

# Mejorando el rendimiento y QoS en Wi-Fi con Sintonización de Parámetros EDCA 802.11e

Santiago Pérez, Higinio Facchini, G. Mercado, Carlos Taffernaberry, Luis Bisaro

Grupo de Investigación y Desarrollo en TICs (GRID TICs)  
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza  
([santiagocp.higiniofac.gmercado.carlos\\_taffe.lbisaro@frm.utn.edu.ar](mailto:santiagocp.higiniofac.gmercado.carlos_taffe.lbisaro@frm.utn.edu.ar))

**Resumen.** Las WLAN basadas en IEEE 802.11 se han vuelto las más populares. Corrientemente, la mayor parte del tráfico transportado por estas redes está compuesto por servicios tradicionales como web browsing, e-mail o transferencia de archivos. Sin embargo, las llamadas de voz sobre Internet (VoIP), y otros servicios de streaming o interactivos como video o juegos en tiempo real, tendrán un importante rol en las redes wireless multiservicio del futuro. En orden a satisfacer estos requerimientos, la tecnología WLAN evoluciona en dos claras direcciones: i) experimentando maximizar la utilización del canal wireless con nuevas especificaciones PHY, y ii) mejorando los mecanismos de diferenciación de tráfico a nivel MAC. EDCA 802.11e provee diferenciación de tráfico, clasificándolos en diferentes Categorías de Acceso (ACs), donde cada una tiene sus propios parámetros MAC estáticos por defecto. Más recientemente, han surgido propuestas con el objeto de seleccionar dinámicamente los parámetros MAC óptimos, que permiten mejores resultados de rendimiento, y simultáneamente el cumplimiento de consignas de QoS. En el trabajo se propone un algoritmo de sintonización, que llamaremos MTDA (Algoritmo de Diferenciación de Tráfico Múltiple) y que introduce importantes mejoras a los antecedentes. Se experimentó su funcionamiento por simulación con Redes de Petri, en escenarios más realistas, verificando su inicialización efectiva, rápida convergencia, y la diferenciación eficiente de múltiples tráficos wireless. El presente trabajo desarrolla sucesivamente los siguientes apartados: 1) Introducción, 2) Modelo y Escenarios de Simulación, 3) Algoritmo de Sintonización MTDA, 4) Ensayo Experimental del Algoritmo MTDA y 5) Conclusiones y aportes.

**Palabras claves:** Sintonización, EDCA, Wireless 802.11,

## 1 Introducción

La provisión de QoS (Quality of Service) para las aplicaciones de capa superior es uno de los más grandes desafíos que una capa MAC wireless debería soportar. En particular, los enlaces wireless tienen características tales como altos niveles de pérdidas, ráfagas de pérdidas de tramas, alta latencia y jitter. Hay algunas formas de caracterizar la QoS a través de requerimientos estrictos que se expresan en términos

de valores cuantitativos tales como velocidad de datos, pérdidas de rendimiento, límites de retardos y límites de jitter.

### 1.1 802.11e: Soporte de QoS para WLANs

En DCF (802.11 Distributed Coordination Function), solo se provee el servicio de mejor esfuerzo [1]. Las aplicaciones multimedia limitadas en tiempo (por ejemplo, voz sobre IP) requieren ciertas garantías de ancho de banda, retardo y jitter. El punto es que con DCF, todas las estaciones compiten por el canal con la misma prioridad. No hay mecanismo de diferenciación para proveer mejor servicio para el tráfico multimedia de tiempo real que para las aplicaciones de datos. Por otro lado, en DCF no se especifica ningún mecanismo de control de admisión. Cuando la carga de tráfico es muy alta, la performance puede degradarse considerablemente.

Las limitaciones de QoS mencionadas arriba de DCF motivaron numerosos esfuerzos de investigación para mejorar la performance MAC, que se estandarizaron con la incorporación de EDCA 802.11e [1]. Con este estándar se propuso una nueva función de capa MAC llamada la función de coordinación híbrida (HCF). HCF usa un método de acceso al canal basado en la contención, también llamado acceso al canal distribuido realzado (EDCA), que opera concurrentemente con un método de acceso al canal controlado HCF basado en polling (HCCA). El AP y aquellas STAs que implementan las facilidades de QoS son llamadas AP con QoS realizadas (QAP) y STAs con QoS realizadas (QSTAs), respectivamente.

### 1.2 EDCA de 802.11e

Antes de entrar en la capa MAC, cada paquete de datos recibido desde la capa superior tiene asignado un valor de prioridad de usuario específico. En la capa MAC, EDCA introduce cuatro diferentes colas first-in first-out (FIFO), llamadas ACs. Cada paquete de datos desde la capa superior debería estar mapeado en una AC correspondiente. Diferentes clases de aplicaciones (por ejemplo, tráfico background, tráfico de mejor esfuerzo (best effort), tráfico de video y tráfico de voz) pueden estar dirigidos a diferentes ACs. Cada AC se comporta como una simple entidad DCF compitiendo con sus propios parámetros de contención ( $CW_{min}[AC]$ ,  $CW_{max}[AC]$ ,  $AIFS[AC]$  y  $TXOP_{Limit}[AC]$ ), los cuales son anunciados por el QAP periódicamente en tramas beacon. Básicamente, a más pequeño los valores de  $CW_{min}[AC]$ ,  $CW_{max}[AC]$ , y  $AIFS[AC]$ , más cortos los retardos de acceso de canal para el correspondiente AC, y más alta la prioridad para acceder al medio (Fig. 1).

En EDCA se introduce un nuevo tipo de IFS, el IFS de arbitrario (arbitrary IFS-AIFS), en lugar de DIFS en DCF. Cada AIFS tiene un intervalo IFS con longitudes de arbitrio definidas como:

$$AIFS[AC] = SIFS + AIFSN[AC] \times slot\ time,$$

donde  $AIFSN[AC]$  es el número IFS de arbitrio.

También, está previsto un mecanismo de control de admisión, basado en contención, en 802.11e que necesitan soportar tanto el QAP y las QSTAs.

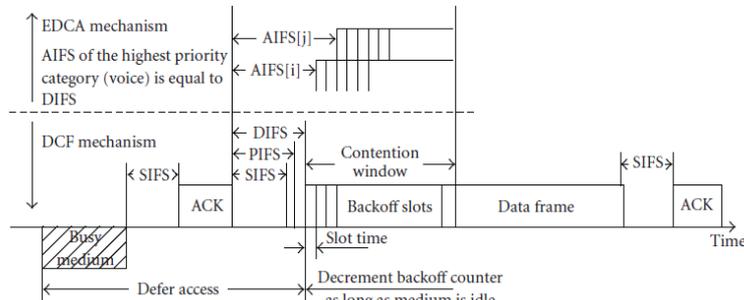


Fig. 1 Relaciones de temporización en DCF y EDCA (Fuente: IEEE Std. 802.11 2007)

## 2 Modelo y Escenarios de Simulación

Con el objeto de evaluar experimentalmente el mecanismo EDCA 802.11e, se adoptó un modelo de simulación implementado en Redes de Actividades Estocásticas Jerárquicas (HSAN) [2], que se ejecuta sobre el simulador Möbius [3]. Las HSAN son una versión extendida de las Redes de Petri. Este modelo comprende una implementación precisa y detallada de una QSTA con la función EDCA asociada, considerando tanto su perspectiva funcional y temporal.

Además, y desde el punto de vista de la modelación, el modelo también exhibe una importante flexibilidad en los siguientes aspectos: i) Facilidad para incluir modificaciones o refinamientos, ii) Pueden obtenerse un gran número de medidas de performance de diferentes tipos, desde el mismo modelo sin modificaciones estructurales, iii) El modelo puede ser usado como una estructura base para construir modelos más complejos y de más alto nivel. Justamente, una ventaja importante, para evitar el proceso de construir un modelo de red para cada uno de los escenarios de simulación, es que el modelo adoptado representa una simple estación que soporta QoS. Este modelo puede replicarse, para obtener el escenario de simulación requerido. El número de replicas se parametriza por el usuario y está totalmente automatizado por la herramienta de modelación Möbius.

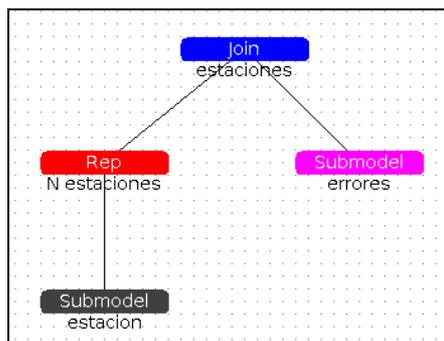
### 2.1 Escenarios de Experimentación

Se utilizaron versiones de este modelo basado en HSANs, para la evaluación de performance del protocolo IEEE 802.11e en diferentes escenarios. Cada QSTA se configuró para transmitir uno o todos de los siguientes tipos de flujos de tráfico: un flujo de voz como un stream de modulación de pulsos codificados (pulse code modulated-PCM), con periodos fijos de 20 ms, un flujo de video con distribución Poisson, y un flujo de tráfico de mejor esfuerzo con distribución Pareto con factor de forma 1.9. Las características se resumen en la Tabla 1.

El primer escenario de evaluación considera la carga de tráfico generada por estaciones operando en la misma banda de frecuencia, variando la carga al incrementar el número de estaciones activas desde 1 a 25, como indica la Fig. 2.

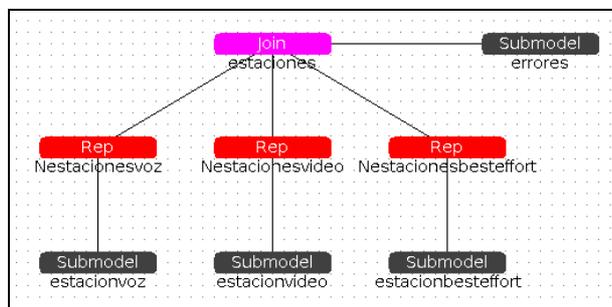
	Voz	Video	Mejor Esfuerzo
Paquete	160 bytes	1280 bytes	1500 bytes
Velocidades	64 Kbps	640 Kbps	1024 Kbps
803.11a 36 Mbps			

**Tabla 1** Tamaños de paquetes y rates de los tráficos de voz, video y mejor esfuerzo



**Fig. 2** Escenario 1 con estaciones que transmiten todos los tráficos (Fuente: Gráfico obtenido en el Simulador Möbius)

El segundo escenario considera la carga de tráfico generada por estaciones variando la carga al incrementar el número de estaciones activas de 5 a 50, pero manteniendo la proporción relativa de estaciones que transmiten uno de los tipos de tráficos en la red, como indica la Fig. 3. Se planteó la siguiente relación entre los tráficos: 60 % de estaciones de voz, 20 % de video y 20 % de mejor esfuerzo.



**Fig. 3** Escenario 2 con estaciones que transmiten uno de los tráficos (Fuente: Gráfico obtenido en el Simulador Möbius)

Todas las simulaciones experimentales se obtuvieron con un intervalo de confianza del 95% y una precisión del 5 %. Las métricas de performance analizadas fueron: rendimiento absoluto, rendimiento relativo, pérdida de paquetes, retardo de cola promedio y tamaño de cola promedio. Ambos escenarios incluyen un modelo de error EMI que introduce una tasa de error de  $1.10^{-4}$  BER.

### 3 Algoritmo de Sintonización MTDA

#### 3.1 Aspectos Generales

Un algoritmo de sintonización de parámetros MAC es la función  $f(\cdot)$  que selecciona los parámetros MAC futuros dados los valores actuales y el estado corriente de la WLAN.

El objetivo del trabajo fue proponer y experimentar por simulación un algoritmo de sintonización, que llamamos MTDA (Algoritmo de Diferenciación de Tráfico Múltiple). Se trata de un algoritmo adaptativo, basado en modelos, centralizado, iterativo e incluye todos los parámetros MAC. Introduce novedades, como su funcionamiento en escenarios más realistas, incluye todos los parámetros EDCA, posee una inicialización efectiva y de rápida convergencia, ampliando la diferenciación eficiente de múltiples tráficos wireless (voz, video y de mejor esfuerzo con distribución Pareto). La sintonización de los parámetros EDCA de todos los tipos de tráfico, puede producirse en los instantes de llegada o partida de un requerimiento.

Se planteó como objetivo que el algoritmo permitiera: a) una diferenciación de tráfico dinámica que incremente la prioridad de los flujos de tiempo real, manteniendo niveles de rendimiento o de pérdidas establecidos, b) Maximizar el rendimiento agregado obtenido en la red para los diferentes flujos, incluyendo los otros no prioritarios elásticos, c) Asegurar la adaptación a los cambios de la WLAN encontrando la asignación más apropiada de los recursos del canal en cada situación.

El diseño del algoritmo de sintonización EDCA tuvo especialmente en cuenta los valores de inicialización y el rango de valores posibles de los parámetros. La Tabla 2 muestra el rango de valores de los parámetros EDCA sobre los que corre el algoritmo.

	Voz	Video	Mejor Esfuerzo
AIFSN	2	[2-8]	[3-12],
CWmin	7	[7-63]	[31-1023]
CWmax	31	63	1023
TXOP	[1-7]	[1-10]	[0-10]
Paquete	160 bytes	1280 bytes	1500 bytes
Velocidad	64 Kbps	640 Kbps	1024 Kbps

**Tabla 2** Rango de valores de los parámetros EDCA del algoritmo MTDA

#### 3.2 Detalles del Algoritmo

El algoritmo, una variante y generalización de la propuesta de [4], se basa en su sencillez y la adaptación dinámica de las tendencias observadas en los tráficos y la propia red. Los aspectos del mismo se describen a través de la siguiente lógica:

1. Esperar por la primera solicitud de flujo
  2. Iniciar el vector de parámetros y su rango de valores  $\zeta$ , según el flujo requerido
    - Voz: AIFSN=2, CWmin=7, CWmax=31, TXOP=1
    - Video: AIFSN=3, CWmin=31, CWmax=63, TXOP=10
    - Mejor Esfuerzo: AIFSN=5, CWmin=63, CWmax=1023, TXOP=10
  3. Esperar por una nueva solicitud de flujo para sumarse al sistema. Resguardar parámetros  $\zeta$  vigentes hasta el momento. Ajustar el vector de parámetros y su rango de valores  $\zeta$  temporales según el nuevo flujo requerido.
  4. Usando los parámetros con la nueva ó la misma solicitud de tráfico, verificar el cumplimiento de los objetivos de rendimiento, delay y descarte ( $\mu$ ), etc. ó si el número máximo de iteraciones ha sido alcanzado. Si es así, Ir al paso 6. De lo contrario, Ir al paso 5.
  5. Incrementar/Decrementar secuencialmente (solo un cambio en cada iteración):
    - $AIFSN_{be} \rightarrow AIFSN_{be} + 1$ . [5-12] Actualizar  $\zeta$ . Ir al Paso 4.
    - $AIFSN_{vi} \rightarrow AIFSN_{vi} + 1$ . [3-8] Actualizar  $\zeta$ . Ir al Paso 4.
    - $CWmin_{be} \rightarrow CWmin_{be} \times 2 + 1$  [63-1023] Actualizar  $\zeta$ . Ir al Paso 4.
    - $TXOP_{voz} \rightarrow TXOP_{voz} + 1$ . [1-7] Actualizar  $\zeta$ . Ir al Paso 4.
    - $TXOP_{be} \rightarrow TXOP_{be} - 1$ . [1-10] Actualizar  $\zeta$ . Ir al Paso 4.
    - $TXOP_{video} \rightarrow TXOP_{video} - 1$ . [1-10] Actualizar  $\zeta$ . Ir al Paso 4.

Si el nuevo valor de un parámetro produce un alejamiento del cumplimiento de  $\mu$ , restaurar el valor anterior del parámetro, y mantenerlo fijo por el resto de las iteraciones del presente requerimiento.
  6. Si no se ha verificado el cumplimiento de  $\mu$  rechazar solicitud, o proponer requerimientos posibles de satisfacer, y restaurar parámetros  $\zeta$  resguardados previos a la solicitud. De lo contrario configurar los parámetros de trabajo con  $\zeta$  temporal. Ir al paso 3.
- 

## 4 Ensayo experimental del Algoritmo MTDA

La comparación del comportamiento de la red con MTDA respecto a cuando se usan los parámetros estáticos por defecto (Tabla 3), se realizó configurando las estaciones para funcionar en el estándar 802.11a en 36 Mbps. Para el funcionamiento del algoritmo, se estableció que la pérdida de rendimiento no debía superar el umbral del 1% ni los 150 ms de retardo para los tráficos de voz y video.

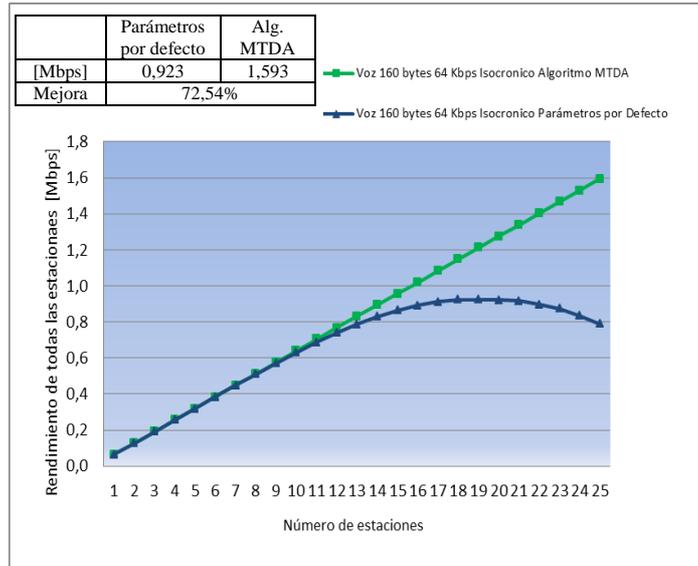
	Voz	Video	Mejor Esfuerzo
AIFSN	2	2	3
CWmin	3	7	15
CWmax	7	15	1023
TXOP	1	2	-

**Tabla 3** Parámetros estáticos por defecto para los tráficos

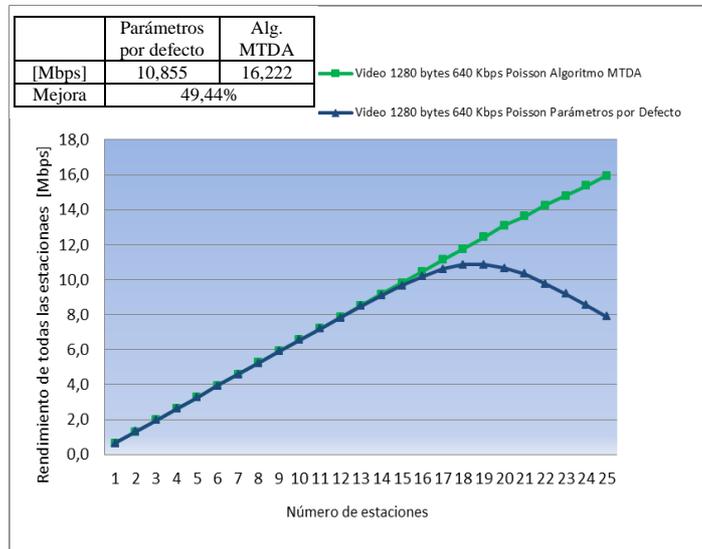
### 4.1 Escenario 1 – Estaciones con todos los tráficos presentes

En las Fig. 4, 5 y 6 se observan las comparaciones del rendimiento de los flujos de voz, video y de mejor esfuerzo, cuando se usa la configuración con los parámetros estáticos por defecto respecto a cuando se ejecuta el algoritmo MTDA. Se muestra que el uso del algoritmo MTDA, obtiene mejoras significativas en el rendimiento de todos los tráficos presentes, mientras se da satisfacción a los requerimientos de QoS.

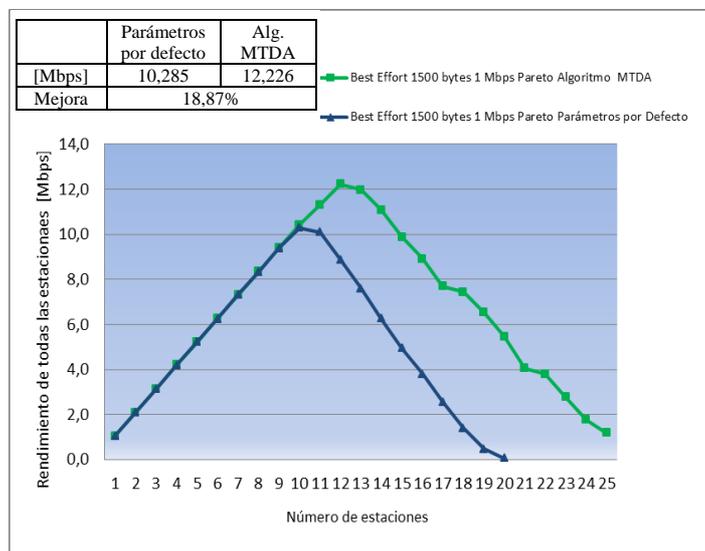
Si comparamos globalmente el uso del algoritmo respecto a la configuración estática por defecto, la mejora del rendimiento de la red es del orden del 47% promedio, y en los tráficos de voz y de video un incremento promedio del orden del 70% y 50%, respectivamente.



**Fig. 4** Comparación del rendimiento del tráfico de voz usando Parámetros por Defecto y el Algoritmo MTDA



**Fig. 5** Comparación del rendimiento del tráfico de video usando Parámetros por Defecto y el Algoritmo MTDA



**Fig. 6** Comparación del rendimiento del tráfico de mejor esfuerzo usando Parámetros por Defecto y el Algoritmo MTDA

#### 4. 2 Escenario 2 – 60% tráfico de voz, 20% de video y 20% de mejor esfuerzo

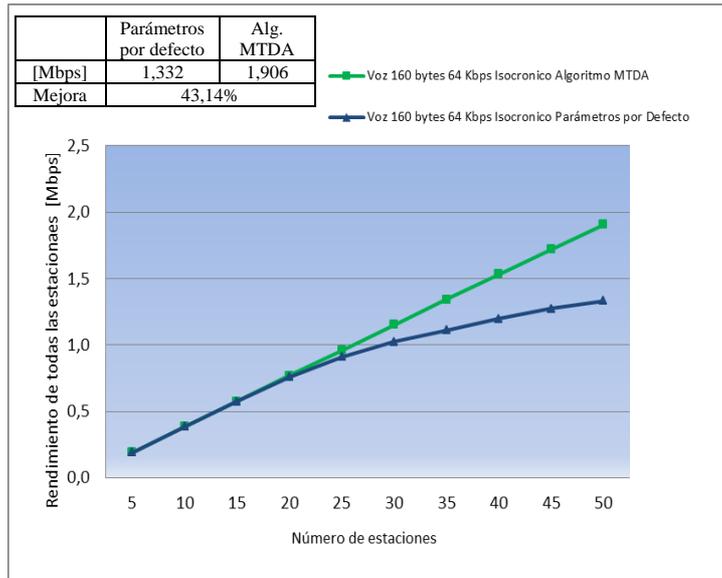
En las Fig. 7, 8 y 9 se observan las comparaciones del rendimiento de los flujos de voz, video y de mejor esfuerzo, cuando se usa la configuración con los parámetros estáticos por defecto respecto a cuando se ejecuta el algoritmo MTDA. La carga crece desde 5 a 50 estaciones. En este caso también se obtienen mejores prestaciones con el algoritmo MTDA para todos los tráficos presentes. Se genera una mejora global del rendimiento del orden del 20% promedio, y en los tráficos de voz y de mejor esfuerzo un incremento promedio del orden del 45% y 15%, respectivamente.

### 5 Conclusiones y aportes

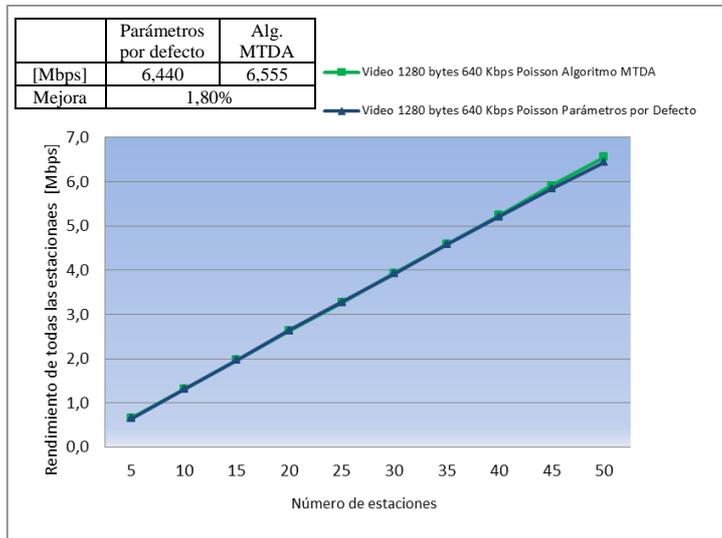
El estado de la red Wi-Fi con QoS, es esencialmente dinámico, donde las diversas métricas de cada tráfico y de la red dependen de los tráficos existentes y de la proporción relativa entre ellos. Por lo tanto, un algoritmo de sintonización debe responder a esa dinámica variando y adaptando los parámetros EDCA, en contraposición a mantener los valores estáticos por defecto, obteniendo mejores métricas de rendimiento, y simultáneamente, el cumplimiento de consignas de QoS. EDCA 802.11e, por si sola, asegura la diferenciación de tráfico y premisas de QoS para una baja cantidad de estaciones, y un algoritmo de sintonización complementa el protocolo, asegurando mayores rendimientos y esas restricciones de QoS, para los tráficos de mayor prioridad o de tiempo real, aún en condiciones de alta carga.

Las contribuciones principales son: i) La especificación de un nuevo algoritmo de sintonización que llamamos MTDA (Algoritmo de Diferenciación de Tráfico Múlti-

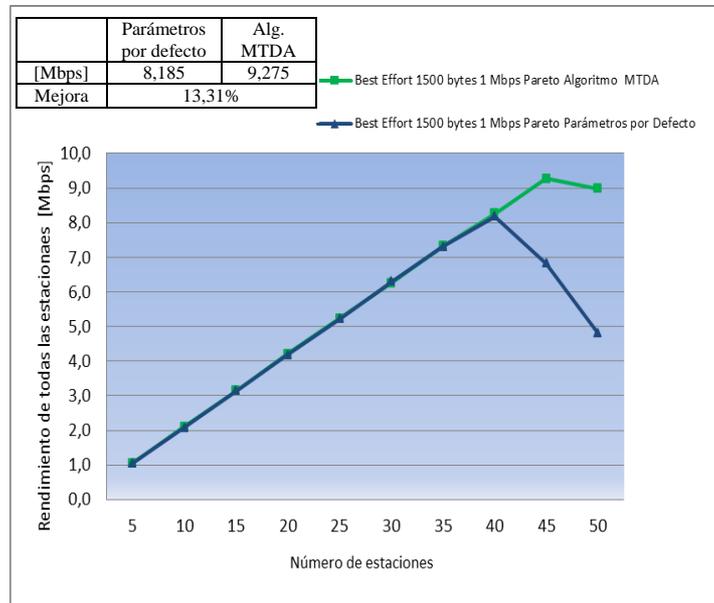
ple), ii) La demostración de que las características de mecanismo estándar EDCA IEEE 802.11e combinado con un algoritmo de sintonización son apropiadas para soportar todo tipo de tráfico de datos multimedia, de tiempo real y control automático en los ambientes administrativos e industriales de próxima generación, iii) La especificación y experimentación de un nuevo tipo de escenario para la evaluación de



**Fig. 7** Comparación del rendimiento del tráfico de voz usando Parámetros por Defecto y el Algoritmo MTDA



**Fig. 8** Comparación del rendimiento del tráfico de video usando Parámetros por Defecto y el Algoritmo MTDA



**Fig. 9** Comparación del rendimiento del tráfico de mejor esfuerzo usando Parámetros por Defecto y el Algoritmo MTDA

las métricas cuando se plantea una proporción relativa dada de los tipos de tráficos en la red, y iv) Los aportes realizados usando modelación con Redes de Petri, que complementan y facilitan la comparación con los conocimientos obtenidos desde colecciones de trazas puras, con estudios analíticos o modelaciones con otras herramientas matemáticas, para diferentes contextos reales e hipotéticos [5-8].

## Referencias

- [1] IEEE Std 802.11-2007.
- [2] <http://www.fe.up.pt/~vasques/ieee80211e/>
- [3] <https://www.mobius.illinois.edu>
- [4] C. Cano, B. Bellalta, A. Sfairopoulou, J. Barceló, "Tuning the EDCA parameters in WLANs with heterogeneous traffic: A flow-level analysis", *Computer Networks*, March 2010.
- [5] R. Moraes, P. Portugal, F. Vasques, Simulation analysis of the IEEE 802.11e EDCA protocol for an industrially-relevant real-time communication scenario, in: *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 2006. 202–209.
- [6] J. Villalón, P. Cuenca, L. Orozco-Barbosa, A. Garrido, B-EDCA: a QoS mechanism for multimedia communications over heterogeneous 802.11/802.11e WLANs, *Computer Communications* 31 (17) (2008) 3905–3921.
- [7] Y.-J. Wu, J.-H. Chiu, T.-L. Sheu, A modified EDCA with dynamic contention control for real-time traffic in multi-hop ad hoc networks, *Journal of Information Science and Engineering* 24 (4) (2008) 1065–1079.
- [8] A. Hamidian, U. Körner, An enhancement to the IEEE 802.11e EDCA providing QoS guarantees, *Telecommunication Systems* 31 (2–3) (2006) 195–212.