

December 2006

# Transmisión eficiente de flujos de video ante la convergencia digital

Ramiro García

*Instituto Tecnológico Autónomo de México*

José Incera

*Instituto Tecnológico Autónomo de México*

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/amcis2006>

## Recommended Citation

García, Ramiro and Incera, José, "Transmisión eficiente de flujos de video ante la convergencia digital" (2006). *AMCIS 2006 Proceedings*. 505.

<http://aisel.aisnet.org/amcis2006/505>

This material is brought to you by the Americas Conference on Information Systems (AMCIS) at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in AMCIS 2006 Proceedings by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact [elibrary@aisnet.org](mailto:elibrary@aisnet.org).

# Transmisión eficiente de flujos de video ante la convergencia digital

**Ramiro García**

Instituto Tecnológico Autónomo de México  
ramirogh@ieee.org

**José Incera**

Instituto Tecnológico Autónomo de México  
jincera@itam.mx

## RESUMEN

Los avances tecnológicos han acelerado el crecimiento de aplicaciones y servicios de voz, datos y video, lo que ha motivado a la convergencia de diversos servicios en el llamado *Triple Play*<sup>1</sup>. Este trabajo se enfoca en la transmisión eficiente de video en este tipo de redes. Específicamente, evaluamos el desempeño de flujos de video generado por el codec H.264/AVC adaptado para aprovechar las características de la arquitectura DiffServ en un contexto de convergencia digital. Esta adaptación consiste en un *marcado* que otorga prioridades relativas a las tramas de video generadas por el codec, de acuerdo a su importancia (a su contenido *semántico*) con el fin de proteger la calidad final del flujo en casos de congestión. Bajo distintas configuraciones de tráfico evaluadas, se demuestra que el marcado semántico propuesto permite una mejora notable en la calidad percibida del video.

## Palabras clave

H.264, AVC, triple play, convergencia digital, mapeo semántico, calidad de servicio.

# Digital Convergence and the Efficient Transmission of Video Flows

## ABSTRACT

Technological development has promoted the demand for voice, data, and video services. This trend has produced the so called Triple Play (voice, data, and video network services). This article studies the efficient transmission of video in this type of networks. Specifically, the article presents the evaluation of the performance of video flows generated by a modified codec H.26/AVC. This modification aimed to take advantage of the DiffServ architecture in the context of digital convergence. This modification allows to flag video packets generated by codec. Then the video packets can be handled according to its semantic content, which protects the quality of the flows in congestions cases. Tested for different traffic configurations, the proposed semantic mapping generated a notable improvement on the perceived quality of video transmissions.

## Key words

H.264, AVC, Triple Play, Digital Convergence, Semantic Mapping, Quality of Service.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años hemos observado un crecimiento y una redefinición en el portafolio de servicios de los operadores de redes de telecomunicaciones. Prácticamente todos los operadores que actualmente ofrecen servicios de voz (por ejemplo, telefonía), datos (por ejemplo, acceso a Internet) o video (por ejemplo, televisión por cable) utilizan tecnologías digitales en su infraestructura de transporte. Esta convergencia digital brinda hoy la oportunidad para expandir sus posibilidades de negocio al ampliar la gama de servicios que pueden ofrecer con la misma infraestructura. En el llamado *Triple Play*, un

---

<sup>1</sup> *Triple Play* es un término popular en redes utilizado para definir una estructura en la que coexisten flujos de voz, datos y video.

operador utiliza su red para ofrecer simultáneamente diversos servicios (voz, datos y video). Esta convergencia ha ido aún más lejos y ahora ha motivado la capacidad de proveer dichos servicios de manera inalámbrica y en total movilidad, esto es lo que se conoce como *Quadruple Play*. Este nuevo concepto permite que incluso la infraestructura de las redes inalámbricas como CDMA, GSM, o UMTS sea aprovechada por los operadores móviles y entrar en la competencia por capturar un mercado ávido por contar con aplicaciones multimedia en todo momento y en todo lugar (Red, 2006).

Además de su transformación en un formato digital, se requiere de otros elementos para que los diversos flujos puedan compartir la misma infraestructura de red. Entre ellos, los protocolos de comunicaciones son los responsables del transporte de la información a través de la red. En la actualidad, la pila de protocolos de comunicación dominante es, por mucho, la llamada pila TCP/IP (Tanenbaum, 2003). En este modelo, los equipos terminales y los nodos intermedios cuentan con un identificador único (dirección IP) y los flujos de información son fragmentados en *paquetes*. Cada paquete contiene la dirección del destinatario de la información transportada. Con ayuda del protocolo IP, el paquete encuentra su camino a través de la red hasta alcanzar su destino final. Sin embargo, el protocolo IP ofrece únicamente un servicio de entrega denominado de “mejor esfuerzo” (*Best Effort*, BE) en el que todos los paquetes compiten en condiciones iguales por los recursos de la red sin tener compromisos o hacer diferencias entre ellos (Clark y Fang, 1998). En este modelo, los usuarios que desean acceder a la red nunca son rechazados aún si la demanda excede eventualmente la capacidad. Conforme más usuarios acceden a estos recursos, el servicio ofrecido se va degradando progresivamente.

El modelo anterior era suficiente para cubrir las necesidades de la mayoría de las aplicaciones orientadas a datos, entorno para el que fue creado. Sin embargo, en las redes actuales en las que los datos convergen con flujos multimedia, este servicio resulta insuficiente pues los flujos de voz y video típicamente tienen requerimientos muy particulares de ancho de banda y, sobre todo, de tolerancia al retardo. Para poder soportar los requerimientos de estas aplicaciones, se han propuesto nuevos modelos de servicio. Entre ellos, la arquitectura más aceptada es la de Servicios Diferenciados (DiffServ) propuesta por Blake, Black, Carlson, Davies, Wang y Weiss (1998). En DiffServ, cada paquete es marcado en la frontera de la red y se le otorga un tratamiento especial en el interior de la red basado en su marca o etiqueta.

La transmisión de flujos multimedia, ya sea en tiempo real o no, es un servicio muy importante que ha incrementado su demanda y ha recibido especial atención en los últimos años. El H.264/AVC (ITU-T, 2003) es uno de los más recientes y prometedores codecs (Codificador-Decodificador) propuestos para este servicio. Para el presente trabajo hemos elegido este codec ya que ha sido diseñado principalmente para soportar una codificación robusta y eficiente, tiene un mejor desempeño en la compresión y un diseño que facilita su implementación en un amplio rango de plataformas. Un cuestionamiento natural que surge es ¿cómo se comporta el flujo multimedia generado por AVC en una arquitectura DiffServ? Más aún, ¿cómo podrían explotarse de mejor manera los servicios de DiffServ para un flujo AVC? Para aprovechar esta arquitectura se ha propuesto un esquema de codificación semántica. En este esquema, diferentes componentes de un flujo pueden recibir tratamiento preferencial en la red de acuerdo a la importancia relativa de su contenido.

Hay algunos trabajos que han evaluado el comportamiento de la codificación semántica en redes DiffServ. Medina (2001) estudió flujos multimedia de MPEG-2 en un amplio rango de configuraciones. A pesar de su popularidad, MPEG-2 es un codec que empieza a ser desplazado por otros más modernos y robustos, como H.264/AVC. Orozco y Ros (2004) han evaluado el comportamiento de la codificación semántica del flujo de H.264/AVC en una arquitectura DiffServ por simulación. El presente trabajo extiende los planteamientos de Orozco y Ros en dos direcciones. Por una parte, el presente trabajo utiliza una maqueta experimental real para evaluar el desempeño del marcado propuesto. Los resultados experimentales dan mayor certidumbre –y complementan- los obtenidos en un proceso de simulación como el utilizado por Orozco y Ros. En segundo lugar, los autores citados únicamente utilizan dos de los tres tipos de codificación disponibles en H.264/AVC. Como se verá más adelante, nosotros incorporamos los tres tipos, manteniendo una mayor coherencia con DiffServ.

## CALIDAD DE SERVICIO

Calidad de servicio (QoS) es la habilidad de los elementos de red (estación, enrutador, etc.) para distinguir entre distintos tipos de tráfico con el fin de darles un tratamiento particular a cada uno de ellos (Huston, 2000). Para ofrecer QoS, una red debe contemplar, además del ancho de banda requerido por la aplicación, otro tipo de variables como la tasa de paquetes perdidos, el retardo ó latencia y la variación de este retardo (Álvarez y González, 2005). En el marco de las redes basadas en la pila de protocolos TCP/IP (como Internet), se ha trabajado en varios modelos que permiten ofrecer un aprovisionamiento de QoS, entre los que destacan el modelo de Servicios Integrados (IntServ), y el de Servicios Diferenciados (DiffServ).

IntServ (Braden, Clark y Shenker, 1994) proporciona una solución de QoS extremo a extremo en términos de señalización, mantenimiento y aprovisionamiento de recursos en los elementos de la red mediante mecanismos de control de acceso y

reservación de recursos. Si bien puede ofrecer garantías estrictas de QoS, esta arquitectura tiene un serio problema de escalabilidad ya que para poder satisfacer los requerimientos solicitados, se debe almacenar información relacionada con los recursos utilizados por cada flujo que atraviesa el nodo en cuestión. Esto consume una cantidad muy importante de procesamiento y almacenamiento, que se incrementa proporcionalmente con el número de flujos en la red.

Debido a las limitaciones inherentes a IntServ, se propuso la arquitectura DiffServ. El modelo DiffServ (Blake et al., 1998) trata de resolver el problema de escalabilidad no ofreciendo QoS a nivel de flujos individuales, sino de *clases de servicio* (CoS) (Delfino y Rivero, 2003). Para distinguir a qué clase pertenece un paquete, éste es *marcado* en el campo ToS (*Type of Service*) del encabezado de IP. En la arquitectura DiffServ, este campo ha sido renombrado campo DSCP (*DiffServ Code Point*). Cada flujo individual se asocia a una clase de servicio y sus paquetes recibirán de los nodos de interconexión el mismo trato que los paquetes de otra aplicación asociados a la misma clase. Cada nodo de interconexión en la red decide qué tratamiento se da a cada CoS. Este tratamiento es llamado PHB (*Per Hop Behavior*). El problema de la escalabilidad en IntServ queda resuelto pues típicamente habrá muchas menos clases de servicio que flujos atravesando cada nodo. Sin embargo, este modelo no puede garantizar que los requerimientos de QoS sean satisfechos. El consenso general es que si la red está dimensionada apropiadamente, el modelo será capaz de proporcionar niveles de servicio satisfactorios en un muy alto porcentaje (Acosta e Incera, 2002).

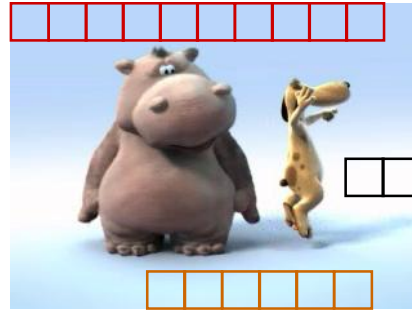
Uno de los estándares de PHB es el Reenvío Asegurado (AF) (Heinanen, Baker, Weiss y Wroclawski, 1999) el cual permite al proveedor de servicios ofrecer distintos niveles de aseguramiento de reenvío para los paquetes IP cumpliendo con una determinada tasa de transmisión para cada nodo. AF provee cuatro clases de reenvío con tres prioridades de descarte cada una, que definen la importancia relativa dentro de una clase AF. Estas prioridades de descarte usualmente se identifican con colores: “verde” para la menor probabilidad de descarte (mayor probabilidad de reenvío), “amarillo” para la intermedia y “rojo” para la mayor probabilidad de descarte. La transmisión de flujos multimedia es una aplicación que puede aprovechar el AF PHB propuesto por DiffServ, especialmente cuando se utiliza el marcado semántico.

Una forma eficiente de implementar el PHB AF en los nodos de conmutación, es a través del algoritmo RIO (*RED with IN/OUT*) propuesto por Clark y Fang (1998) el cual consiste en una adaptación del algoritmo RED (*Random Early Detection*) para gestionar adecuadamente paquetes que cumplen con las características de tráfico pactadas (*dentro -IN- del perfil*) o no (*fuera -OUT- del perfil*). RED evita la congestión controlando el promedio de ocupación de las colas y comparándolo contra dos umbrales. Dentro de esta región, los paquetes son descartados con una probabilidad dada por una función lineal de la ocupación de la cola (Floyd y Jacobson, 1993).

## COMPRESIÓN DE VIDEO

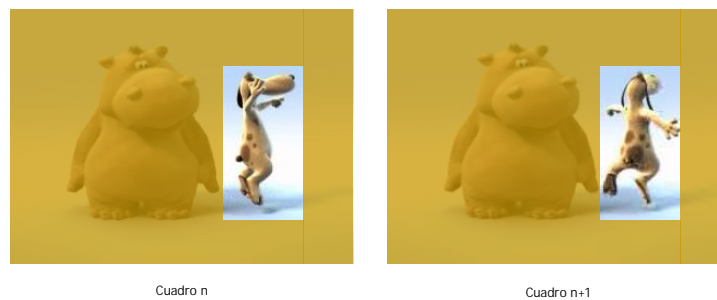
En los últimos años se ha visto un notable avance en las tecnologías digitales especialmente en aquellas que involucran la manipulación de video, entre las que se puede mencionar a la televisión digital, películas en formato DVD, video bajo demanda, video-conferencias, video-teléfonos, etc. El auge y difusión masivos de estas tecnologías dependen en gran medida de la capacidad de compresión que se pueda alcanzar manteniendo un determinado nivel de la calidad del video, además de conservar cierto ancho de banda para las aplicaciones cuya transmisión se realiza en redes, como el video bajo demanda. Los mecanismos de compresión de video, se basan en la eliminación de redundancia de una secuencia de cuadros o imágenes. Los cuadros de video tienen dos tipos de redundancia: espacial y temporal.

La redundancia espacial se aprecia dentro de un cuadro de video cuando una región (o bloque) es igual a una o más regiones contiguas. En la figura 1 se observa la redundancia espacial. Se han marcado diversas regiones contiguas que pueden ser tratadas por el codec para comprimir la imagen.



**Figura 1. Redundancia espacial**

La redundancia temporal ocurre entre cuadros consecutivos debido a que la diferencia entre un cuadro y el siguiente es normalmente muy pequeña. Como en la espacial, se utilizan bloques de un cuadro como referencia y sólo se consideran las diferencias entre los cuadros secundarios y los de referencia (Mohammed, 2003). Como ejemplo, en la figura 2 se aprecian dos cuadros consecutivos de un video. Se observa que la diferencia entre el primer cuadro y el siguiente es poca, por lo que la zona sombreada (redundante) es eliminada por el codec.



**Figura 2. Redundancia temporal**

Este tipo de procesamiento provee una alta tasa de compresión. Sin embargo, es muy vulnerable a la pérdida de paquetes en una red congestionada, pues si una trama de referencia se pierde, tampoco podrán reproducirse los cuadros que dependen de ella.

Algunos codecs han sido propuestos y estandarizados por el Moving Picture Experts Group (MPEG). MPEG-2 ha sido ampliamente utilizado para almacenar videos en formato DVD. Más recientemente, MPEG-4 fue propuesto para la transmisión de video sobre un amplio rango medios que tienen distintas capacidades de ancho de banda, como Internet y las redes celulares. A pesar de su popularidad, estos codecs presentan algunos problemas de escalabilidad y granularidad y se han propuesto nuevos codecs con mayores funcionalidades. Entre los más atractivos está MPEG-4 parte 10, también conocido como H.264/AVC (Advanced Video Coding), desarrollado en conjunto por el grupo de expertos de video de ISO y de ITU (ITU, 2001).

### **H.264/AVC**

El codec AVC tiene mecanismos avanzados para disimulación y recuperación rápida de errores. Además, es más eficiente que sus predecesores gracias a la mejora de muchos algoritmos en sus diferentes procesos. H.264 separa la información codificada en dos capas: la de codificación de video (Video Coding Layer -VCL) y la de adaptación de red (Network Adaptation Layer -NAL) (Wiegand, Sullivan, Bjontegaard y Luthra, 2003). VCL representa la información del video codificada y NAL realiza el formato de los datos contenidos en la VCL y organiza sus elementos con encabezados específicos. Esto hace posible transportar o almacenar video utilizando una amplia variedad de tecnologías.

Como otros estándares de la familia MPEG, este codec tiene tres tipos de cuadros: I, P y B. El tipo I indica que la codificación se ha realizado usando información interna, es decir, algunos elementos se codifican en relación a otros dentro del mismo cuadro. La codificación tipo P indica que, además de la codificación disponible en el tipo I, el cuadro se puede codificar por medio de compensación en relación a otro cuadro I. La codificación tipo B, utiliza, además de las codificaciones disponibles en el tipo P, cuadros anteriores y posteriores como referencia. Estas relaciones se ilustran en la figura 3 para el caso de codificación temporal. El cuadro  $I_0$  es la única referencia utilizada por el cuadro  $P_3$ . Los cuadros  $B_1$  y  $B_2$  utilizan como referencia tanto a  $I_0$  como a  $P_3$ .

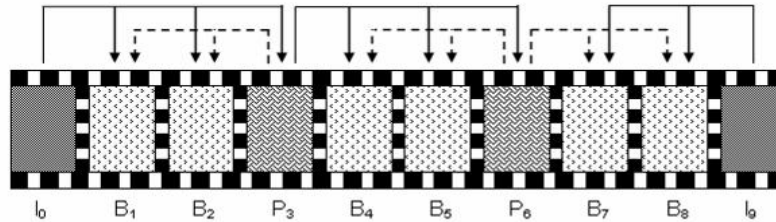


Figura 3. Uso de referencias temporales

Claramente se nota que la pérdida de cada tipo de cuadro tiene un impacto diferente en la calidad visual de la señal recibida. Un cuadro I perdido tiene un mayor impacto que un cuadro B ya que los cuadros I son utilizados como referencia para otros que no pueden ser reconstruidos aún si se reciben correctamente.

Cada cuadro de video puede ser dividido en regiones llamadas rebanadas. La intención es que cada rebanada se convierta en un paquete de red. Típicamente, las rebanadas se componen de macrobloques (conjuntos de pixels) contiguos, pero AVC incluye los conceptos de ordenamiento flexible de macrobloques (FMO) y de particionamiento de datos (DP). FMO permite crear macrobloques no contiguos y asignarlos a distintos grupos de rebanadas. Esto permite aplicar los métodos de disimulación de errores para limitar la degradación de calidad percibida en ambientes propensos a errores. (Wenger y Horowitz, 2002), pues es común que los errores se presenten en ráfagas. El particionamiento de datos radica en la separación de los datos del video codificado a un nivel muy bajo. Hay tres niveles jerárquicos de particiones: A (encabezados, tipos de macrobloques, parámetros de cuantización y vectores de movimiento), B (coeficientes internos) y C (coeficientes externos). Las tipo A son las particiones más importantes, las B son las intermedias y las C son las menos importantes.

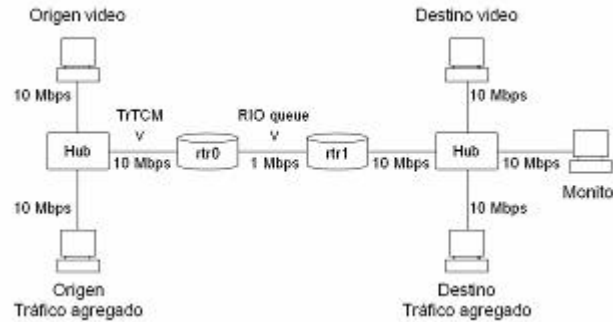
En resumen, H.264/AVC proporciona distintos tipos de jerarquización que pueden ser aprovechados para realizar un marcado semántico del flujo de video para un ambiente DiffServ. En la Tabla 1 presentamos la relación de mapeo utilizada entre los distintos elementos semánticos de AVC y las probabilidades de descarte existentes en el PHB AF. Este mapeo fue inicialmente propuesto por Orozco y Ros (2004) y extendido por García (2006).

Elemento	Estrategia de marcado
<b>Rebanadas</b>	Rebanadas I à verde Rebanadas P à amarillo Rebanadas B à rojo
<b>FMO</b>	Grupo de rebanadas en el centro à verde Grupo de rebanadas en las orillas à amarillo
<b>DP</b>	Partición tipo A à verde Partición tipo B à amarillo Partición tipo C à rojo

Tabla 1. Resumen de estrategias de marcado para H.264/AVC

**METODOLOGIA**

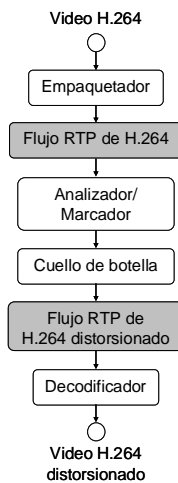
Nuestro estudio pretende evaluar el desempeño de flujos de video generado por el codec H.264/AVC adaptado para aprovechar las características de la arquitectura DiffServ en un contexto de convergencia digital. La idea es confrontar los flujos de video marcados semánticamente con otros flujos que compiten por los recursos de la red bajo distintos escenarios de congestión. En esta sección describimos la plataforma experimental utilizada y presentamos algunos de nuestros resultados. Las particularidades de la metodología se describen en (García, 2006). La topología utilizada se muestra en la figura 4.



**Figura 4. Maqueta experimental**

El servidor es responsable de producir el formato H.264 y enviar el video a los clientes. Se utilizó el programa QuickTime© (www.apple.com) para el servidor y el cliente. El servidor se ejecutó en una Apple© Mac mini con el sistema operativo Tiger©. Otro par de computadoras fueron utilizadas como inyector de tráfico para introducir perturbaciones en el flujo de evaluación. La arquitectura DiffServ se implementó en un enrutador con un sistema operativo FreeBSD. Este equipo clasifica y mide el tráfico en la interfaz de entrada e implementa el AF PHB con RIO en la interfaz de salida. Para realizar el marcado semántico, se utilizó Netgraph (Elischer y Cobbs, 2005) el cual permite recibir, filtrar, capturar, editar y/o reenviar paquetes.

La estrategia de evaluación que se siguió se esquematiza en la figura 5. El punto de partida es una secuencia de video de H.264 que inicia su transmisión desde el servidor en paquetes RTP cuando el cliente solicita el video. Enseguida se analiza la cadena de bits, se identifican las rebanadas y se aplica la estrategia de marcado mencionada en la sección anterior. En el tercer bloque se induce un cuello de botella en el que el flujo compite por los recursos de la red con paquetes de otros flujos, lo que provoca distorsión en el video. Finalmente, el flujo de bits distorsionado es decodificado y desplegado o almacenado en la computadora cliente.



**Figura 5. Proceso de evaluación**

Las métricas de evaluación de QoS de nuestro interés fueron las pérdidas de los paquetes y los descartes de paquetes marcados. Ya que la intención de un video es que sea observado por personas, medimos la calidad subjetiva por el método del promedio de calificaciones de opinión (Mean-Opinion Score –MOS); para la evaluación MOS cada persona estima la calidad del video en una escala Likert de cinco puntos, donde el valor más pequeño significa una escasa visibilidad del video y la mayor, un video muy cercano al original (ITU, 1996).

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**Red Best Effort**

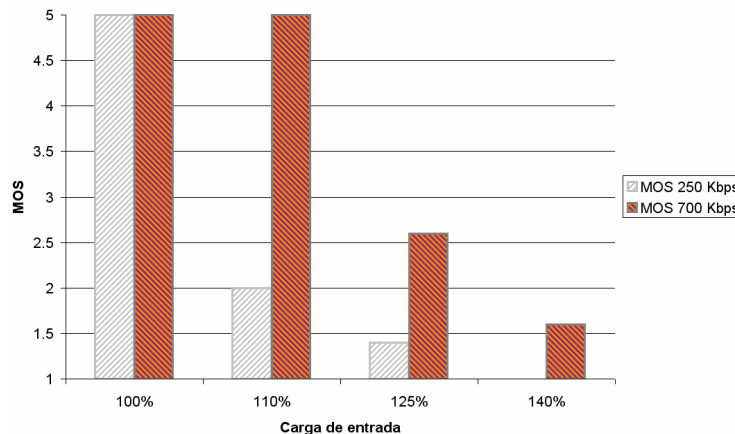
Para tener una referencia de base, durante el primer experimento no se activaron los mecanismos de QoS ni el marcado semántico del flujo de video, es decir, se trabajó con un servicio *Best Effort*. La secuencia de video tenía una duración de 18 s. y se transmitió con dos tasas distintas: 250 y 700 kbps. El tráfico perturbador se ajustó para que en cada caso se obtuviera como carga total ofrecida, el 100%, 110% 125% y 140% de la capacidad del cuello de botella (1 Mbps). Se eligieron estas tasas, pues lo que se busca es identificar cómo se afecta el flujo de video bajo condiciones de congestión.

La tabla 3 muestra la tasa de pérdidas del flujo multimedia obtenidas. Como se puede observar, cuando se tiene una carga de entrada de 100%, la capacidad del enlace es suficiente para cubrir las demandas de la tasa de transmisión del video y del tráfico agregado, por lo que no hay pérdidas. Sin embargo, al incrementar el flujo del tráfico agregado la capacidad del enlace ya no es suficiente y se inicia el descarte de paquetes hasta alcanzar niveles de 70.9% para un escenario de congestión severa (140% de capacidad). En la figura 6 se observa el impacto de estas pérdidas en la evaluación subjetiva. La degradación en la percepción de calidad es bastante notoria aún con tasas de pérdida de 7.8% en el caso de video a 250 kbps.

El marcado semántico y la implementación de la arquitectura DiffServ sólo tienen sentido utilizarlos cuando existe sobrecarga en la capacidad de los enlaces de la red. Si se utilizan sin niveles de congestión, se perderían paquetes innecesariamente. En nuestras pruebas hemos creado sobrecarga para incentivar el dimensionamiento y observar los resultados ante pérdidas selectivas de paquetes.

CARGA DE ENTRADA	VIDEO 250 KBPS	VIDEO 700 KBPS
100 %	0.00 %	0.00 %
110 %	7.80 %	0.00 %
125 %	63.40 %	13.20 %
140 %	70.90 %	38.80 %

**Tabla 3. Pérdidas del flujo multimedia con BE**



**Figura 6. Calificación MOS de videos con BE**

**Protección del flujo multimedia**

Cuando se utiliza el PHB AF de DiffServ, se negocia (o “asegura”) un cierto ancho de banda para la clase que desea ser protegida. En los escenarios subsecuentes, esta “tasa de suscripción” se denota como “S” y se expresa como un porcentaje del



ancho de banda disponible en el cuello de botella. Por su parte, la carga ofrecida en el cuello de botella será denotada por "C".

Contando con una infraestructura de QoS, en una primera instancia se pensaría en proteger el flujo multimedia del tráfico perturbador. Bajo esta óptica, el video es considerado el flujo de mayor importancia en la red y todos sus paquetes se etiquetan como "verdes" (es decir, baja probabilidad de descarte), mientras que el resto de paquetes es marcado como "rojo". Nuestro segundo banco de evaluaciones siguió este enfoque, arrojando los resultados que se muestran a continuación. La gráfica de la figura 7 muestra cómo se distribuye la pérdida de los paquetes descartados para un nivel de carga ofrecida  $C = 110\%$ . Cuando un paquete "verde" está fuera del perfil (OUT), éste es remarcado como amarillo, aumentando su probabilidad de descarte. Como referencia, se realizó un experimento en el que se marcaron y midieron los paquetes del flujo multimedia pero no se negoció una tasa de suscripción. En este caso, reportado en la primera columna de la figura, el porcentaje de paquetes perdidos se distribuye equitativamente entre las tres clases. Obsérvese que para  $S = 30\%$  y  $S = 60\%$ , los paquetes "verdes" casi no sufrieron pérdidas, y para  $S = 90\%$  y  $120\%$  las pérdidas de los paquetes "verdes" son notablemente menores que para el caso BE y que para las observadas en las otras dos clases.

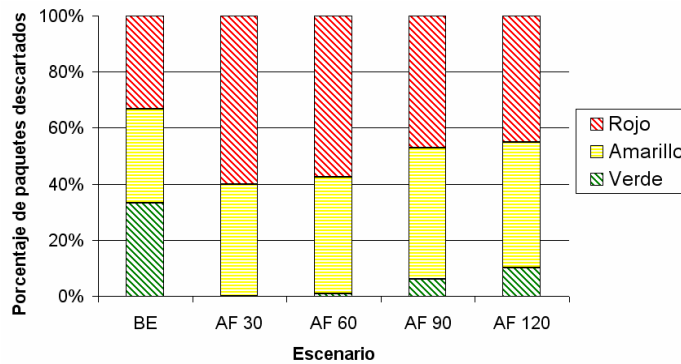


Figura 7. Paquetes descartados para una Carga en la red  $C = 110\%$

Claramente, esta configuración está protegiendo al flujo multimedia del tráfico perturbador. Para observar su efecto en las evaluaciones subjetivas, se presentan en la figura 8 las calificaciones MOS para este caso junto con las del escenario similar bajo el servicio BE (a una tasa de 250 kbps) mostrado anteriormente. Es notable cómo se mantiene la calificación MOS con el máximo valor en este caso.

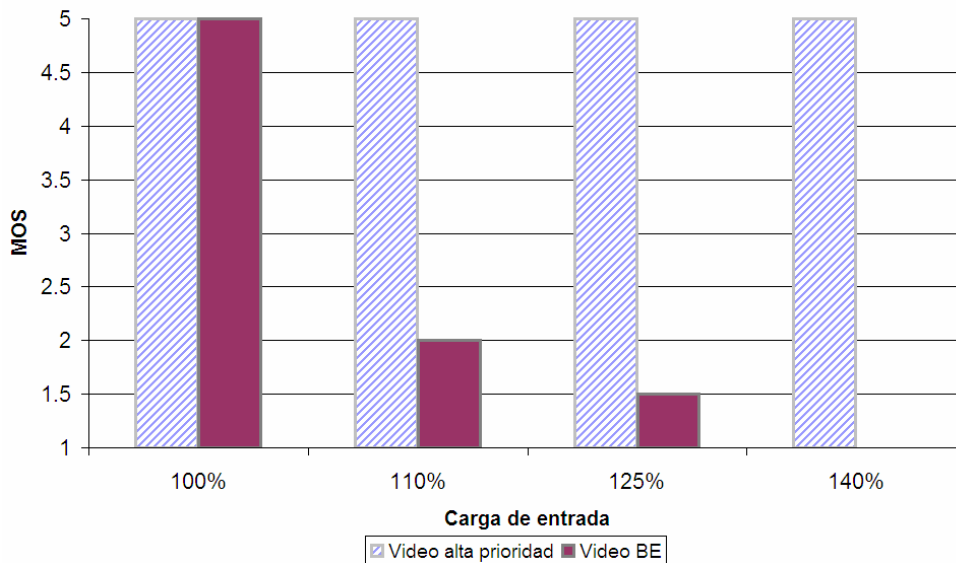


Figura 8. Calificación MOS del video de alta prioridad

Los resultados anteriores muestran la efectividad de otorgar *QoS* a través de una arquitectura DiffServ a los paquetes de alta prioridad. Sin embargo, en un ambiente de convergencia digital, éste no es un escenario realista, pues se está considerando implícitamente que las aplicaciones orientadas a datos, incluso aquellas de misión crítica, tienen una precedencia inferior a la del flujo multimedia. Así mismo, tampoco se está tomando en cuenta el efecto que tendrán flujos de alta prioridad (pertenecientes a la misma clase de servicio) compitiendo por los recursos limitados de la red. Hemos evaluado estos escenarios y hemos encontrado que la calidad percibida bajo estas condiciones, se puede degradar notablemente. Por limitaciones de espacio no se presentan estos resultados, pero pueden ser consultados en (García, 2006).

### Protección del flujo multimedia con marcado semántico

No es posible prescindir del tráfico de datos en una organización ni es deseable degradar su desempeño; además, los flujos multimedia son cada día más importantes en el portafolio de servicios de las organizaciones. Por ello, aún bajo una arquitectura convergente que ofrezca *QoS*, es probable que nos encontremos ante un escenario en el que los flujos de alta prioridad agoten los recursos asignados a ellos y sufran una degradación en la calidad ofrecida por la red. Para el caso de flujos multimedia que nos ocupa en este artículo, éste es un escenario apropiado para el marcado semántico: bajo condiciones de congestión, el flujo multimedia podrá indicar aquellos paquetes que deberán ser descartados preferentemente.

Con el fin de evaluar este escenario, el flujo de video fue marcado siguiendo la relación mostrada en la Tabla 1 y el tráfico perturbador fue marcado como tráfico de alta prioridad (“verde”) en un escenario, y de baja prioridad (“rojo”) en otro. La figura 9 presenta los resultados de estas pruebas junto con la obtenida en el escenario base (*Red Best Effort*).

Con el marcado semántico compitiendo con tráfico “rojo” se obtiene un rendimiento superior al obtenido bajo el servicio de BE; compitiendo con tráfico “verde”, el flujo multimedia disminuye su rendimiento ya que el tráfico agregado tiene mayor prioridad. Sin embargo, bajo condiciones de severa congestión ( $C=125\%$  y  $140\%$ ), el rendimiento del flujo multimedia es ligeramente superior al obtenido con el servicio BE. Lo que es relevante aquí, es que la pérdida de paquetes del tráfico agregado (y que tendría importancia en un ambiente convergente), se distribuyó más equitativamente con el flujo multimedia.

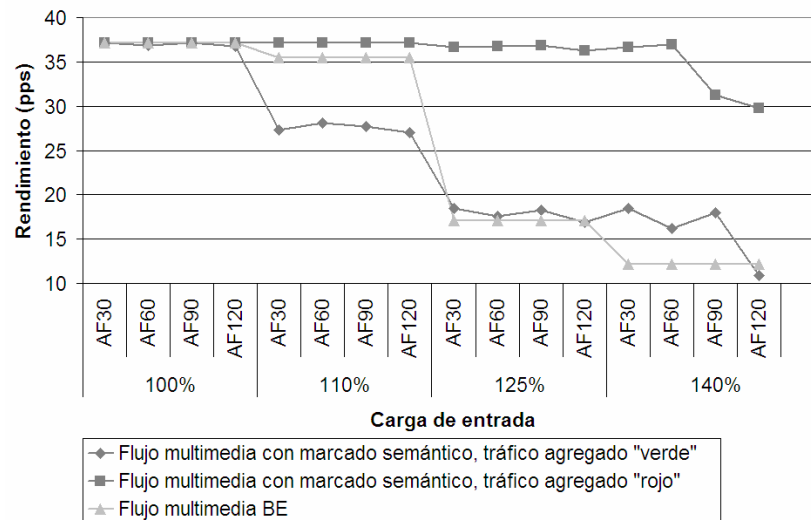


Figura 9. Rendimiento del flujo multimedia con marcado semántico

### CONCLUSIONES

El reto de ofrecer servicios de *Triple Play* está asociado con los modelos de negocio de cada operador, la región en la que ofrecen sus servicios y la demanda de los clientes pero, sin duda, la transmisión de video es una de las aplicaciones más atractivas. Esto ha motivado, por un lado, el desarrollo de codecs sofisticados que hagan un uso eficiente de los medios de transmisión, y por el otro, la adaptación, mediante mecanismos de *QoS*, de infraestructuras de red que no fueron diseñadas originalmente para soportar flujos de video, como las redes celulares o las redes IP.

En el presente trabajo, hemos utilizado una maqueta experimental con DiffServ, la arquitectura de *QoS* más aceptada para redes IP, para evaluar flujos de video generados por un codec H.264/AVC y sujetos a distintas condiciones de congestión. El codec H.264/AVC es uno de los más modernos, robustos y eficientes que se han propuesto, por lo que se espera tenga una

gran penetración en los próximos años. En este trabajo, se ha hecho un mapeo de los distintos niveles jerárquicos de H.264/AVC a prioridades relativas de descarte existentes en el servicio AF de DiffServ (*mapeo semántico*). Este enfoque permite, por un lado, hacer un uso más eficiente de la infraestructura de red, pero sobre todo, permite que el usuario (más precisamente, la fuente de video) decida qué componentes del flujo de video deberían ser descartados en primer término en caso de encontrar condiciones de congestión, protegiendo de esta manera la calidad *percibida* (o subjetiva) del video recibido.

Para dar una idea clara del tipo de servicios que puede esperarse en una arquitectura DiffServ, presentamos resultados de tres escenarios distintos: el primero, como referencia, en una red sin QoS, llamada *Best Effort* (BE); el segundo aplicando protección únicamente al flujo de video; y el tercero, realizando el marcado semántico al existir congestión también entre los flujos de alta prioridad. Los resultados obtenidos, y que pueden considerarse como la aportación más importante de este trabajo, pueden resumirse como *i*) una arquitectura DiffServ efectivamente puede proteger flujos de alta prioridad. En el caso de video, la calidad subjetiva, medida con la técnica MOS, es muy aceptable aún bajo condiciones de congestión severa; *ii*) cuando hay condiciones de competencia (congestión) aún entre los flujos de alta prioridad, el marcado semántico protege eficientemente los flujos de video, mejorando la calidad que se obtendría en una red BE. Sin embargo, ante condiciones severas de congestión, la tasa de pérdida de paquetes con alto contenido semántico sería suficientemente elevada como para degradar seriamente la calidad del video. Por consiguiente, aún contando con mecanismos de QoS y de marcado semántico, es responsabilidad del administrador de la red el dimensionar su infraestructura apropiadamente. Los mecanismos aquí expuestos deben aplicarse en un rango de operación de congestión ligera a media.

Una segunda contribución de este trabajo consiste en validar y extender los resultados presentados en trabajos anteriores en un ambiente simulado. Es ampliamente sabido que los escenarios por simulación pueden ser poco confiables debido a los supuestos implícitos en los modelos utilizados por la herramienta de simulación.

Los resultados aquí presentados abren varias líneas de investigación futura. En primer término, no se ha estudiado a detalle un escenario en el que varios flujos de video, todos ellos siguiendo la propuesta de marcado semántico compitan por los recursos limitados de la red. Este estudio podría sugerir nuevas formas de explotar el marcado semántico a distintas clases dentro del servicio AF de DiffServ. En segundo lugar, se debe estudiar con mayor profundidad la influencia que tiene el marcado semántico en otras estructuras del codec H.264/AVC, notablemente en el marcado selectivo de macro-bloques y particiones. Finalmente, estamos trabajando en un modelo en el que, dadas las métricas objetivas (tasa de pérdida, tasa de recepción) y subjetivas (MOS) del flujo recibido, el emisor pueda adaptar dinámicamente las características del codec (o de su marcado semántico) para poder explotar de la manera más eficiente posible los recursos de la red, protegiendo, al mismo tiempo, los flujos más sensibles.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado parcialmente por el Laboratorio Franco-Mexicano de Informática bajo el proyecto “Mecanismos inteligentes para la gestión y operación eficiente de redes IP”.

Deseamos agradecer las valiosas sugerencias de los revisores anónimos, las cuales han contribuido a mejorar este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Acosta, M., Incera, J. (2002) Aprovechamiento de calidad de servicio en una red pública IP, *Memorias 13ª Conferencia IEEE ROCC*, Acapulco, México, 2002.
2. Álvarez, S., González, A. (2005) Estudio y configuración de calidad de servicio para protocolos IPv4 e IPv6 en una red de fibra óptica WDM. *Rev. Fac. Ing. - Univ. Tarapacá*, vol. 13 N° 3, 2005, pp. 104-113. Chile. <http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v13n3/art15.pdf>
3. Blake, S., Black, D., Carlson M., Davies E., Wang, Z., Weiss W. (1998) An architecture for Differentiated Services, *Internet Standards Track RFC 2475*, IETF.
4. Braden, R., Clark, D., Shenker, S., (1994) RFC 1633. Integrated Services in the Internet Architecture.
5. Clark, D, Fang, W. (1998) Explicit Allocation of Best Effort Packet Delivery Service, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 6, 4, 362—373.

6. Delfino, A., Rivero, S. (2003). DiffServ: Servicios Diferenciados. *Monografía de evaluación de performance en redes de telecomunicaciones*. Instituto de Ingeniería eléctrica. Uruguay. [http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/perfredes/trabajos/trabajos\\_2003/diffserv/Trabajo%20Final.pdf](http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/perfredes/trabajos/trabajos_2003/diffserv/Trabajo%20Final.pdf)
7. Elischer, J., Cobbs, A., Netgraph, <http://www.elischer.org/netgraph/>
8. Floyd, S., Jacobson, V., (1993) Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1, 4, 397-413.
9. García, R., (2006). Reporte Técnico 01-0206. Mapeo semántico del codec de video H.264/AVC para una arquitectura de Servicios Diferenciados y evaluación de desempeño. Departamento de Sistemas Digitales, ITAM. Febrero, D.F. México.
10. Heinanen, J., Baker, F., Weiss, W., Wroclawski, J., (1999) Assured Forwarding PHB Group, *Internet Standards Track RFC 2597*
11. Huston, G., (2000) *Internet Performance Survival Guide*, John Wiley & Sons
12. ITU (1996) Recomendación ITU-T P.800, *Methods for Subjective determination of transmission quality*
13. ITU (2001) Performance Evaluation of H.26L, TML 8 vs. H.263++ and MPEG-4.
14. ITU-T (2003) H.264 Recommendation, Advanced video coding for generic audio visual services.
15. Medina, O. (2001) Étude des algorithmes d'attribution de priorités dans un Internet à differentiation de Services, PhD thesis, *U. of Rennes-1*, Rennes, Francia.
16. Orozco, J. and Ros, D. (2004) DiffServ-Aware Streaming of H.264 Video. *Proceedings of the 14th International Packet Video Workshop (PV2004)*, Irvine, CA, EE.UU.
17. Red (2006), La regulación, asignatura pendiente. Enero, D.F., México. <http://www.red.com.mx/index.php?gadget=StaticPage&action=Page&id=40>
18. Tanenbaum, A. (2003) *Redes de computadoras*, 532-556. Pearson Educación, México.
19. Wiegand, T., Sullivan, G., Bjontegaard, G., Ultra, A. (2003) Overview of the H.264/AVC video coding standard, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*
20. Wenger, S., Horowitz, M. (2002) Flexible macroblock ordering; a new error resilience tool for IP based video, in *Proceedings of IWDC 2002*, Septiembre, Capri, Italia.