

# Esquema de predicción dinámica de AIFSN para mejorar la QoS en redes IEEE 802.11

Estefanía Coronado Calero, José Villalón, Luis De la Ossa y Antonio Garrido<sup>1</sup>

*Resumen*— La enmienda IEEE 802.11e nace ante la imposibilidad del estándar IEEE 802.11 de ofrecer soporte de QoS (*Quality of Service*). Dicha enmienda introdujo EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) como nuevo método de acceso al canal, el cual es capaz de clasificar el tráfico atendiendo a un grupo de parámetros de la capa MAC. En este grupo de parámetros, es el AIFSN (*Arbitration Inter-Frame Space Number*) el que posee un papel más determinante en esta funcionalidad. A pesar de poder ser modificado, la enmienda emplea por defecto una serie de valores estándar, que no ofrecen en todo momento el mejor rendimiento para las aplicaciones multimedia. En este contexto, y con el objetivo de mejorar la calidad de las comunicaciones de voz y vídeo, se propone un nuevo esquema de adaptación que permita calcular dinámicamente los valores de AIFSN más óptimos en función de las condiciones de la red. Dicho esquema se construye empleando un árbol de clasificación J48 y un modelo de regresión lineal M5. Nuestra propuesta asegura la compatibilidad con las estaciones que emplean el estándar original, sin introducir tráfico de control adicional en la red. Los resultados muestran una mejora en el throughput normalizado de voz+vídeo, a la vez que se reduce la cantidad de retransmisiones en la red.

*Palabras clave*— QoS, 802.11e, EDCA, Inteligencia Artificial

## I. INTRODUCCIÓN

La tendencia creciente hacia el uso de redes inalámbricas, supuso el punto de partida en el desarrollo del estándar IEEE 802.11 [1]. Dicho estándar tiene como objetivo permitir las comunicaciones de forma inalámbrica entre un conjunto de dispositivos. Del mismo modo, el emergente mercado de dispositivos como smartphones y tablets, habitualmente equipados con interfaces IEEE 802.11, y la demanda de aplicaciones en tiempo real, han llevado a la industria hacia la necesidad de ofrecer al usuario un nivel de QoS (*Quality of Service*) adecuado.

La definición de la enmienda IEEE 802.11e [2] introdujo la posibilidad de diferenciar tipos de tráfico y de servicios. Para ello, se define un nuevo método de acceso al canal llamado EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*), el cual es capaz de clasificar las distintas tramas atendiendo a un conjunto de prioridades de usuario. Pese a todo, EDCA no proporciona un nivel de QoS adecuado para las aplicaciones en tiempo real. De hecho, el throughput de estas aplicaciones se ve aún más perjudicado a medida que la carga de la red aumenta. Igualmente, la existencia en la red de estaciones que sólo soportan el estándar original, perjudica la calidad de las comunicaciones de voz y vídeo.

A pesar de las investigaciones realizadas en este campo, aún existen limitaciones como las anteriormente descritas, que deben ser solventadas. Dada la variedad de condiciones que pueden darse en una red IEEE 802.11, la búsqueda de patrones de tráfico resulta un punto importante a tener en cuenta a la hora de mejorar el nivel de QoS ofrecido. En este contexto, la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y minería de datos podría contribuir a aumentar el rendimiento ofrecido por dicha red.

El principal objetivo de esta propuesta es mejorar la calidad de las comunicaciones de voz y vídeo mediante la construcción de un esquema de predicción de los valores de AIFSN (*Arbitration Inter-Frame Space Number*). Así pues, es el AP (*Access Point*) el que, en función de las condiciones de la red, lleva a cabo estas operaciones en tiempo real, permaneciendo sin cambios el resto de estaciones. No obstante, el ajuste de estos parámetros se realiza sin introducir tráfico de control adicional en la red. La mayor contribución de este artículo consiste en mantener la compatibilidad con las estaciones existentes, al mismo tiempo que mejora los mecanismos de QoS ofrecidos al tráfico multimedia e incrementa el rendimiento global de la red.

El resto de este artículo se organiza como sigue. La sección II describe el funcionamiento de la enmienda IEEE 802.11e y recoge una serie de propuestas que tratan de ofrecer un nivel de QoS adecuado. El esquema de mejora propuesto y su proceso de desarrollo se presenta en la sección III. En la sección IV se lleva a cabo una evaluación de prestaciones de la propuesta, así como una comparativa con el rendimiento ofrecido por EDCA. Por último, la sección V recoge las conclusiones extraídas del desarrollo de este esquema.

## II. QoS EN REDES IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 original proporciona dos funciones de acceso al canal como son DCF (*Distributed Coordination Function*) y PCF (*Point Coordination Function*). Sin embargo, estas funciones no tienen la capacidad de diferenciar tipos de tráfico y, por tanto, de aportar características de QoS. Es por ello que se define la enmienda IEEE 802.11e.

### A. IEEE 802.11e

La enmienda IEEE 802.11e fue definida con el objetivo de proporcionar soporte de QoS y atender las restricciones temporales del tráfico de voz y vídeo en redes IEEE 802.11. Su desarrollo supone la inclusión de HCF (*Hybrid Coordination Function*) como nueva función de coordinación del medio, además de sus

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Informática de Albacete (I3A). Universidad de Castilla-La Mancha, e-mail: {Estefania.Coronado, JoseMiguel.Villalon, Luis.Delaossa, Antonio.Garrido}@uclm.es

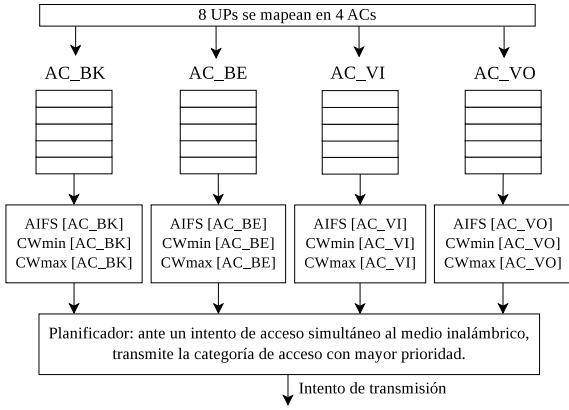


Fig. 1. Mapeo de las categorías de acceso en EDCA

dos métodos de acceso al mismo: HCCA (*HCF Controlled Channel Access*) y EDCA. Esta enmienda debe garantizar la compatibilidad entre las estaciones con soporte de QoS (QSTAs) y aquellas que tan sólo pueden emplear las funciones de acceso al medio del estándar original (nQSTAs). Por esta razón, la implementación de HCF es obligatoria para todas las QSTAs. No obstante, es importante indicar que los dispositivos comerciales actuales tan sólo soportan EDCA como método de acceso al canal.

EDCA permite diferenciar el tráfico a través de ocho UPs (*User Priorities*). A su vez, se especifican cuatro ACs (*Access Category*) derivadas de las UPs, con el objetivo de clasificar y priorizar los distintos servicios. Así, en orden de mayor a menor prioridad, y como se observa en la figura 1, la enmienda especifica las ACs de voz (VO), vídeo (VI), *Best Effort* (BE) y *Background* (BK). Cada AC maneja su propia cola de transmisión y se caracteriza por un conjunto de parámetros EDCA específico. Dicho conjunto condiciona el nivel de prioridad asociado a cada AC y viene dado por el valor de AIFSN, la duración de los intervalos TXOP (*Transmission Opportunity*) y el tamaño de la ventana de disputa, CW (*Contention Window*). El AP es el encargado de comunicar el valor de estos parámetros, los cuales se distribuyen embebidos en tramas *beacon*. El AP posee además la capacidad de modificar los valores por defecto establecidos por la enmienda IEEE 802.11e. No obstante, dado que no se proporciona ningún mecanismo para llevar a cabo esta tarea, la mayoría de APs comerciales no implementan esta funcionalidad.

El valor AIFSN condiciona la duración del periodo AIFS (*Arbitration Inter-Frame Spacing*), el cual determina el espacio de tiempo que una estación debe esperar previamente al comienzo de una nueva transmisión. La definición de este periodo es específica para cada AC tal y como se muestra en la ecuación 1. En esta ecuación, el tamaño de *slot* viene dado por la capa física utilizada, mientras que el periodo SIFS (*Short Inter-Frame Space*) se refiere a la cantidad de tiempo empleada en aquellas acciones de alta prioridad y que requieren una respuesta inmediata.

$$AIFS[AC] = AIFSN[AC] \cdot T\_Slot + SIFS \quad (1)$$

La enmienda especifica un conjunto de valores por defecto para los parámetros de EDCA, los cuales se muestran en la tabla I. Con el objetivo de garantizar un equilibrio justo con las nQSTAs, se establece una duración fija para el valor de AIFSN de cada AC, el cual debe ser igual o superior a 2 unidades de tiempo. Igualmente, la amplitud de la ventana de disputa condiciona la cantidad de tiempo que una estación debe esperar hasta que puede finalizar el algoritmo de *Backoff*. Esta longitud será mayor cuanto menor sea la prioridad de cada AC. Del mismo modo, a las ACs con restricciones temporales más altas, se les asigna una duración de TXOP mayor.

Entre estos parámetros, el AIFSN resulta el más determinante para garantizar una óptima priorización del tráfico de la red. En [3] J. Villalón et al. evalúan varios escenarios donde se consideran diferentes valores de AIFSN y CW. De este modo, prueba que el AIFSN condiciona de un modo más severo la identificación de prioridades de lo que lo hace el tamaño de ventana. Esta misma conclusión fue alcanzada por J. Jui et al. en [4], donde adicionalmente se demostró que podía producirse un descenso en el retraso de acceso al medio y un aumento considerable en el rendimiento global de la red.

### B. Adaptación dinámica en IEEE 802.11e

Las condiciones de tráfico de la red pueden sufrir cambios a lo largo del tiempo. Por ello, han surgido multitud de propuestas que tratan de adaptar de forma dinámica los parámetros de EDCA.

En [5], R. He et al. presentan una propuesta donde la red se evalúa bajo tres niveles de carga, obteniendo una reducción en el número de retransmisiones y una mejora en el rendimiento global de la red. Sin embargo, se perjudican las restricciones temporales del tráfico de voz y vídeo, viéndose reducido el throughput normalizado de este tipo de tráfico.

Por su parte, en [6] A. Banchs et al. proponen un nuevo esquema capaz de mejorar la calidad de las comunicaciones de voz y vídeo, a la vez que mantiene la compatibilidad con las estaciones que emplean DCF. Sin embargo, dado que el nivel de prioridad de estas estaciones no puede modificarse a través de los parámetros de EDCA, esta propuesta reduce su prioridad a través de la retransmisión de tramas que habían sido correctamente recibidas.

La especificación de modelos formales ha sido también considerada. No obstante, la mayoría de estos modelos realizan asunciones que podrían no cumplirse. Así, J.R. Gallardo et al. definen en [7] un esquema de mejora basado en cadenas de Markov. Esta propuesta considera que en todo momento todas las estaciones comparten y mantienen la misma tasa de transmisión, una situación prácticamente inexistente en un entorno real.

TABLA I  
VALORES POR DEFECTO DE LOS PARÁMETROS EDCA

AC	$CW_{\min}$	$CW_{\max}$	AIFSN	TXOP
AC_BK	$aCW_{\min}$	$aCW_{\max}$	7	-
AC_BE	$aCW_{\min}$	$aCW_{\max}$	3	-
AC_VI	$(aCW_{\min}+1)/2-1$	$aCW_{\min}$	2	6.016 ms
AC_VO	$(aCW_{\min}+1)/4-1$	$(aCW_{\min}+1)/2-1$	2	3.264 ms

### III. ESQUEMA DE AJUSTE DINÁMICO DE AIFSN

#### A. Descripción de la propuesta

Hoy en día, el consumo de contenidos multimedia de alta definición a través de redes inalámbricas ha experimentado un crecimiento notable. El desarrollo de la enmienda IEEE 802.11e supuso un punto de partida en la definición de nuevos esquemas que mejorasen el nivel de QoS ofrecido, principalmente el dirigido a este tipo de servicios. Sin embargo, un problema recurrente en los esquemas propuestos, es la existencia de estaciones que sólo soportan el estándar IEEE 802.11 original. A pesar de que los parámetros de EDCA se prestan a ser modificados en función de su prioridad, no puede realizarse ningún cambio en el caso de las nQSTAs.

Los parámetros de acceso al canal definidos en EDCA pueden adaptarse de un modo dinámico. A pesar de ello, la mayoría de dispositivos del mercado no ofrecen esta funcionalidad, debido a la complejidad que conlleva determinar las condiciones de la red. Tanto esta tarea como el cálculo de los parámetros óptimos de EDCA y su posterior actualización, deben llevarse a cabo en tiempo real, por lo que el proceso completo debe ser lo más sencillo posible. Es por ello que la enmienda IEEE 802.11e no ofrece ningún mecanismo para llevar a cabo esta tarea y establece a su vez un conjunto de valores por defecto, independientemente del tráfico de la red.

El principal objetivo de nuestra propuesta es mejorar el nivel QoS ofrecido e incrementar el rendimiento de las comunicaciones de voz y vídeo. Para ello, el esquema propuesto pretende identificar el valor óptimo de AIFSN dinámicamente en función de las condiciones de la red. El aumento del rendimiento del tráfico de voz y vídeo viene dado por el descenso de colisiones entre dichos tipos de tráfico y la reducción del número de retransmisiones en la red. Al mismo tiempo, este esquema asegura la compatibilidad entre las estaciones que emplean EDCA y DCF.

En el transcurso de una transmisión, son múltiples los parámetros que condicionan la situación del canal. Por ello, el desarrollo de un esquema adaptativo a partir de dichos parámetros no resulta una tarea sencilla. Los factores más determinantes se recogen a continuación:

- *Aplicaciones de cada tipo de tráfico activas.* A pesar de ser un parámetro fácilmente identificable por el AP, resulta incapaz de proporcionar una información completa que permita al es-

quema determinar la ocupación real del canal.

- *Bit rate de las aplicaciones.* Junto al anterior, este factor proporciona información más detallada sobre el estado del canal. No obstante, resulta complicado de calcular en tiempo real, puesto que debe introducirse en la red tráfico de control adicional.
- *Velocidad de transmisión.* Dado que las estaciones pueden realizar transmisiones a distintas velocidades, este parámetro condiciona de una forma importante el periodo de tiempo que cada una mantendrá el canal ocupado. Sin embargo, la información que aporta necesita ser complementada con la de los anteriores factores.
- *Presencia o ausencia de estaciones de DCF.* La presencia de este tipo de aplicaciones restringe la adaptación de los parámetros de prioridad de EDCA.

Dada la variabilidad de estos aspectos, el esquema propuesto debe tener una baja carga computacional y la capacidad para adaptarse a los cambios a lo largo del tiempo. En este sentido, las técnicas de inteligencia artificial son utilizadas para identificar patrones de tráfico y permitir al esquema tomar decisiones basadas en el comportamiento de la red.

Como forma de abordar el problema, se ha considerado el diseño de dos modelos de predicción distintos, que nos permitan establecer una comparativa entre las capacidades de ambos. Dichos modelos son un árbol de clasificación J48 y un modelo de regresión lineal M5. De forma previa a esta selección se han considerado muchos otros modelos como el clasificador Naive Bayes. No obstante, los modelos seleccionados destacan por su baja complejidad computacional, su capacidad autoexplicativa y el alto grado de adaptabilidad al problema. Así pues, la función de estos clasificadores en el esquema de mejora reside en identificar los valores de AIFSN que proporcionan un valor mayor en la suma del throughput normalizado del tráfico de voz y vídeo, independientemente de la saturación de la red.

Para llevar a cabo el objetivo propuesto, se realiza una selección de 9 conjuntos de valores de AIFSN de acuerdo a los estudios [3] y [4] y que se muestran en la tabla II. Estos valores se han seleccionado incrementando de forma gradual la diferencia en *slots* de tiempo entre las ACs. Es importante indicar que en aquellos casos donde el valor de AIFSN para el tráfico de vídeo es mayor que 2, la prioridad de estas aplicaciones se ve reducida en comparación con la de

TABLA II  
PROPUESTA DE VALORES DE AIFSN

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
BK	7	8	9	8	9	12	10	12	14	14
BE	3	4	5	4	5	6	6	8	10	12
VI	2	2	2	3	3	3	4	5	6	7
VO	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

las estaciones que utilizan DCF. Así, estas combinaciones tratan de mejorar la suma del throughput normalizado de voz y vídeo a través de la reducción de colisiones entre las tramas de estas ACs.

Los clasificadores deben calcular los valores AIFSN de forma periódica que, en nuestro caso, será una vez cada segundo. Tras esto, el modelo debe comprobar si los valores seleccionados en la comprobación anterior continúan siendo los más óptimos. En caso contrario, el AP debe realizar su distribución sobre la red. Para ello, esta información se transmite, junto con el resto de parámetros de EDCA, embebida en tramas *beacon*. Como consecuencia, se evita la introducción de tráfico de control adicional en la red.

El esquema propuesto tiene una baja complejidad computacional debido a que el AP tan sólo tiene que ejecutar simples operaciones empleando los modelos predictivos descritos. Igualmente, la implementación de este esquema tan sólo requiere realizar pequeños ajustes en los APs, no siendo necesario modificar las tarjetas de red actuales. De igual forma, esta propuesta asegura la compatibilidad con las estaciones que utilizan DCF, a la vez que produce una mejora en el rendimiento de la red y, especialmente, en las aplicaciones de voz y vídeo.

### B. Diseño de los esquemas de predicción

El diseño y la construcción de los modelos de predicción J48 y M5 necesitan contar con una considerable cantidad de información que debe adquirirse durante el periodo de entrenamiento. Para ello, se ha llevado a cabo una extensa batería de pruebas teniendo en cuenta un amplio rango de niveles de tráfico que permitan cubrir un rango considerable de posibles escenarios. Durante el transcurso de estas pruebas, se han empleado además de los valores por defecto de AIFSN, los 9 conjuntos de valores propuestos en la tabla II. La combinación por defecto ha sido igualmente incluida debido a que ésta alcanza, en ciertos casos, el mayor rendimiento de la red. Además, conocer los resultados de esta combinación, permite establecer una comparativa con aquellos obtenidos por el esquema propuesto.

Para construir un modelo lo más preciso posible, se definen 18 escenarios a modo de entrenamiento, empleando para ello Riverbed Modeler 18.0.2 [8]. En estos escenarios se incluye un número variable tanto de estaciones que emplean EDCA como de aquellas que sólo soportan DCF. De este modo, se puede garantizar la interoperabilidad con el estándar IEEE 802.11. Las transmisiones realizadas incluyen difer-

TABLA III  
PARÁMETROS DE TRÁFICO UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS CLASIFICADORES

	Tamaño de paquete	Bit rate
DCF	552 bytes	512 Kbps
BK	552 bytes	512 Kbps
BE	552 bytes	512 Kbps
VI	1064 bytes	800 Kbps
VO	104 bytes	20 Kbps

entes porcentajes de tráfico de subida de cada tipo de servicio. Inicialmente, cada escenario está formado por 10 estaciones, incrementándose el nivel de carga de forma gradual en 10 de ellas, hasta alcanzar un máximo de 80. Como resultado, se obtienen 8 combinaciones distintas del mismo escenario. Para asegurar la adaptabilidad del esquema a las condiciones de la red, independientemente de la velocidad de transmisión de las estaciones, el entrenamiento se ha llevado a cabo empleando dos valores distintos para este factor, como son 12 y 36 Mbps. Como consecuencia, se duplica la cantidad de escenarios disponibles, donde todas las estaciones comparten y mantienen la misma velocidad de transmisión, independientemente del tipo de tráfico que transmitan.

Cada tipo de tráfico posee unas características de transmisión propias y que se muestran en la tabla III. El tráfico de DCF, BK y BE se modela mediante una distribución de Pareto de localización 1.1 y forma 1.25, mientras que el tráfico de voz viene dado por un servicio CBR (*Constant Bit Rate*) empleando el codec G728 [9]. Por su parte, el tráfico de vídeo se corresponde con la transmisión de tramas en H.264 [10]. Debido a las restricciones temporales propias del tráfico de voz y vídeo, se ha establecido un periodo máximo de retraso de 10 y 100 ms, respectivamente. Así, de alcanzarse este límite, la trama en cuestión será descartada.

Durante la simulación de los escenarios, las condiciones de todos los factores permanecen fijas, modificándose de acuerdo a un orden hasta que todas las posibles combinaciones se han considerado. Así, se permite a los clasificadores adquirir conocimiento, una tarea prácticamente inalcanzable en caso de proporcionarle información totalmente aleatoria.

Una vez que se han obtenido todos los resultados, estos deben preprocesarse con el objetivo de proporcionar a los clasificadores sólo la información correcta. Los resultados iniciales incluyen diferentes indicadores como el número de aplicaciones de cada tipo de tráfico o el porcentaje de ocupación del canal inalámbrico. Sin embargo, dado que se busca construir modelos lo más sencillos posible, este hecho resulta inaceptable. Como consecuencia, es necesario llevar a cabo una selección de variables supervisada que permita descartar los parámetros que no aportan información al modelo. Tras este proceso, tan sólo se considera el nivel de ocupación global del medio inalámbrico y el porcentaje de ocupación particular

de cada tipo de tráfico.

La información finalmente proporcionada al árbol de clasificación J48 y al modelo de regresión M5 posee ciertas diferencias. En la construcción del árbol J48, tan sólo se consideran los datos de las configuraciones de AIFSN que maximizan la suma del throughput normalizado de voz y vídeo. El modelo de regresión M5, por su parte, toma la información de todas las configuraciones de AIFSN, independientemente de su rendimiento. Puesto que emplea un grupo de funciones de regresión para maximizar un parámetro concreto, la suma del throughput normalizado de voz y vídeo para cada combinación de AIFSN debe ser igualmente proporcionada. Por este motivo, este modelo contiene un grupo de reglas por cada combinación de AIFSN comprobada.

Tanto el preprocesamiento de datos como el diseño de los modelos se lleva a cabo mediante Weka 3.7.0 [11]. Con el objetivo de garantizar que los conjuntos de entrenamiento y de prueba son independientes, se ejecuta un proceso de validación cruzada con 10 *folds*. En el caso del clasificador J48, la tasa de aciertos es del 94.90%, mientras que en el caso del modelo de regresión M5 se obtiene un coeficiente medio de correlación de 0.8916 y un error absoluto medio de 0.0554. Estos resultados muestran la precisión de los modelos construidos y la alta relación que existe entre los parámetros involucrados.

#### IV. EVALUACIÓN DE PRESTACIONES

La evaluación de prestaciones de la propuesta implica la definición de 20 escenarios formados por 100 estaciones y que incluyen tanto aplicaciones de EDCA como de DCF. Dado que cada escenario se divide en 20 intervalos de tiempo y es simulado utilizando 60 semillas aleatorias diferentes, finalmente se prueban un total de 24000 intervalos diferentes.

Como puede observarse en la tabla IV, cada estación posee una probabilidad de transmisión asociada a su AC, lo que permite evaluar el esquema bajo distintos niveles de carga. Los escenarios tienen una duración de 300 segundos y se dividen en dos intervalos. Durante el primero de ellos, y cada 30 segundos, las estaciones que no están transmitiendo, tratan de iniciar una nueva transmisión en función de la probabilidad de su AC. En el segundo periodo, las estaciones con transmisiones activas tratan de finalizar dicha transmisión cada 30 segundos, empleando la misma probabilidad que la utilizada en el primer periodo. Este enfoque permite considerar múltiples escenarios con una amplia variedad de cargas de tráfico.

Cada estación posee un *bit rate* acorde a su AC. Este valor es el mismo que el mostrado en la tabla III. Así pues, se han considerado distintas velocidades de transmisión para todas las estaciones, independientemente de su AC. Dichas estaciones se distribuyen de forma aleatoria sobre la cobertura de la red, donde el modelo de Ricean [12] determina el modelado de propagación de la señal. Este modelo se caracteriza por un factor  $k$ , que en nuestro caso le es asignado

TABLA IV  
DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO DE ESCENARIOS DE PRUEBA

Escenario	VO	VI	BE	BK	DCF
1	10%	1.5%	2%	2%	2%
2	10%	5%	2%	2%	2%
3	10%	7%	2%	2%	2%
4	8%	6%	3%	3%	7%
5	4%	2%	3%	3%	10%
6	3%	3%	4%	4%	8%
7	5%	3%	7%	7%	4%
8	6%	6%	10%	5%	5%
9	6%	9%	6%	6%	6%
10	8%	-	8%	8%	8%
11	-	6%	6%	6%	9%
12	6%	6%	6%	6%	6%
13	10%	8%	-	-	-
14	8%	4%	-	-	-
15	6%	10%	-	-	-
16	7%	7%	7%	7%	-
17	10%	-	8%	8%	-
18	-	8%	7%	7%	-
19	9%	8%	6%	6%	-
20	9%	7%	8%	-	-

el valor 32. Además, la enmienda IEEE 802.11g [13] define la capa física de la red.

Para mostrar los resultados de la red de forma correcta, se realiza una selección de estadísticas. Éstas incluyen el throughput normalizado de voz+vídeo, la cantidad de reintentos de retransmisión, el throughput normalizado de DCF y el rendimiento global de la red. Las figuras 2, 4 y 5 muestran un conjunto representativo de escenarios donde la proporción de tráfico es más problemática para EDCA. Los cuatro primeros escenarios albergan aplicaciones tanto de DCF como de EDCA, mientras que en los cuatro restantes tan sólo se consideran estaciones que emplean EDCA. Puesto que se desea evaluar el rendimiento del tráfico de DCF, en la figura 3 sólo se han incluido escenarios que contienen ambos tipos de estaciones.

La tabla V muestra los resultados del throughput normalizado de voz+vídeo para los 24000 intervalos simulados. Ésta recoge el porcentaje de intervalos de transmisión de 30 segundos donde se han experimentado mejoras o pérdidas con respecto a EDCA. Así, se observa que un alto porcentaje de los casos permanece sin cambios, habiendo considerado un intervalo sin cambios a aquel donde las pérdidas o mejoras son inferiores al 1%. Este hecho se debe a que los primeros y los últimos cinco intervalos albergan una baja carga de tráfico dado que todas las estaciones están comenzando o finalizando sus transmisiones. Por ello, todas las combinaciones de AIFSN alcanzan el máximo rendimiento. Por esta razón, en la figura 2 tan sólo se recoge el throughput normalizado de voz+vídeo de los 10 intervalos restantes, donde el valor de AIFSN por defecto comienza a sufrir pér-

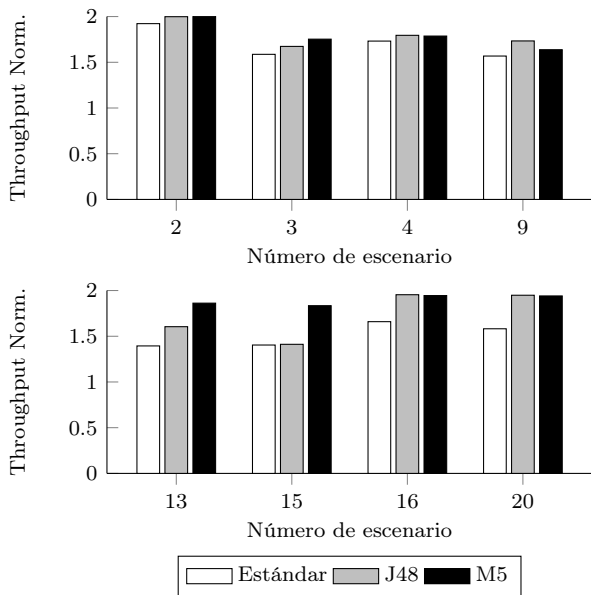


Fig. 2. Throughput Normalizado de Voz+Video

didadas de tráfico. En esta figura puede observarse que, en todos los casos, el esquema propuesto mejora el rendimiento alcanzado por EDCA, llegando esta diferencia a superar el 20% en un alto número de intervalos en ausencia de tráfico de DCF.

Igualmente, la tabla V recoge un pequeño número de intervalos donde nuestra propuesta sufre algunas pérdidas en comparación con EDCA. La selección de valores de AIFSN distintos hace que el escenario generado no sea totalmente idéntico al de EDCA. A estos cambios en la generación de tráfico, se deben la mayoría de las pérdidas mostradas. Además, los escasos parámetros que los modelos toman para realizar la predicción no permiten tener una imagen perfecta de las condiciones de la red. Así, una pequeña parte de este porcentaje se debe a un conjunto de decisiones erróneas tomadas por parte de los clasificadores durante las simulaciones. Sin embargo, las situaciones donde estas pérdidas se tienen son muy inferiores a aquellas en las que el esquema mejora el rendimiento ofrecido por EDCA.

La apropiada separación de los valores de AIFSN para cada AC, especialmente en aquellos casos donde el valor impuesto para el tráfico de vídeo es superior a 2 slots, permite otorgar una mayor prioridad a las estaciones que emplean DCF. Por este motivo, el esquema propuesto es capaz de mantener la compatibilidad con estas estaciones, a la vez que mejora el rendimiento ofrecido. Dicha mejora puede observarse en la figura 3. A pesar de proporcionarle un nivel mayor de prioridad al tráfico de DCF, nuestro esquema no sólo no penaliza las comunicaciones multimedia, sino que además se incrementa el throughput normalizado de las mismas (véase la figura 2).

La mejora experimentada por el esquema propuesto es una consecuencia directa de la reducción en el número de colisiones y retransmisiones en la red, tal y como se aprecia en la figura 4. Este hecho tiene un impacto directo en la mejora del rendimiento

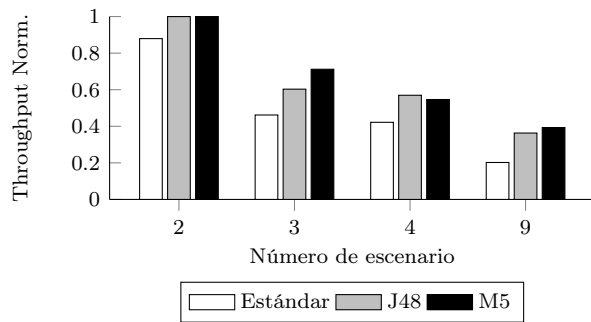


Fig. 3. Throughput Normalizado de DCF

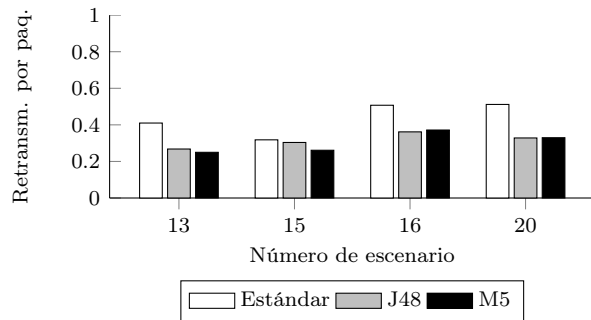
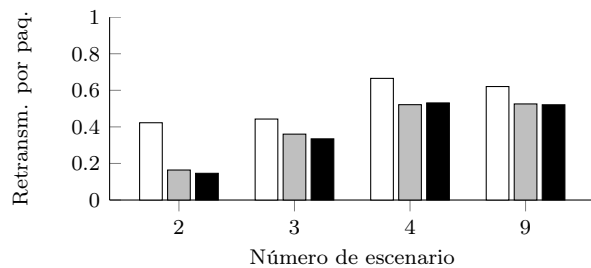


Fig. 4. Intentos de Retransmisión globales

global de la red, el cual se ilustra en la figura 5. De este modo, puede afirmarse que una apropiada selección de los valores de AIFSN contribuye no sólo a mejorar las comunicaciones de voz y vídeo, sino también a aumentar el rendimiento del resto de tipos de tráfico y la calidad general de la red.

Aunque los modelos de predicción utilizados ofrecen una calidad similar, poseen algunos rasgos distintivos. El árbol de clasificación J48 ofrece mejores resultados en el tráfico de voz y vídeo, en aquellos casos en los que existe un alto porcentaje de tráfico de DCF en la red. Por su parte, el modelo de regresión M5 resulta más acertado ante una carga baja o nula de tráfico de DCF. No obstante, el modelo M5 mejora prácticamente en todos los escenarios el rendimiento global de la red con respecto al árbol J48, además de aumentar el throughput normalizado de DCF. A pesar de que ambos poseen una carga computacional baja, el modelo M5 necesita evaluar el throughput normalizado de voz+video asociado a cada una de las posibles combinaciones. Es por ello que el árbol J48, al realizar un conjunto mínimo de comparaciones, ofrece una complejidad computacional inferior.

TABLA V  
MEJORA EN EL THROUGHPUT NORMALIZADO DE VOZ+VÍDEO EN INTERVALOS DE 30S

	Con tráfico DCF		Sin tráfico DCF	
	J48	M5	J48	M5
Sin cambios	49.42%	52.11%	35.52%	31.30%
Pérdidas	4.49%	5.48%	2.55%	1.44%
Mejoras [1%-5%]	27.20%	23.37%	23.64%	17.35%
Mejoras [5%-10%]	8.67%	12.78%	6.68%	5.93%
Mejoras [10%-15%]	6.06%	2.86%	7.41%	6.89%
Mejoras [15%-20%]	2.01%	1.52%	4.48%	4.55%
Mejoras [superiores al 20%]	2.16%	1.90%	19.73%	32.55%

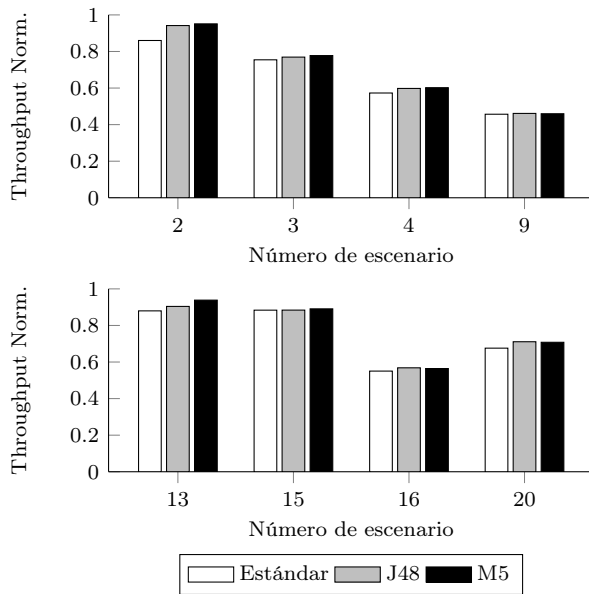


Fig. 5. Throughput Normalizado global

## V. CONCLUSIONES

En este artículo se propone un nuevo esquema de mejora de las comunicaciones multimedia en WLANs, empleando para ello los modelos de predicción J48 y M5. Con este objetivo, nuestra propuesta es capaz de adaptar el valor de AIFS<sub>N</sub> definido en la enmienda IEEE 802.11e, a la vez que mantiene la compatibilidad con las estaciones que sólo soportan el estándar IEEE 802.11 original. El AP es el único dispositivo que implementa este esquema, comunicando al resto de estaciones los valores calculados sin introducir tráfico de control adicional en la red.

Los resultados muestran una mejora de nuestra propuesta de hasta el 20% en el throughput normalizado de voz+vídeo con respecto a EDCA. Igualmente, se demuestra que la apropiada separación entre los valores de AIFS<sub>N</sub> para cada AC conlleva una reducción del número de colisiones entre el tráfico de distintas ACs. Como consecuencia, el rendimiento global de la red se ve de igual forma incrementado. Además, la baja carga computacional del modelo permite que éste se ejecute en tiempo real.

Los clasificadores construidos ofrecen distintos re-

sultados en función de las características del tráfico presente en la red. Por ello, podría considerarse la construcción de un nuevo esquema capaz de combinar las fortalezas de ambos modelos de predicción.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado conjuntamente por el Ministerio de Economía y Competitividad y la Comisión Europea (fondos FEDER) bajo el proyecto TIN2012-38341-C04-04 y la beca BES-2013-065457.

## REFERENCIAS

- [1] “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” ANSI/IEEE Std 802.11, 1999.
- [2] “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 7: Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS),” ANSI/IEEE Std 802.11e, 2005.
- [3] José Villalón, Pedro Cuenca, and Luis Orozco-Barbosa, “On the capabilities of IEEE 802.11e for multimedia communications over heterogeneous 802.11/802.11e WLANs,” *Telecommunication Systems*, pp. 27–38, 2007.
- [4] Jie Hui and Michael Devetsikiotis, “A unified model for the performance analysis of IEEE 802.11e EDCA,” *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1498–1510, 2005.
- [5] Rong He and Xuming Fang, “A Fair MAC Algorithm with Dynamic Priority for 802.11e WLANs,” *International Conference on Communication Software and Networks*, 2009.
- [6] Albert Banchs, Pablo Serrano, and Luca Vullero, “Providing Service Guarantees in 802.11e EDCA WLANs with Legacy Stations,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, pp. 1057–1071, 2010.
- [7] Jose R. Gallardo, Sarai C. Cruz, Dimitrios Makrakist, and Abdallah Shami, “Analysis of the EDCA Access Mechanism for an IEEE 802.11e-compatible Wireless LAN,” *IEEE Symposium on Computers and Communications*, 2008.
- [8] Riverbed Technology, “Riverbed Modeler 18.0.2,” 2014.
- [9] ITU-T, “Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction,” 2012.
- [10] ISO/IEC and ITU-T, “Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services. ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC),” 2003.
- [11] Machine Learning Group at the University of Waikato, “Weka 3.7.0,” 2014.
- [12] Ratish J. Punnoose, Pavel V. Nikitin, and Daniel D. Stancil, “Efficient simulation of rician fading within a packet simulator,” in  *Vehicular Technology Conference*, 2000.
- [13] “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band,” ANSI/IEEE Std 802.11g, 2003.