



# Reserva Eficiente de Recursos en Redes para Transmisión en Tiempo Real

**Presentada Por:**

Enrique Hernández Orallo

**Dirigida Por:**

Dr. Joan Vila i Carbó

Valencia, 11 de junio de 2001.

## Notas biográficas

- Formación
  - Licenciado en Informática. 1992. (N.M. 8.67).
  - Comienzo doctorado en 1993.
- Experiencia profesional
  - Inisel (ahora Indra) : 1991-1992.
    - Proyectos tiempo real (Control tráfico aéreo, EFA).
  - Dpto. Internet-Arquitectura Redes. Bancaja: 1992-?
    - Arquitectura de redes (Tele-distribución IP)
    - Sistemas de teleproceso (Protocolos SNA, X-25)
    - Internet (J2EE).

## Notas biográficas

- Docencia
  - Profesor asociado TP en U. Valencia.
  - Libro "Programación en C++" (*Parainfo 1993*)
- Investigación
  - Grupo de Sistemas en Tiempo Real
    - Planificación
    - Soportes de ejecución
    - Sistemas multiprocesadores
  - Nueva línea de investigación
- 3 publicaciones internacionales y 1 nacional.

## Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

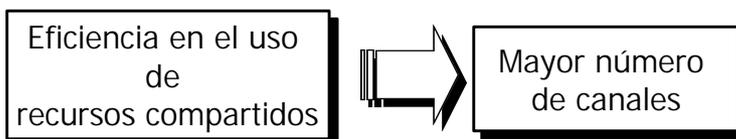
## Índice

### ➤ Motivación y objetivos

- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

## Motivación y objetivos

- Aplicaciones multimedia en red
  - Mayor demanda de transmisión en tiempo real
  - ✓ Requieren redes con Calidad de servicio.
- Esto implica:
  - Una gran utilización de recursos en la red



## Motivación y objetivos

- Estado del arte

- Bases { Ingeniería del tráfico  
Tiempo real

Líneas de trabajo	Grupo Tenet (89-95)	{	➤ Ferrari: definición/89
		}	Envolvente empírica/94
	Modelos teóricos (89-95)	{	Cálculo de redes (L.Cruz)/91
		}	Ecuaciones de retraso (P&G)/92
	IETF (93-98)	{	Grupos IntServ y RSVP/93
		}	Grupo DiffServ /97
	Modelos de tráfico	{	Autorregresivo, autosemejante,...

## Motivación y objetivos

- Soluciones planteadas (ahorro de recursos)
  - Servicio garantizado ⇒ Uso elevado de recursos
  - Servicio estadístico
- ¿De qué depende el uso de recursos?
  - Características del tráfico
  - Calidad de servicio requerida
- **Cuestión:** ¿cómo obtener los parámetros para los modelos a partir del tráfico?
  - Además estos parámetros determinan la reserva.

## Índice

- Motivación y objetivos
- **Transmisión en tiempo real**
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

## Transmisión en tiempo real

- Redes en tiempo real.
  - **Objetivo:** proporcionar una calidad de servicio (QoS).
  - Garantía de cumplimiento de prestaciones.
    - Retraso, ancho de banda, variación del retraso (jitter), tasa de error
- Características del tráfico multimedia
  - Ancho de banda elevado: 1.2 a 40Mb/s
  - Comprimido. (MPEG, H.261)
  - Alta variabilidad.

## Transmisión en tiempo real

- Transmisión en tiempo real [Ferrari90b]

“Se denomina servicio de transmisión en tiempo real aquel cuyos clientes pueden especificar los requerimientos sobre prestaciones y obtener garantía del cumplimiento de estos requerimientos.”

- Calidad de servicio [Vogel95]

“Calidad de servicio representa el conjunto de las características tanto cuantitativas como cualitativas de un sistema distribuido necesarias para alcanzar las funcionalidades requeridas por una aplicación.”

## Transmisión en tiempo real

- Tipo transmisión

- Streaming

- Clientes piden vídeo/audio desde un servidor
- Interactivo: similar a un vídeo o CD.
- Retraso: varía entre 1 a 10s

- Unidireccional

- Similar a la transmisión de TV y radio
- No interactivo: sólo ver y oír.
- Retraso: depende de lo “directo” que se quiera

- Bidireccional

- Similar al teléfono o videoconferencia
- Retraso muy exigente: 25 a 400ms

## Transmisión en tiempo real

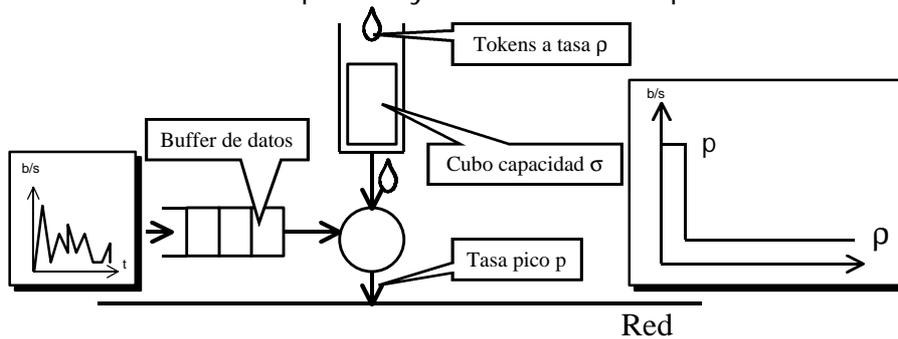
- Soluciones
  - Sobredimensionar:
    - Usar más ancho de banda, buffer, etc
  - Servicios integrados:
    - Tratamiento emisor-receptor.
    - Incorpora la reserva de recursos.
    - Asegura la calidad de servicio.
  - Servicios diferenciados:
    - Clasificar el tráfico  $\Rightarrow$  tratamiento diferenciado.
    - Calidad de servicio  $\Rightarrow$  Controlar la carga de la red

## Transmisión en tiempo real

- Arquitectura de los servicios integrados.
  - Especificación del flujo (*flow spec*)
    - Características del tráfico a transmitir (*TSpec*)
    - Calidad del servicio requerido (*RSpec*)
  - Reserva de recursos (i.e. RSVP).
  - Control de tráfico
    - Control de admisión de nuevos canales.
    - Conformación del tráfico: Leaky bucket, Token bucket
    - Disciplinas de servicio (planificadores):
      - *Non work conserving*: RCSP, RC-EDF
      - *Work conserving*: WFQ  $\Rightarrow$  servicio ecuánime ponderado
  - Encaminamiento (*routing*)

## Transmisión en tiempo real

- Token bucket
  - Tres parámetros
    - $\sigma$  : buffer
    - $\rho$  : tasa de drenaje
    - $\rho$  : tasa pico
  - Más flexible que leaky-bucket. Permite picos.



## Transmisión en tiempo real

- Comparación de protocolos estudiados

	Modelo De tráfico	Disciplina de servicio	Control de admisión	Reserva de recursos
ATM	Varios: CBR, VBR, rt-VBR, etc		CAC	
Tenet	Modelo Tenet ( $X_{min}$ , $X_{aver}$ , $I$ , $S_{max}$ )	RCSP, Delay-EDR, Jitter-EDR	Depende de la disciplina. En nodo y receptor.	Una pasada.
RSVP/ IETF	Token bucket	(WFQ o similares)	En receptor.	RSVP. Doble pasada.

## Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- **Descripción del tráfico**
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

## Descripción del tráfico

- Dado un tráfico se plantean dos problemas:
  - Cómo obtener los parámetros que hay que proporcionar a la red
  - Cada modelo de tráfico (Tenet, Token Bucket, ATM rt-VBR) tiene unos parámetros diferentes.
- Se propone un método para:
  - Comparar gráficamente modelos de tráfico
  - Obtener los parámetros.
- Para ello se utiliza el concepto de la envolvente empírica...

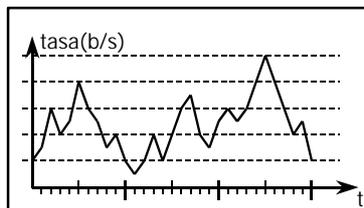
## Descripción del tráfico

- Envoltente empírica [Knighly94]:

- Define una cota del tráfico independiente del tiempo.

- Función del tráfico  $A(t)$ :

- Bits en función del tiempo.



- Función de tráfico limitado  $A^*(t)$ :

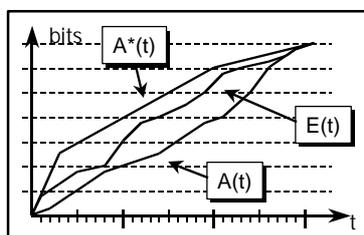
- Cota superior del tráfico independiente del tiempo.

$$A[t, t+t] \leq A^*(t) \quad \forall t \geq 0$$

- Envoltente empírica  $E(t)$ :

- Función  $A^*(t)$  más exacta.

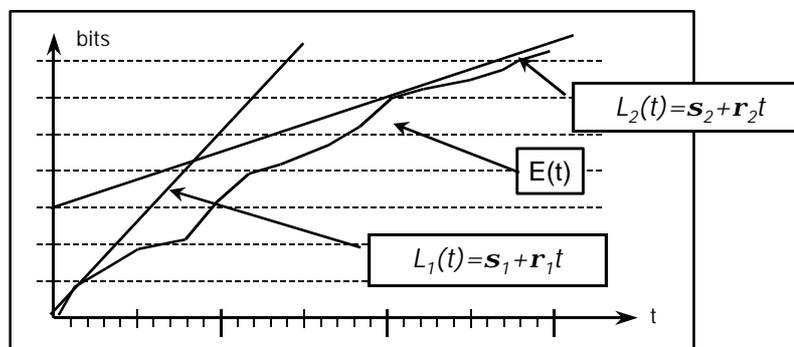
$$E^*(t) = \max_{t>0} A[t, t+t] \quad \forall t > 0$$



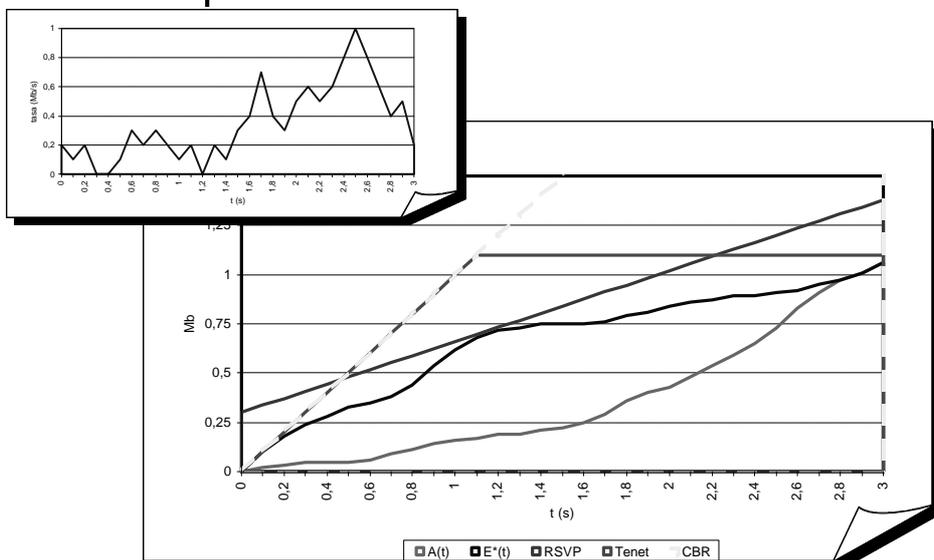
## Descripción del Tráfico

- Propiedad de la envoltente empírica:

- Cualquier función de tráfico limitado que contenga a la envoltente estará limitando también el tráfico.



## Descripción del tráfico



21/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- **Reserva óptima de ancho de banda**
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

22/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

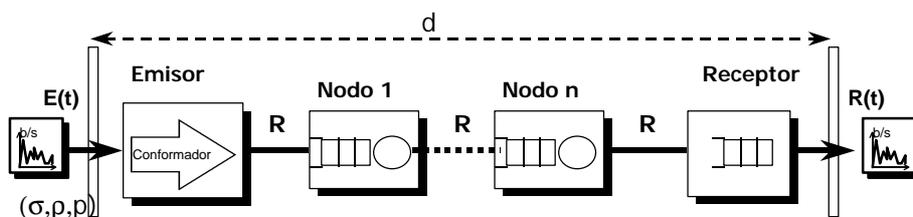
DISCA - UPV

## Reserva de ancho de banda

- Problema: la reserva de recursos depende del tráfico y el modelo de red.
- Soluciones planteadas
  - Algoritmos de **codificación** óptimos [Hsu97][Chen97]
    - Selección conjunta de tasa de codificación y transmisión en red
  - **Suavizado** del tráfico [Salehi98] [Reibman95] [Rexford99]
    - Introduce un retraso en la transmisión
  - **Problema**: los métodos anteriores son iterativos y costosos
    - No se pueden usar on-line
- Propuesta: Mejor dos fases [Lakshman98]:
  1. Obtener vídeo codificado optimizando calidad imagen (MPEG)
  2. En transmisión seleccionar la tasa de transmisión óptima

## Reserva de ancho de banda

- Escenario del problema
  - Transmisión de un tráfico conocido
  - Conformado a la entrada (token o leaky bucket)
  - Servicio garantizado
  - **d**: Retraso exigido
  - **R**: Reserva de ancho de banda en los enlaces
  - Parámetros red conocidos



## Reserva de ancho de banda

- Objetivo: minimizar  $R$  para un retraso dado  $d$ .
- ¿Cómo se calcula este retraso límite?

$$d = f \left( \begin{array}{c} \text{Modelo del tráfico} \\ \text{Reserva de ancho de banda} \\ \text{Parámetros canal establecido} \end{array} \right)$$

- Dos ecuaciones para el cálculo del retraso

A) IETF/RSVP: 
$$d = \frac{(b-M)(p-R)}{R(p-r)} + \frac{M+C_{tot}}{R} + D_{tot} \quad (p > R \geq r)$$

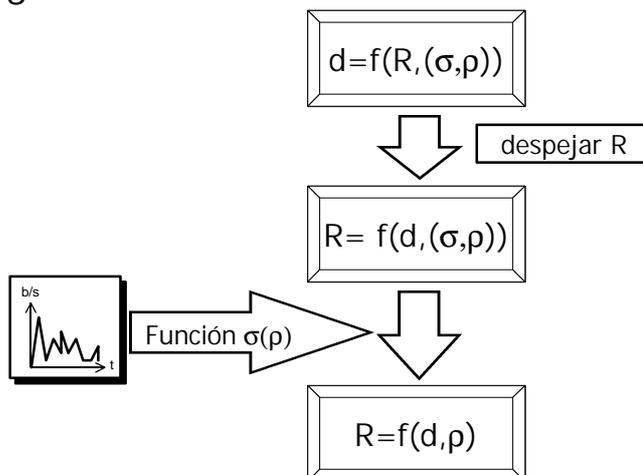
Token bucket

B) Parekh y Gallaguer (P&G): 
$$d = \frac{s+C_{tot}}{R} + D_{tot} \quad (R \geq r)$$

Leaky bucket  $(s,r)$ .

## Reserva de ancho de banda

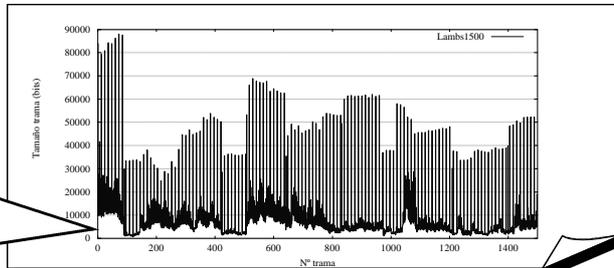
- ¿Cómo se calcula la reserva?



## Reserva de ancho de banda

Función  $\sigma(\rho)$

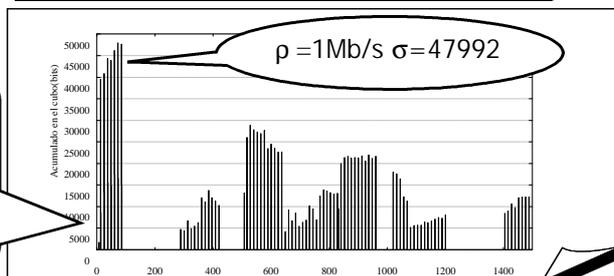
- ✓ Secuencia de n tramas
- ✓ Cada trama  $E_i$  bits



Cálculo iterativo  
[Reibman95]

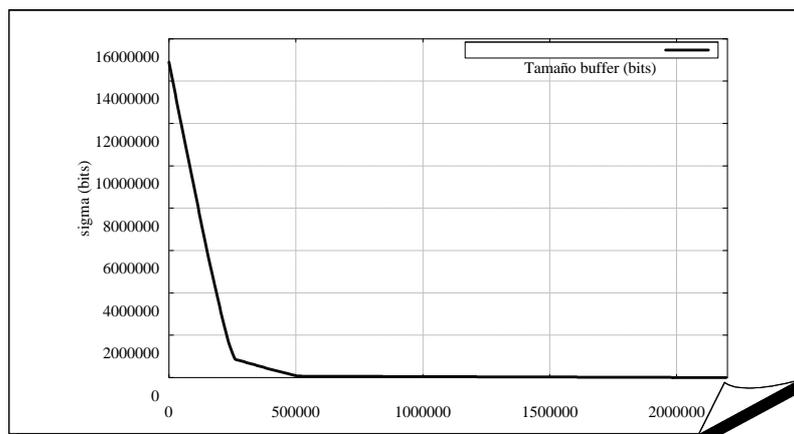
$$s_i = \max\{0, s_{i-1} + E_i - \frac{r}{f}\}$$

$$s(r) = \max_{0 < i \leq n} s_i$$



## Reserva de ancho de banda

- Ejemplo función  $\sigma(\rho)$





## Reserva de ancho de banda

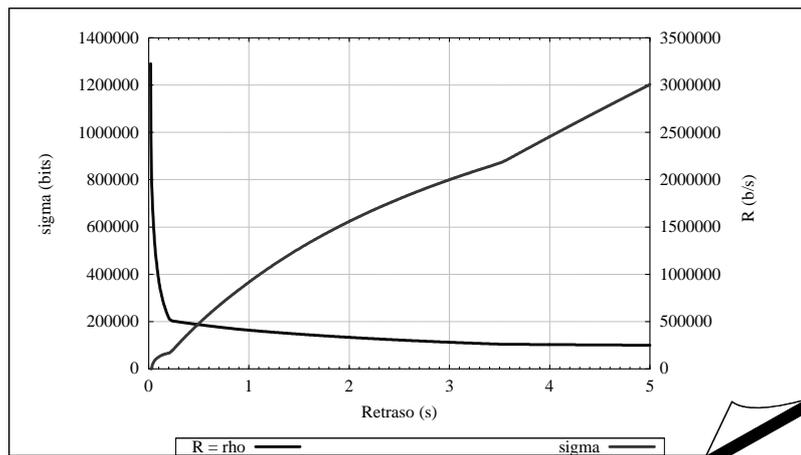
- Puntos envolventes.
  - **Idea:** Es una descripción condensada del tráfico que permite obtener los valores de  $\sigma$  en función de  $\rho$ .
  - Nueva función  $\sigma'(\rho)$  **equivalente** a  $\sigma(\rho)$ .
  - Compromiso entre traza del tráfico y parámetros del modelo.
- Cálculo de reserva óptima.
  - Usando los puntos envolventes se obtiene de forma rápida y eficiente la reserva óptima.
  - Algoritmo figura 4.11.
  - Coste  **$O(\log m)$** .

## Reserva de ancho de banda

- Evaluación experimental:
  - Se han implementado los algoritmos de puntos envolventes y optimización.
  - Se han usado 20 trazas de vídeo [Rose95a] de 40000 tramas (  $\frac{1}{2}$  hora).
  - El número de puntos envolventes está entre **34** y **84**.
  - ✓ Esto implica que el método es muy eficiente: *en **5 ó 6 iteraciones** se encuentra la solución óptima.*

## Reserva de ancho de banda

- Reserva en función del retraso (LAMBS1500)



33/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

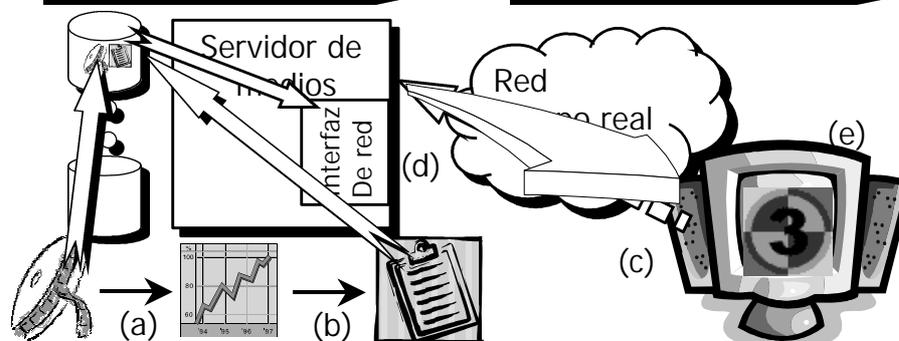
## Reserva de ancho de banda

Conclusiones:

- nuevo método para optimizar el ancho de banda online
- Aplicación al vídeo bajo demanda.

**1ª fase: Offline  $O(n^2)$**   
Vídeo al servidor

**2ª fase: Online  $O(\log m)$**   
Visualización



34/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

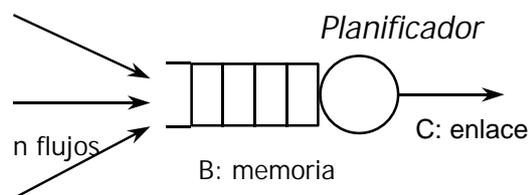
DISCA - UPV

## Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- **Optimización de la memoria en los nodos**
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

## Optimización memoria en nodos

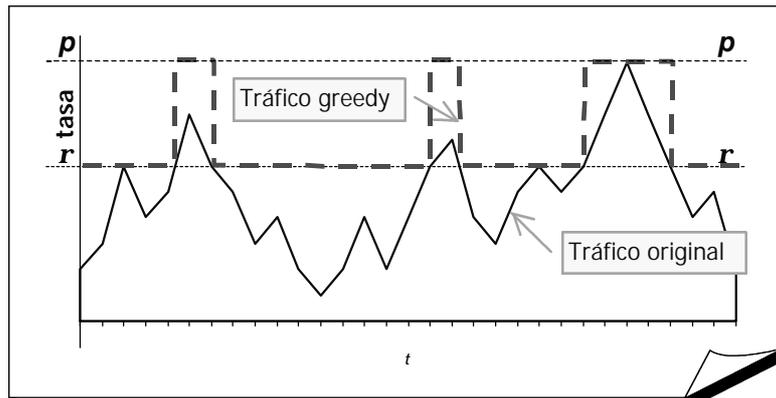
- Objetivo: minimizar la memoria total B.
  - Un nodo con enlace de capacidad C.
  - n flujos de entrada
  - Tráfico regulado a la entrada (*token bucket*)
  - Ancho de banda remanente  $\Rightarrow \sum_{i=1}^n R_i < C$



## Optimización memoria en nodos

Soluciones existentes: Elwalid [Elwalid95] y Presti [Presti99]

- Usan un modelo de tráfico greedy (ON-OFF)
- Se obtiene a partir de los parámetros token bucket:  $(\sigma, \rho, \rho)$



37/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Optimización memoria en nodos

- Nuevo método de optimizar

Basado en los puntos envolventes.

- Pocos puntos  $\Rightarrow$  Se pueden transmitir al nodo.
- Permiten calcular  $\sigma$  en función de  $\rho$ . Función  $\sigma(\rho)$ .

- Objetivo:

- Obtener la asignación de ancho de banda de cada canal  $c_i$  que minimiza el buffer total  $B$ .

$$\sum_{j=0}^n c_j = C \wedge c_j \geq R_j \quad \xrightarrow{\text{minimiza}} \quad B = \sum_{j=0}^n s_j(c_i)$$

- ¿Cómo?

- Mayor ganancia en canales con mayor pendiente .
- Se asigna por orden decreciente de pendientes hasta buffer remanente 0.

38/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

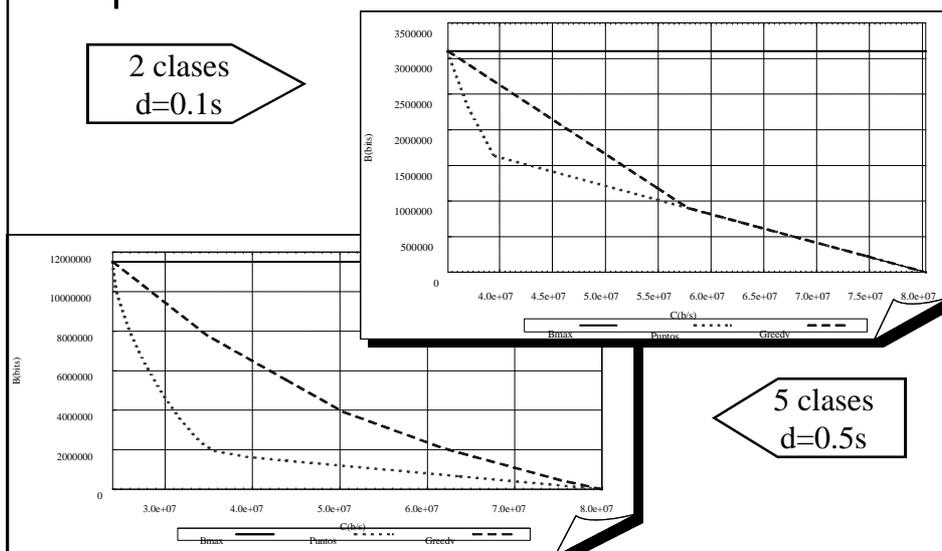
DISCA - UPV

## Optimización memoria en nodos

- Implementación
  - Algoritmo figura 5.5: Cálculo iterativo  $\Rightarrow$  no dinámico
  - Solución: Utilizar una tabla.
    - Funcionamiento dinámico.
    - Contiene los puntos de todos los canales
    - Implementable por hardware
  - Sólo hace falta enviar los puntos por encima de  $R_i$
- Evaluación
  - Comparación respecto esquema de Presti.
  - Se calcula B en función de C.

## Optimización memoria en nodos

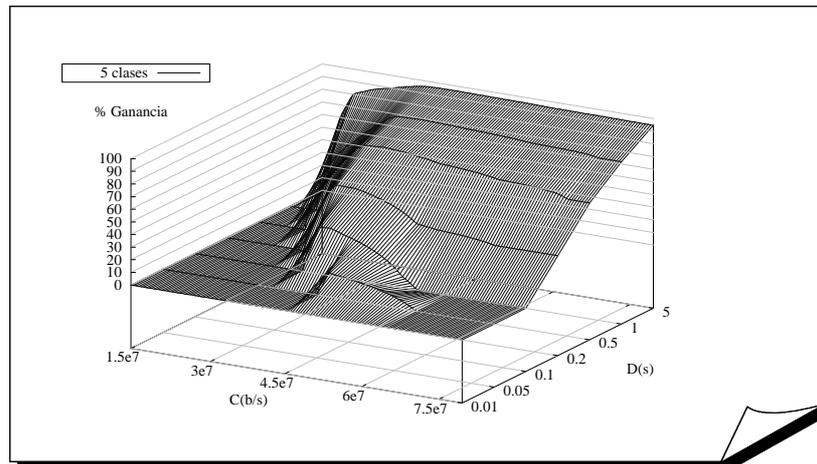
2 clases  
 $d=0.1s$



5 clases  
 $d=0.5s$

## Optimización memoria en nodos

- Ganancia 5 clases.



41/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Optimización memoria en nodos

- Aplicación a varios nodos
  - Problema no abordado por Presti y Elwalid.
    - El tráfico se distorsiona en la red
  - Caracterización de la distorsión en la red
    - Se establece una cota a la distorsión
    - Solución sub-óptima
  - Conformación del tráfico en la red
    - Utilización n-leaky bucket (no afecta el retraso [Cruz91b]).
  - Macrocanal
    - Agrupar tráfico mismo origen-destino
    - permite un balanceo entre ancho de banda y memoria.

42/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

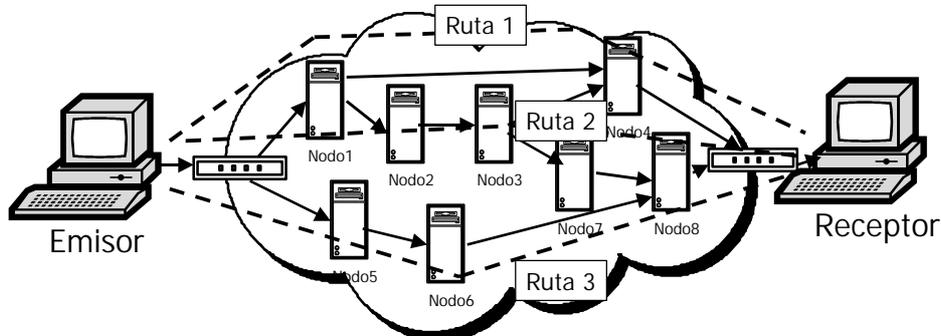
DISCA - UPV

## Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- **Reserva eficiente para canales de reserva**
- Conclusiones

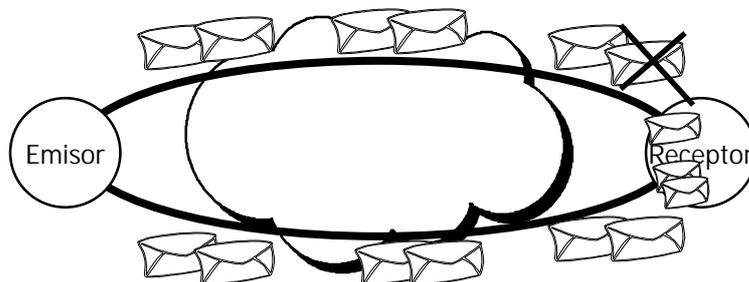
## Canales de reserva

- Objetivo
  - Proporcionar fiabilidad a la transmisión en tiempo real.
- ¿Cómo?
  - Redundancia en recursos



## Canales de reserva

- Múltiples canales activos [Ramanathan92][Kao94]
  - Redundancia activa
  - Los paquetes son enviados **simultáneamente** a través de todos los canales
  - **Inconveniente**: Costoso, todos los canales están en uso.

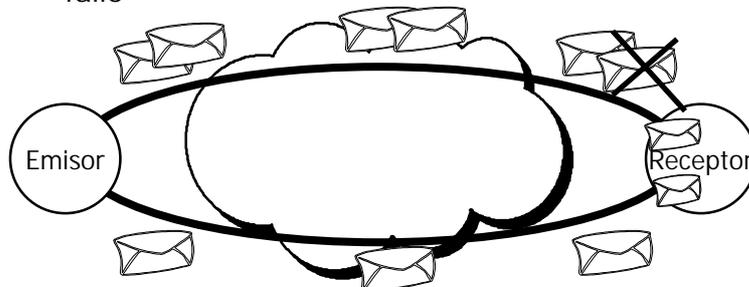


45/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Canales de reserva

- Activación en fallo [Banerjea93]
  - Redundancia pasiva
  - Backup se establece cuando hay **fallo** en el primario
  - Se requiere un mecanismo de detección de fallo.
  - **Ventaja**: Canal secundario sólo se usa cuando hay fallo



46/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

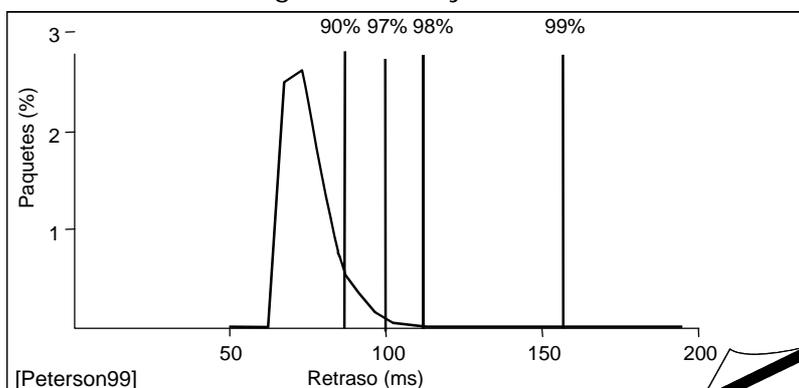
DISCA - UPV

## Canales de reserva

- Mejoras propuestas (bibliografía)
  - Reutilizar canal de reserva para tráfico no prioritario.
  - “Overbooking”[Zheng92]: Si alguno de los canales de backup se sabe que no se pueden activar simultáneamente se pueden reutilizar los recursos.

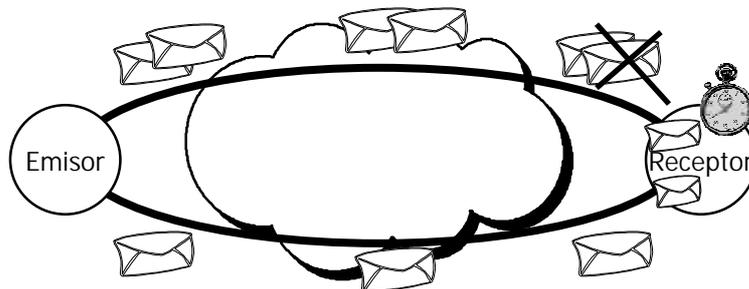
## Canales de reserva

- Base del nuevo esquema
  - Distribución de llegadas de paquetes.
  - Retraso más exigente  $\Rightarrow$  mayor ancho banda



## Canales de reserva

- Activación anticipada
  - **Detección de fallo:** Sospechar el fallo cuando un paquete se retrasa “demasiado”.
  - **Ventaja:** Implica una reducción en la reserva de recursos.



49/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Canales de reserva

- Retraso en los canales ( $d_{total}$ )

- Copia múltiple:

- $d_A = d_B$

- Activación en fallo

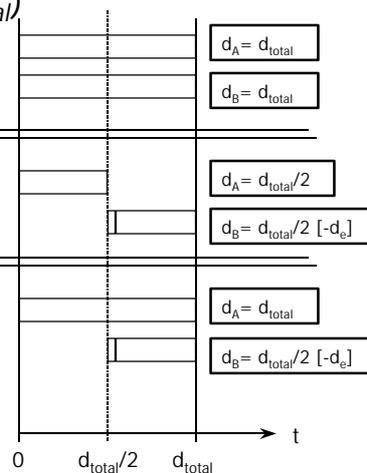
- $d_{total} = d_A + d_e + d_B$

- Activación anticipada

- $d_{total} = \max(d_A, d_f + d_e + d_B)$

- $d_f = d_A / 2$

- Se asume  $d_e$  cero.



50/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Canales de reserva

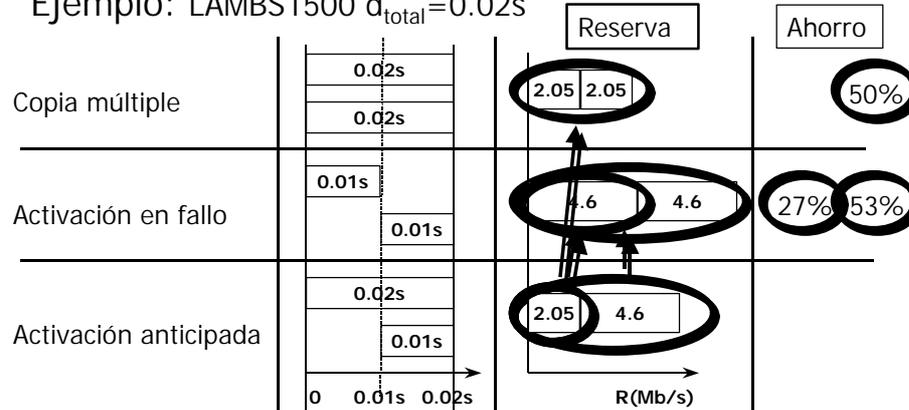
- ¿Cómo evaluar el nuevo esquema?
  - Dado un retraso  $d_{total}$ : ¿cuál es el uso de recursos?  
Comparación con los otros dos esquemas.
  - Concepto de “falsos fallos”.
    - Activación del canal de reserva cuando realmente no hay fallo.
- Dos tipos de evaluación
  - Analítica
    - Cálculo de la reserva de recursos
  - Experimental (simulación)
    - Objetivo: obtener la tasa de falsos fallos en función del tipo de tráfico y red.

## Canales de reserva

- Evaluación analítica
  - Se usan los métodos de cálculo de reserva visto
    - A partir de un retraso se obtiene la reserva óptima
  - Se usan tres tipos de redes.
    - **Red 1**: Red IP típica  $\Rightarrow$  3 nodos
    - **Red 2**: Red IP larga  $\Rightarrow$  9 nodos
    - **Red 3**: Red tipo ATM
    - El canal primario y secundario tienen los mismos parámetros
  - Carga: Se utiliza el tráfico MPEG de Rose.
    - **LAMBS**: VBR
    - **SOCCER**: VBR con grandes picos
    - **NEWS**: casi CBR

## Canales de reserva

Ejemplo: LAMBS1500  $d_{total}=0.02s$



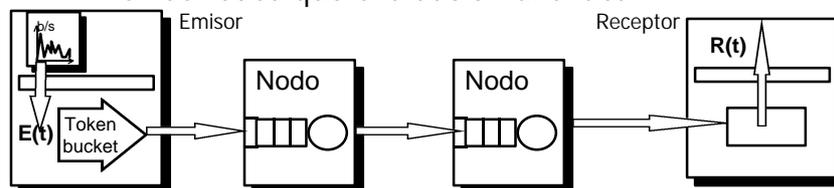
- Tasa de falsos fallos (TFF) = 0.04

## Canales de reserva

- Conclusiones analíticas
  - El nuevo esquema es un compromiso entre los dos
  - Ahorro de recursos está entre el 5 al 30% sobre activa en fallo
  - Considerando sólo canal primario: 10 al 55%.
  - Por tipo de tráfico (mayor a menor)
    - NEWS, LAMBS, y SOCCER.
  - Por redes:
    - Red 1 y 2 (IP) : muy similares. Ahorros elevados.
    - Red 3 (ATM) : Ahorro más reducido.  $\Rightarrow$  Tamaño paquete pequeño.
  - La TFF que sale es baja ( $< 0.084$ )

## Canales de reserva

- Evaluación experimental
  - **Objetivo:** Evaluar cuantos falsos fallos se producen.
    - Comprobar distribución de llegada de paquetes.
  - **RTNetSim:** Simulador de redes en C++.
    - Conformación tráfico como token bucket o leaky bucket.
    - Planificador WFQ.
    - Implementación parcial RSVP
    - Nivel de carga (0% al 100%)
  - Mismas redes que evaluación analítica

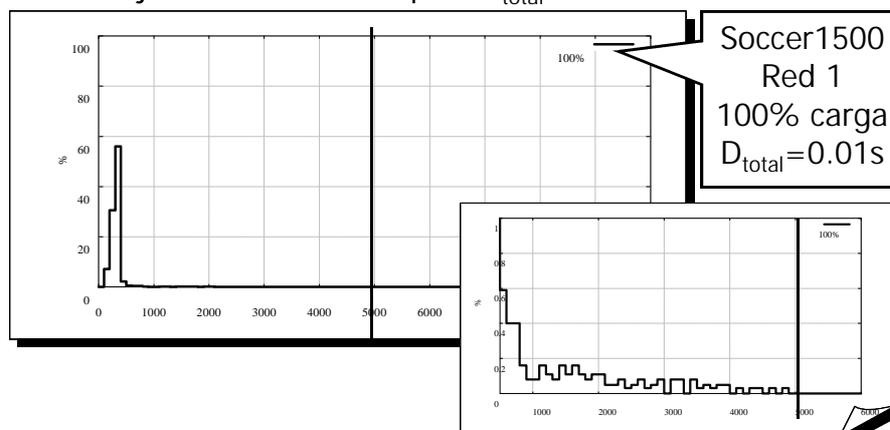


55/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Canales de reserva

- Resultados evaluación experimental
  - Objetivo: % tráfico supera  $d_{total}/2$ .



56/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

## Canales de reserva

### Análisis resultados

#### – **Token bucket**

- Redes 1 y 2 (tipo IP)
  - Paquetes llegan mucho antes.
  - Sólo hay **un** falso fallo con tráfico SOCCER.
- Red 3 (tipo ATM):
  - Los retrasos son muy bajos
  - Retrasos cerca modelo  $\Rightarrow$  Está más cerca del modelo flujo
  - Se producen más falsos fallos.
- Sólo cuando la red está muy cargada ( $>75\%$ ) se producen falsos fallos (tráfico SOCCER).

#### – **Leaky bucket**: No es práctico

- Se propone una mayor reducción de recursos

## Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- **Conclusiones**

## Conclusiones

- Dado un tráfico...
  - ¿Cómo obtener los parámetros del flujo?
  - Envolverte empírica
  - Comparación de tráfico
- Optimización de la reserva
  - Concepto de puntos envolventes
  - Nuevo método para optimizar ancho de banda
    - Acotado  $O(\log m)$
  - Optimización memoria en nodos
    - Mejora ampliamente el método basado en tráfico ON-OFF
  - Se plantea su aplicación a la red

## Conclusiones

- Fiabilidad para transmisión en tiempo real
  - Problema: gran uso de recursos
  - Se establece el esquema de activación anticipada
  - Se muestra que el ahorro de recursos es importante.
- Modelo Red ORNet
  - cómo implantar todos los esquemas vistos.
  - Aplicación al vídeo-bajo-demanda.

## Conclusiones

- Líneas de trabajo futuras
  - Aplicación puntos envolventes en servicio estadístico
  - Propiedades de los puntos envolventes.
    - Modelos de tráfico y,
    - caracterización de tipos de tráfico
  - Variación de los puntos envolventes en la red
  - Canales de reserva:
    - Se puede disminuir la reserva si se considera que el retraso del primer paquete es mínimo
  - Implementación
    - Implementar la red ORNet.



## Reserva Eficiente de Recursos en Redes para Transmisión en Tiempo Real

**Presentada Por:**

Enrique Hernández Orallo

**Dirigida Por:**

Dr. Joan Vila i Carbó

Valencia, 11 de junio de 2001.

