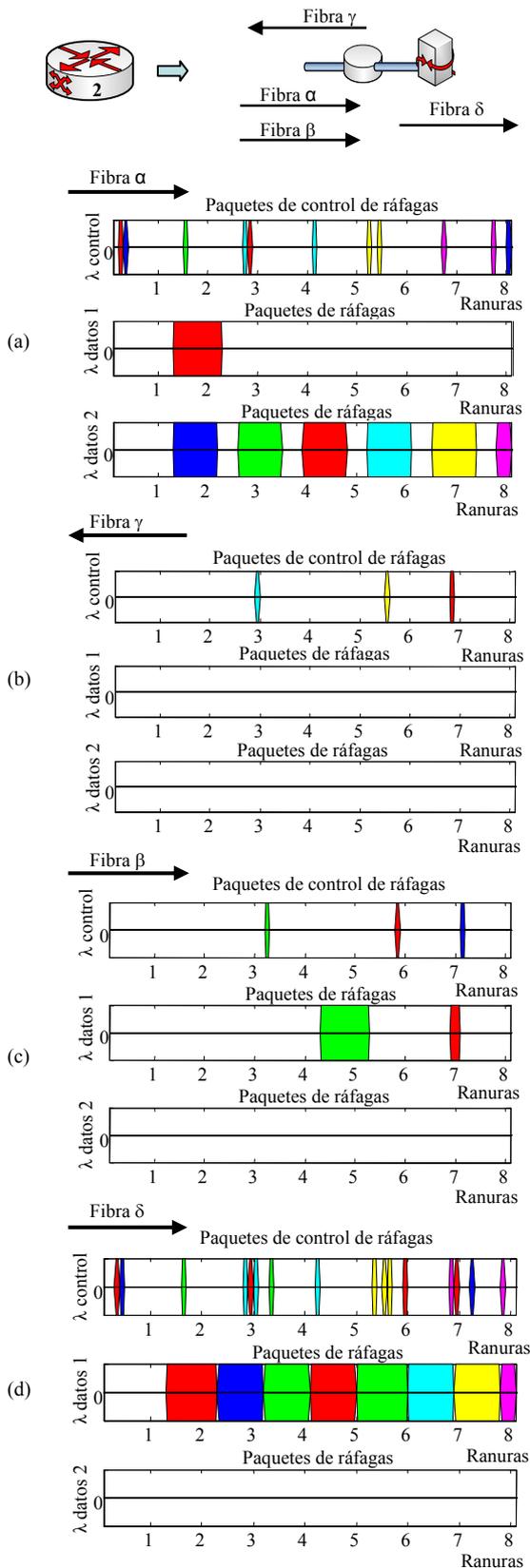


Fig 8. Representación gráfica del tráfico en el nodo 1.

Cuando un nodo detecta congestión la resuelve internamente; a continuación genera y envía un paquete de control a los nodos vecinos involucrados en la transmisión de la ráfaga en cuestión.

Nótese en la gráfica 9(b) la importancia de enviar primero el paquete de control informando de la congestión, o bien propagar el paquete de control informando de la necesidad de la reserva de recursos. El hecho de enviar primero la información de congestión ofrece la ventaja de reaccionar más rápidamente frente a ésta, pero disminuye el tiempo de offset entre el BCP y la ráfaga.



Si se propaga, en cambio, primero el paquete de control con la reserva y posteriormente se informa de la congestión, entonces se mantiene el offset respecto la ráfaga, pero puede dar lugar en situaciones extremas -como la simulada- a que el

nodo resuelva por si mismo una congestión aparente -como es el caso actual-.

Finalmente, la Fig. 10(c) detalla el comportamiento del nodo 4, que en este caso se limita a recibir los paquetes del nodo 3 ya que él es el destinatario.

El nodo 3 resuelve la situación realizando una conversión de longitud de onda, otro de los mecanismos que contempla el simulador.

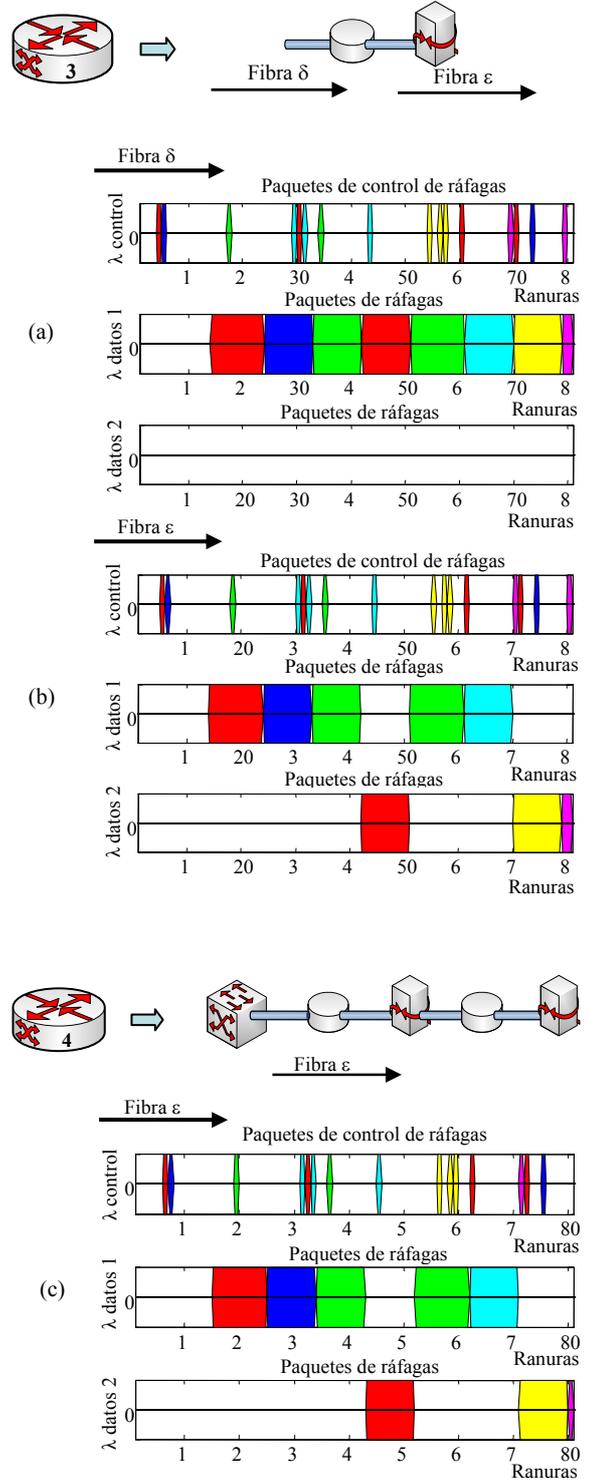


Fig. 10. Representación gráfica del tráfico en los nodos 3 y 4

6. Conclusiones

En este artículo se ha presentado el diseño e implementación de un entorno que permite simular el comportamiento de un router óptico, así como diferentes algoritmos de encaminamiento y planificación según la tecnología OBS. Mediante este simulador se permite reducir el tiempo y coste del diseño de routers OBS.

El simulador se ha llevado a cabo mediante Matlab, el cual ofrece las prestaciones adecuadas tanto para la simulación del router y los algoritmos de encaminamiento y planificación que éste incorpore, como para el análisis posterior de los resultados obtenidos. El resultado es la disponibilidad de un entorno completo donde es posible evaluar la interacción entre los diferentes elementos y algoritmos que intervienen en una transmisión extremo-a-extremo.

El entorno de simulación permite el modelado de un router OBS basado en el diagrama de bloques presentado anteriormente, en el que modela la separación de los planos de control y de datos. Mientras que el plano de datos está constituido prácticamente por multiplexores/demultiplexores, fibras de retardo y conmutadores -todos ellos de tecnología óptica-, el plano de control está constituido por colas de reservas y la unidad de control. Esta unidad de control es la responsable de encaminar reservas y ráfagas usando las técnicas de deflexión, conversión de longitud de onda, retardo o segmentación en función de las prestaciones del router que se quiera simular. Finalmente, los resultados dependerán de los bloques funcionales que se incluyan en el diseño de cada router y de los diferentes algoritmos que se pretendan evaluar.

Por último, se comentan las prestaciones del entorno implementado mediante el análisis de los resultados de una simulación. Este ejemplo pone de manifiesto la versatilidad de la herramienta desarrollada, pues permite tanto un análisis preliminar visual de los resultados como un posterior estudio a partir de los datos estadísticos

Los resultados obtenidos en este trabajo han dado lugar a una patente a nivel español (P200502790) [15].

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCYT) y FEDER dentro de proyecto TIC2003-09042-C03-02 y por el proyecto EURO-NGI.

Referencias

[1] Y. Chen, C. Qiao, X. Yu, "Optical Burst Switching: a New Area in Optical Networking Research," *IEEE Network*, Vol. 18, Issue 3, pp.16 – 23, May-June 2004.

[2] M. Yoo, C. Qiao and S. Dixit, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-Over-WDM Networks," *INFOCOM 2003*, Proceedings, vol. 3 pp. 2268-2278.

[3] M. Yoo and C. Qiao, "Just-Enough-Time (JET): A High Speed Protocol for Bursty Traffic in Optical Networks," *IEEE/LEOS Conf. on Technologies for a Global Information Infrastructure*, August 1997, pp. 26–27.

[4] J.J.P.C. Rodrigues, M.M. Freire and P. Lorenz, "One-way Resource Reservation Protocols for IP over Optical Burst Switched Mesh Networks," *Systems Communications 2005*. Proceedings, pp. 14-17 Aug. 2005.

[5] K. Dolzer, C. Gauger, J. Spath and S. Bodamer, "Evaluation of Reservation Mechanisms for Optical Burst Switching," *International Journal of Electronics and Communications (AE)*. Vol. 55, No. 1, 2001.

[6] H. L. Vu and M. Zukerman, "On the deflection routing in QoS supported optical burst-switched networks," *IEEE Communications Letters*, 6(5), pp. 214-216, May 2002.

[7] V. Vokkarane, J. P. Jue and S. Sitaraman, "Burst Segmentation: an Approach for Reducing Packet Loss in Optical Burst Switched Networks," *IEEE ICC (IEEE, New York, 2002)*, Vol. 5, pp. 2673–2677.

[8] V. Vokkarane and J. P. Jue, "Segmentation-Based Nonpreemptive Channel Scheduling Algorithms for Optical Burst-Switched Networks," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 3, No. 10, October 2005.

[9] S.Y. Lee, I-Y. Hwang and H-S. Park, "A New Paradigm of Optical Burst Switching System for Lossless Transmission," *ICNICONSMCL 2006*.

[10] S. Jung and M. Knag, "A New Collision-free Media Access Protocol for Metro OBS Ring Networks," *ICACT*, pp. 790-792, February 2006.

[11] H. Zang, P. Jue and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks," *Optical Networks Magazine*, Jan. 2000, pp.47-60.

[12] J. Xu, C. Qiao, J. Li and G. Xu, "Efficient Channel Scheduling Algorithms in Optical-Burst-Switched Networks," *IEEE INFOCOM*, New York, 2003.

[13] J. Li, C. Qiao and Yang Chen, "Recent Progress in the Scheduling Algorithms in Optical-Burst-switched Networks [Invited]," *Journal of Optical Networking*, Volume 3, Issue 4, pp. 229-241, April 2004.

[14] V.M. Vokkarane, G. P. V. Thodime, V. U. B. Challagulla, and J. P. Jue, "Channel Scheduling Algorithms Using Burst Segmentation and FDLs for Optical Burst-Switched Networks," *IEEE ICC (IEEE, New York, 2003)*, Vol. 2, pp. 1443–1447.

[15] D. Guasch, C. Cervelló y D. Roca, "Sistema, implantado por ordenador, para simular routers ópticos OBS", Patente nº P200502790, 2005.