

Gestión de Tráfico *Best Effort* a través de Retardos Aleatorios en Redes 802.16

Andrés Arcia-Moret

International Centre for Theoretical Physics (ICTP)
Trieste, Italia
aarcia_m@ictp.it

Diego Uzcátegui

Centro de Nacional de Desarrollo e Investigación en
Tecnologías Libres
Mérida, Venezuela
diego.uzc@gmail.com

Resumen—WiMAX es uno de los sistemas de acceso inalámbrico hacia la Internet, que continuamente ha estado evolucionando para prestar mejores servicios de transmisión de datos, voz y video para redes de área metropolitana. En las Redes WiMAX una estación de base (*Base Station* o BS) se encarga de administrar el ancho de banda entre las estaciones suscriptoras (*Subscriber Stations* o SSs) para las distintas clases de servicio. Particularmente, en la asignación de ancho de banda para transmisiones de tráfico *Best Effort* por el canal de subida, desde las SSs a la BS, la BS debe hacer una estimación del ancho de banda requerido por las SSs. Para llevar a cabo este proceso, las SSs envían pequeños paquetes donde solicitan ancho de banda durante un período de contención por trama, que luego son procesados por la BS. En este artículo se presenta un modelo para el procesamiento de las solicitudes de ancho de banda denominado “Gestión del Ancho de Banda con Retardo Aleatorio”, que mejora el rendimiento de redes WiMAX cuando se transmite tráfico TCP. Mediante pruebas de simulación con NS-2 (Modelo WiMAX-NIST), se compara su desempeño con otras políticas y se evalúa en varios escenarios.

Palabras Claves—Redes inalámbricas; Redes 802.16; Sistema de Solicitud/Otorgamiento de Ancho de Banda; TCP.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación digital han evolucionado para cubrir la necesidad creciente de acceso a Internet para los usuarios con difícil acceso, que, por su lejanía de zonas urbanas, no disponen de conexión a la Internet a bajo costo. Uno de estos sistemas es WiMAX, que provee la conexión inalámbrica de última milla a la Internet con una cobertura de Área Metropolitana (*Wireless Metropolitan Access Network* o WMAN), y que promete ser el eslabón siguiente a las redes WiFi. Este calificativo se debe a su capacidad de realizar transmisiones a altas velocidades y con mayor alcance geográfico, entre otras características.

El servicio de red WiMAX provee un esquema de trabajo por conexiones explícitas por cada flujo de datos entre la BS y las SSs con el fin de soportar mejor los servicios que las distintas aplicaciones requieren. Estas conexiones, determinadas por el

identificador de conexión (*Connection Identifier* o CID), son manejadas de diferente forma por las distintas clases de servicio, lo que permite ofrecer un desempeño diferenciado para distintas clases de aplicaciones [8,3,1].

Por otra parte, como es bien conocido, la mayor parte del tráfico que circula en la Internet es transportado por el protocolo TCP (en un 90%). TCP es el protocolo por excelencia para el transporte de datos que, inclusive, hoy por hoy se utiliza en aplicaciones multimedia.

II. REDES 802.16

WiMAX es una tecnología conforme a lo especificado en el estándar IEEE 802.16 [2] y trabaja sobre una topología punto a multi-punto, donde la Estación Base (*Base Station* o BS) administra el recurso de ancho de banda (A dB) para distribuirlo entre las distintas Estaciones Suscriptoras (*Subscriber Stations* o SSs) (Fig. 1). Estas redes transmiten los datos utilizando la técnica de propagación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), lo que ayuda a aprovechar mejor el espectro electromagnético [3].

WiMAX tiene la capacidad de ofrecerle un trato preferencial a flujos específicos de datos, dándoles prioridad o reservándoles más A dB. Para ello dispone de diferentes niveles de Calidad de Servicio (*Quality of Service* o QoS) para diferentes tipos de aplicaciones. En el estándar IEEE 802.16.a (WiMAX fijo), se contemplan 4 diferentes clases de servicio: *Unsolicited Grant Service* (UGS), donde se provee A dB sin solicitarlo y de forma regular; *Real-time Polling Service* (rtPS), donde se provee A dB bajo solicitud de SS corriendo aplicaciones en tiempo real, en cuyo caso el planificador de la BS respeta ciertas restricciones de tiempo; *Non-real-time Polling Service* (nrtPS), donde a diferencia del anterior las condiciones de cumplimiento del otorgamiento del A dB se relajan un poco, y finalmente, *Best Effort* (BE) donde se transmite el tráfico de la Internet y no se ofrece ningún tipo de garantía. Inclusive, por lo general, en BE

se utiliza el AdB que dejan disponible las otras clases de servicio [1, 3].

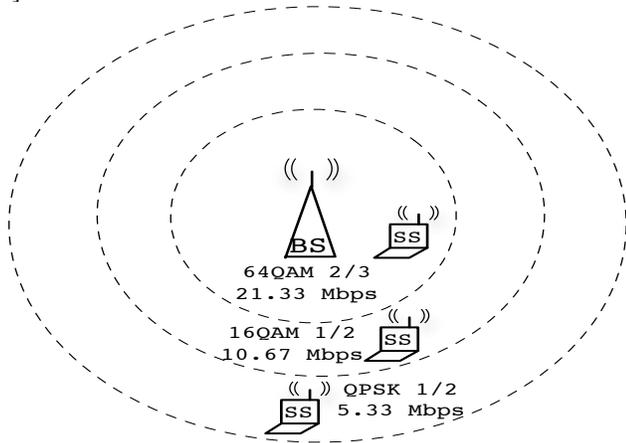


Fig 1. Efecto de los esquemas de modulación y codificación en el ancho de banda bruto ofrecido en las Redes 802.16.

En WiMAX los flujos de datos pueden ser modulados de distintas formas, dependiendo principalmente de la tasa de error permitida para la cobertura deseada. En general, para mayores tasas brutas de transmisión, menores serán las distancias cubiertas. Algunos de los esquemas soportados por el estándar 802.16 son: BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) y QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) [1], así como se muestra en la Fig. 1.

Cada trama puede ser individualmente dividida para tráfico bidireccional, sea por tiempo (*Time Division Duplexing* o TDD) o por frecuencia (*Frequency Division Duplexing* o FDD). A su vez se dispone de una subtrama de bajada (*Down-Link* o DL) que corresponde a las transmisiones que van desde la BS hacia las SSs, y de la subtrama de subida que va de las SSs a la BS (*Up-Link* o UL). Como se observa en la Fig. 2, la proporción del uso del tiempo o de la frecuencia en cada sub-trama, puede ser adaptada según la necesidad de AdB requerida por cada clase de servicio o en su defecto por el conjunto de flujos. El AdB para la DL es asignado según la carga de tráfico en el sistema de colas de la BS. En cambio para las UL depende de la eficiencia con que las SSs puedan informar a la BS a través de solicitudes explícitas dentro del sistema de manejo de AdB.

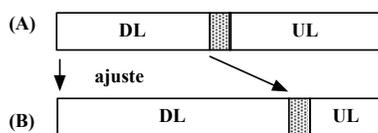


Fig. 2. Ajuste de la capacidad de la trama WiMAX en función del tráfico.

A. Gestión del Ancho de Banda en Redes 802.16

La gestión del AdB en Redes 802.16 se refiere más específicamente, a la planificación del uso de este recurso por las SSs. Entonces, el AdB para la UL es asignado a través de lo que en adelante llamaremos, un sistema de gestión colaborativa de ancho de banda o, **Mecanismo de Solicitud y Otorgamiento de Ancho de Banda** (MSOAB), que consiste en una estimación que hace la BS sobre las necesidades de AdB, luego de procesar pequeños paquetes de solicitud de ancho de banda enviados por las SSs (*Bandwidth Requests* o BW-REQs), con el fin de realizar la asignación del UL de forma adecuada. Estos paquetes son enviados durante un corto período inter-trama accesible bajo un esquema simple de uso del medio; durante cada trama, las estaciones escogen aleatoriamente, de manera uniforme, una celda (o slot) para hacer pasar su respectivo BW-REQ en uno de los canales de contención recomendado en [2].

Las SSs pueden enviar dos tipos de BW-REQs: Incremental, donde el BW-REQ indica la cantidad de AdB que necesitan para transmitir en ese momento, lo que hace que la BS sume esta cantidad a la percepción que está actualmente en la tabla; Agregado, donde en BW-REQ indica la cantidad de AdB total que requieren, lo que hace que la BS sustituya el valor de la tabla por el que indica el BW-REQ.

Para prestar el servicio a la suite de protocolos TCP/IP (para el acceso a la Internet), se usa la clase de servicio BE, que está diseñado para flujos de datos que no requieren un mínimo de AdB y pueden ser tratados en función del AdB disponible.

Según Arcia-Moret y otros [5], existen varias políticas para el manejo de la percepción del AdB que afectan al sistema MSOAB, entre ellas están: RGP (*Reset per Grant Policy*), donde la BS luego de asignar AdB a una SS, coloca en 0 el valor de la percepción de AdB en la tabla, incluso cuando no fue otorgado todo el AdB requerido; DGP (*Decrease per Grant Policy*), donde la BS actualiza la percepción de AdB en la tabla en el momento que el planificador otorga AdB a la SS; y DDA (*Decrease at Data Arrival*), donde la BS actualiza la percepción de AdB en la tabla cuando llegan paquetes de data al servidor. El manejo de los BW-REQs en la política DDA, puede ser dividido a su vez en dos tipos adicionales: iDDA (*Immediate BW-REQ handling DDA*), cuando la BS procesa el BW-REQ una vez que este llega; dDDA (*Delayed BW-REQ handling DDA*), cuando la BS coloca el BW-REQ en un cola, para procesarlo y actualizar la tabla en la siguiente trama. Este último mecanismo advierte un potencial punto de optimización dentro del MSOAB, y es en base a ello que proponemos un nuevo mecanismo en este trabajo.

Arcia y otros [5] encontraron que las transmisiones de datos

en Redes WiMAX se pueden mejorar enfocándose en el sistema de manejo de la percepción de las necesidades de AdB para el tráfico transporte. Mediante simulación en NS-2 [11], y utilizando el modelo adoptado por el WiMAX Forum [12], se evaluó el desempeño de políticas para el manejo de los BW-REQs y observo una notable reducción en probabilidad de colisión de los BW-REQs, y una mejora en el rendimiento agregado de los flujos transporte. Algunas de las políticas evaluadas fueron iDDA y dDDA.

Este artículo refleja la continuación de los trabajos de Arcia-Moret y otros [5, 7, 8, 9]; y muestra lo obtenido en Uzcátegui y Arcia-Moret [10]. Aquí presentamos un componente inédito puesto que la gestión de la percepción del ancho de banda en la BS, ha sido muy poco estudiada en la bibliografía. Mucho se ha dicho sobre los planificadores o el cálculo del período de contención, pero no sobre la gestión de la percepción. En resumen, este artículo recuenta los puntos relevantes del sistema de gestión de la percepción de consumo de ancho de banda a través de una implementación por simulación. Este estudio es necesario realizarlo por simulación, pues en el mercado no existen equipos WiMAX que permitan acceso al chipset para hacer los estudios propuestos en este artículo.

III. MODELO DE GESTIÓN DE ANCHO DE BANDA CON RETARDO ALEATORIO

En este trabajo, proponemos una extensión a la política dDDA y reportada en [5], descrita en la sección anterior. Esta política la denominamos rDDA (*Random delayed BW-REQ handling - DDA*) y consiste en hacer que la demora expresada en número de trama para procesamiento de los BW-REQs, sea aleatoriamente variable. Para ello, al momento en que llega el BW-REQ a la BS, se genera un número aleatorio λ_i ($1 \leq \lambda_i \leq \tau$) que etiqueta al BW-REQ y que indica la cantidad de tramas que debe esperar éste para ser procesado, es decir, para que la cantidad de AdB solicitada se vea reflejada en la tabla de percepción. La generación del número aleatorio λ_i se obtiene por medio de una distribución de probabilidad uniforme.

La cantidad máxima de tramas que puede esperar un BW-REQ para ser procesado (τ), tiene una estrecha relación con el *timer T16*, el cual está asociado a la espera de la respuesta de la BS a cualquier solicitud hecha a través de un BW-REQ. Cuando *T16* expira, indica que la última solicitud de AdB se ha perdido o no ha podido ser atendida. De esta manera queda a potestad de la SS enviar una nueva solicitud para su estado actual de necesidad de AdB.

A. La política rDDA en marcha

La idea básica de ésta política se muestra en el diagrama de la Fig. 3. En T_1 la SS solicita AdB a través de un BW-REQ para transmitir 100 bytes. Luego el BW-REQ es recibido por la BS y reservado para ser procesado λ tramas después (en este ejemplo, $\lambda=1$). Dado que se está incorporando una demora en el

procesamiento del BW-REQ en ciertos escenarios es posible tener algunas colas de procesamiento vacías. En este caso particular, el algoritmo es capaz de buscar la próxima cola con BW-REQs pendientes por procesar. En T_2 , transcurridas λ tramas, la BS procesa el BW-REQ, actualiza la tabla de percepción de AdB y otorga los 100 bytes solicitados, para que la SS pueda transmitir en la próxima sub-trama UL. En T_3 , luego de la aprobación de la BS, la SS puede transmitir 100 bytes de data. Éstos al llegar a la BS, son descontados de la percepción de esa SS reflejada en la tabla. Como una restricción del sistema, para poder realizar otras solicitudes de AdB, la SS debe esperar que se le otorgue el AdB solicitado o que expire el *T16* asociado a ese BW-REQs.

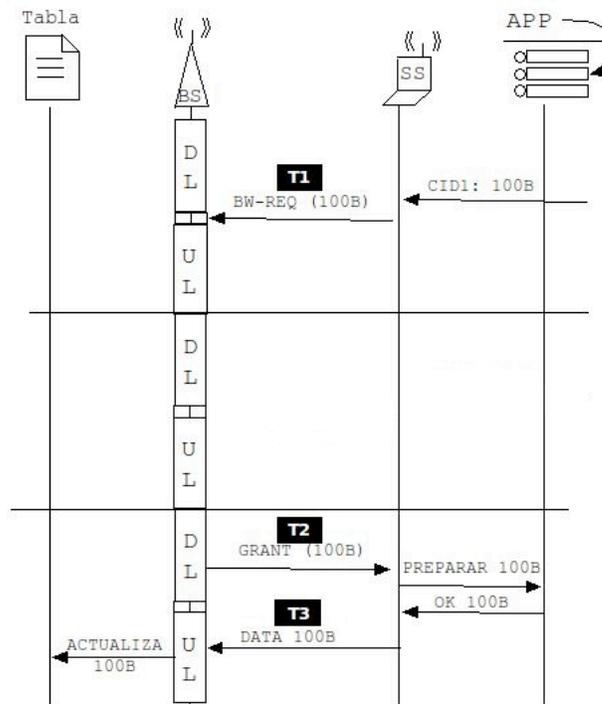


Fig 3. Esquema de funcionamiento de la política rDDA.

B. Implementación

Esta política se implementó en código fuente C++ y scripts TCL para ser utilizados en NS-2 (*Network Simulator 2*) [11] versión 2.34, que es el simulador más utilizado en el área de las redes. También se utilizó la biblioteca TCP-LAB para facilitar la captura de varias métricas de tráfico TCP. Adicionalmente, se usó el módulo para el MSOAB de WiMAX implementado en [5] usando [12].

Uno de los atributos principales en la implementación de la clase de la nueva política, es una lista circular de colas que contienen las distintas solicitudes o BW-REQs (ver Fig. 4). El número de colas es de τ . Cada una de estas colas contiene los BW-REQs que van a ser procesados en una trama futura. También, se usa un indicador a la trama actual para indicar el

grupo de BW-REQs que se van a procesar en la trama actual que será donde se construirán los mapas de uso de la trama (DL-MAP). Este cursor cambia, conforme avanza el tiempo y el sistema debe ocuparse de una nueva trama.

El diseño de esta estructura fue concebido con dos premisas. La primera es que, mediante una estructura de lista circular de colas se requiere dar adaptabilidad al sistema para repartir adecuadamente los BW-REQs a lo largo de las tramas para no congestionar en una sola trama ráfagas de solicitudes cuando exista un alza en la demanda, haciendo al sistema escalable. La segunda, es que se introduce la posibilidad clara del manejo de la prioridad en la gestión de BW-REQs en un potencial sistema de colas (por clases de servicios como está concebido WiMAX) mientras que para tráfico BE, se respeta la equidad entre los flujos a través de un simple algoritmo de repartición aleatoria de los BW-REQ.

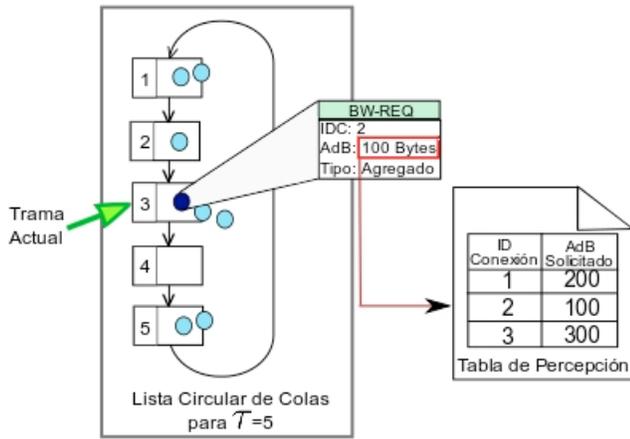


FIG. 4. Diseño del sistema de lista circular de colas para la política rDDA.

IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este estudio se analizó la política rDDA con los valores de $\tau = \{3, 5, 7\}$, con el objetivo de ver el comportamiento cuando se coloca esta política ligeramente diferente a la dDDA (donde el valor τ equivalente sería 1) y para evitar el impacto que pueda tener sobre 'retransmisiones' de BW-REQs debido a expiraciones del valor T_{16} . Se comparó su desempeño con las políticas iDDA y dDDA tanto como para corroborar la correctitud de nuestra implementación, como para hacer comparaciones preliminares con las políticas implementadas en [5]. Se simuló para un número considerable de SSs que varía entre 2 y 32. La topología que se usó en la simulación es la que se muestra en la Fig. 5. Donde un servidor está conectado a la BS de forma cableada por un enlace de 100 Mbps y un retardo de 2 ms. Luego, las SSs están registradas previamente en la BS para cuando los flujos comienzan a circular. Este escenario corresponde al tipo Data-Center.

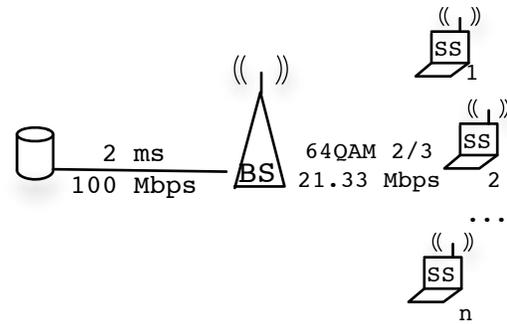


FIG. 5. Topología utilizada para las pruebas de simulación.

Para cada punto de las gráficas mostradas en la siguiente sección, se realizaron simulaciones de 1000 segundos, usando la modulación $64 QAM \frac{3}{4}$. La duración de la trama se colocó en 5 ms, y la distribución de las subtramas de bajada y de subida fue 50% del AdB para cada una. Cada SS tuvo una conexión con el servidor donde se transmitieron flujos de datos de una aplicación FTP (en modo descarga o carga de un archivo dependiendo del escenario), la cual está basada en el protocolo TCP. Estos y otros parámetros utilizados en la simulación se resumen en la Tabla I.

TABLA I: PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN

Parámetro	Valor
Frecuencia Portadora	5.3 GHz
Ancho de Banda del Canal	7 MHz
Modulación y Codificación	64 QAM $\frac{3}{4}$
Proporción UL:DL	1:1
Tipo de Cola BS	DropTail
Tamaño de la Cola BS	50 paquetes
Duración de la Trama	5 ms
Tipo de BW-REQs	Agregado
Período de Contención	10 slots
--	--
Aplicación	FTP
Versión TCP	Newreno
Tamaño del segmento TCP	960 Bytes
Esquema de ACKs	Delayed ACK
Duración de la simulación	1000 s

Los escenarios de prueba considerados fueron: Escenario de Descarga, en el que cada una de las SSs descarga un archivo ubicado en el servidor; Escenario de Carga, en el que cada SS coloca un archivo al servidor; y Escenario de Tráfico Cruzado, en el que la mitad de las SSs están descargando un archivo del servidor, y la otra mitad lo están cargando al servidor.

Las métricas utilizadas para la evaluación del rendimiento de la transmisión de datos fueron: *Rendimiento Agregado del Sistema* (Mbps), que corresponde a la suma de todos los paquetes de datos que son entregados por unidad de tiempo; *Probabilidad de Colisión de BW-REQs*, la probabilidad que tiene un BW-REQ de colisionar cuando se envía durante el período de contención

inter-trama; *Tasa Agregada de expiraciones de T16*, correspondiente al promedio del total de expiraciones del timer *T16* en el sistema por unidad de tiempo; *Índice de justicia de Jain* [6], es una medida popular para el tráfico transporte que indica la equidad en la distribución de los recursos del sistema (en nuestro caso particular es evaluaremos el consumo equitativo de AdB); *Proporción del UL utilizada*, promedio de la relación entre el AdB *usado* en la sub-trama UL y el AdB *disponible* en esa sub-trama; *Proporción del DL utilizada*, correspondiente al promedio de la relación entre el AdB *usado* en la sub-trama DL y el AdB *disponible* en esa sub-trama; *Promedio de Ocupación de la Cola de Procesamiento de BW-REQ*, cantidad promedio de BW-REQs que están en cola al momento en que se van a procesar, que en promedio puede considerarse también como la cantidad de BW-REQs enviados por trama.

V. RESULTADOS

Para los escenarios de prueba en todos los casos se configuran de 2 a 32 SSs con flujos TCP de larga duración y según lo que se especifica en la Tabla I. Los resultados mostrados en las gráficas corresponden a muestras promediadas luego de 1000 s de simulación, con un previo período de calentamiento donde se espera que la fase inicial de TCP (descubierta del AdB con *Slow Start*) no muestre su impacto. Pues, esta etapa por si sola puede tratarse en un trabajo aparte. La diferencia en las siguientes subsecciones radica en la dirección de los datos a transmitir.

A. Escenario de Descarga

Este escenario corresponde a los flujos TCP llevando datos desde la BS hasta las SSs. Así como muestra la Fig. 4, los clientes SS descargan datos de un servidor en un escenario de Data Center.

En la Fig. 6, observamos a modo de corroboración, como la política implementada según la Sección III.A, rDDA (con $\tau = \{3, 5, 7\}$) presenta un rendimiento similar a la política dDDA en todos los casos. Esto además nos muestra que la demora creada para el tratamiento de los BW-REQ no afecta el rendimiento de las conexiones TCP de descarga.

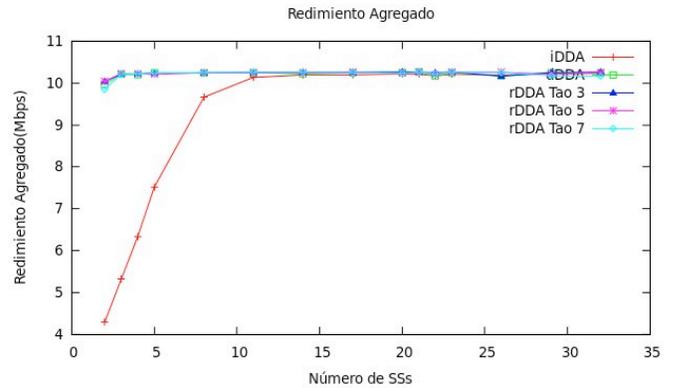


Fig. 6. Rendimiento agregado de las conexiones TCP en modo descarga.

En la Fig.7 observamos la tasa agregada de las expiraciones para $T16 = 100$ ms. Recordemos que el timer *T16* expira cuando un BW-REQ no ha sido atendido antes de que transcurran *T16* unidades de tiempo o cuando se ha perdido producto de una colisión (que corresponde a la gran mayoría de nuestros escenarios). Observe igualmente que para la política rDDA la tasa de expiración disminuye en un 20% para cargas altas (22 SSs en adelante) que corresponde a la mejor organización de los BW-REQ a lo largo de las colas de tratamiento demorado ($\tau = \{3, 5, 7\}$). Nótese que, producto el mismo efecto es observable al tener una probabilidad de colisión (p) menor para cargas altas donde para $nSS > 22$, p pasa de 0.23 a 0.16.

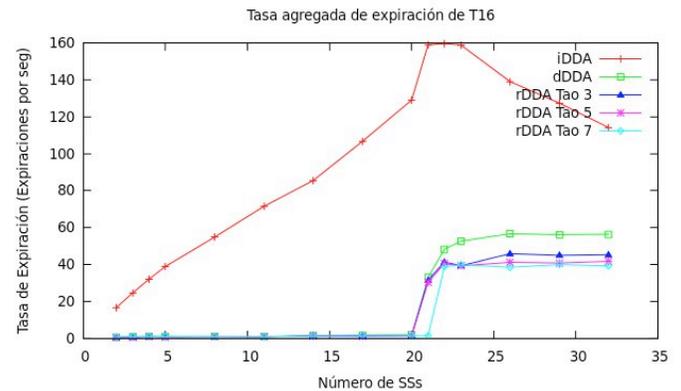


Fig. 7. Tasa agregada de expiraciones del timer *T16*.

La Fig. 8 muestra la proporción de AdB utilizada en la subtrama de subida. La organización de las solicitudes de AdB producto de la política rDDA en cualquiera de las configuraciones mostradas, hace posible que las subtramas UL puedan ser mejor aprovechadas para cargas superiores a 15 SSs. Esta métrica nos dice que la transmisión de los distintos flujos TCP se hace más suavemente. Esta suavidad se refiere a una transmisión con menos ráfagas, que en otro caso son producto de ACKs acumulados sin ser regularmente servidos (caso de la política dDDA).

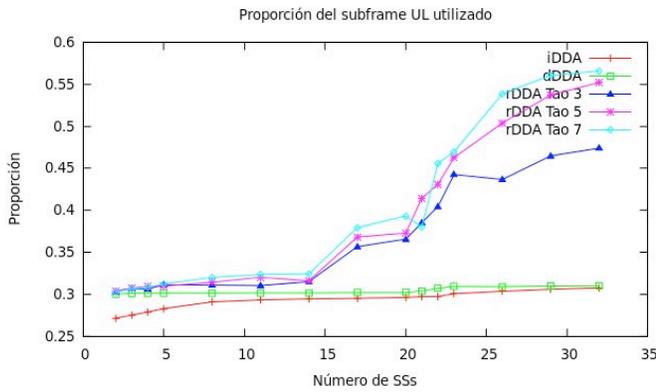


Fig. 8. Proporción utilizada de la subtrama de subida (UL)

En la Fig. 9 se puede observar que con el uso de la política rDDA, se reduce el envío de BW-REQs en el sistema. Que complementado con lo visto en Fig. 6, esta reducción no afecta el rendimiento del sistema.

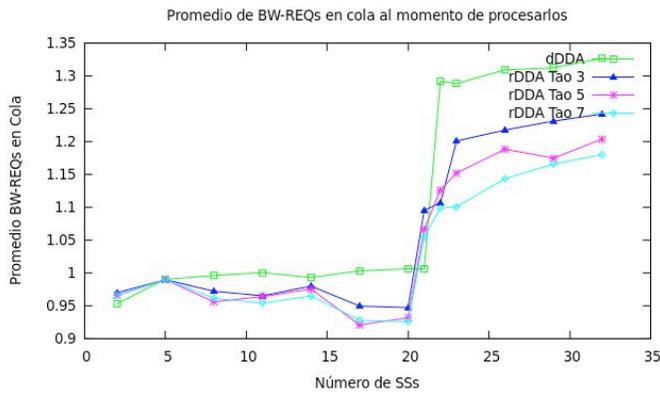


Fig. 9. Promedio de BW-REQs en cola al momento de ser procesados, o de forma equivalente, promedio de BW-REQs enviados por trama en la red.

B. Escenario de Carga

Este escenario corresponde a flujos TCP enviados desde las SSs, es decir, los datos van en dirección de la BS y hacia el servidor. En este escenario observamos que la política rDDA obtuvo, en líneas generales, el mismo rendimiento reportado en Arcia y otros [5]. Así, referimos al lector interesado en estos resultados consultar la referencia citada.

C. Escenario de Tráfico Cruzado

Este escenario se contempla transferencias de datos en ambas direcciones (carga y descarga) de forma simultánea. En este caso, podemos observar el impacto de la mezcla de paquetes de datos y ACKs en una misma trama.

En la Fig. 10 observamos el rendimiento agregado para las conexiones de carga y descarga en el escenario de tráfico cruzado. En este escenario apreciamos las bondades de la política rDDA respecto a dDDA, donde se obtiene un incremento en el rendimiento agregado para cargas inferiores a 15 SSs de hasta un 22%. Esta ganancia la atribuimos a lo complementado por la Fig. 11, donde podemos ver que la subtrama de subida está casi en su totalidad siendo utilizada durante las transferencias. Es decir, que la subtrama de bajada es subutilizada para menos de 15 estaciones transmitiendo simultáneamente. Sin embargo, nótese que rDDA aprovecha sistemáticamente mejor la repartición del AdB de bajada.

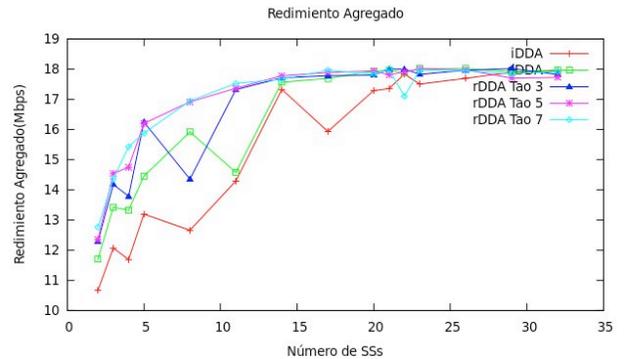


Fig. 10. Rendimiento agregado de todas las conexiones en escenario de tráfico cruzado (carga y descarga)

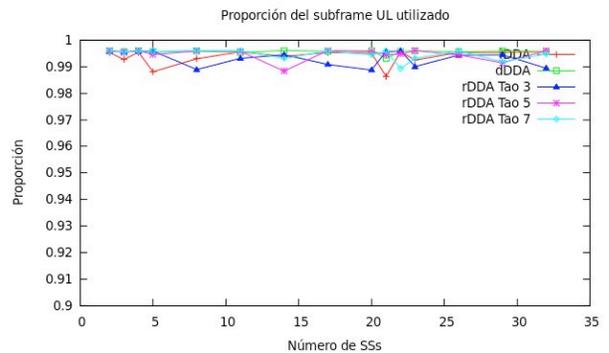


Fig. 11. Proporción de uso de la subtrama de subida (UL) en el escenario de tráfico cruzado.

Por último, la Fig. 12 muestra que los ACKs compitiendo por recursos en la dirección SS-BS tienen un impacto en el aprovechamiento equitativo del AdB de descarga. Vemos también que el esparcimiento de las solicitudes hechas por rDDA con $\tau = 3$ mantiene un índice de justicia promedio de 0.95, que comparado al índice de 0.9 arrojado por dDDA nos muestra que

esparcir las solicitudes y tratarlas a posteriori trae beneficios para el uso equitativo del A dB entre los flujos.

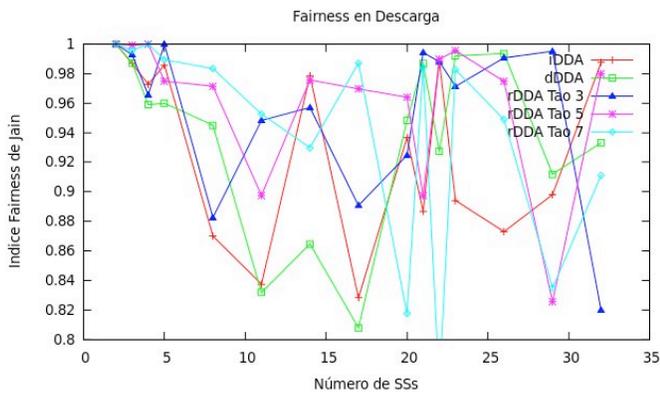


Fig 12. Índice de justicia de Jain entre los flujos de descarga para el escenario de tráfico cruzado.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se diseñó, implementó y evaluó una nueva política llamada “Gestión del Ancho de Banda con Retardo Aleatorio” (rDDA) para la gestión del ancho de banda administrado por la clase de servicio *Best Effort* en Redes 802.16 (WiMAX). Se elaboró exhaustivamente sobre el modelo de tratamiento de las solicitudes de ancho de banda hechas por la estaciones suscriptoras. Al respecto observamos que, como valor añadido a las políticas desarrollada por Arcia y otros [5] en trabajos previos, rDDA es capaz de distribuir más eficientemente el ancho de banda en las descargas, tanto en el caso de flujos exclusivamente en descarga como el caso de tráfico cruzado. Esto representa un beneficio para lo que corresponde al caso común del uso de la Internet, donde los usuarios son consumidores de la información.

La reducción en la tasa de envío de BW-REQs que produce el uso de la política rDDA respecto a dDDA, principalmente cuando hay más de 20 SSs en el escenario de descarga, no afecta en rendimiento del sistema como se puede observar en las respectivas gráficas del escenario de descarga (ver Fig 5 y Fig 8).

Durante la ejecución de este trabajo hemos observado también que el ancho de banda puede ser utilizado mejor aún si prestamos atención al cálculo adecuado del *timer T16* (ver Fig. 6, a partir de 20 SS). De igual manera hemos observado que los paquetes transportados en la sub-trama de bajada pueden ser reorganizados mejor para evitar el fenómeno de subutilización del ancho de banda. Estas observaciones son objeto de tratamiento actual para reportes futuros.

REFERENCIAS

- [1] C. Cicconetti, L. Lenzi, E. Mingozzi, and C. Eklund. Quality of service support in IEEE 802.16 networks. *IEEE Network*, 20(2):50–55, 2006.
- [2] IEEE Computer Society and IEEE Microwave Theory/Technique Society. IEEE 802.16-2009, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Agosto 2012.
- [3] A., Arcia-Moret, «Modifications du mecanisme d'acquittement du protocole TCP: évaluation et application aux réseaux filaires et sans fils.» PhD Thesis, TELECOM Bretagne, Rennes, France 2009.
- [4] J. Delicado, F. Delicado, and L. Orozco-Barbosa. Study of the IEEE 802.16 contention based request mechanism. *Telecommunication Systems*, 38(1-2), June 2008
- [5] A. Arcia-Moret, N. Montavont, A. Paltrinieri, and D. Ros. Improving uplink bandwidth management in 802.16 networks. In *In Proceedings of IEEE Local Computer Networks (LCN)*, Zürich, October 2009.
- [6] D-M. Chiu and R. Jain. Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks. *Computer Networks ISDN Systems*, 17(1):1–14, 1989.
- [7] Alejandro Paltrinieri. Improving TCP performance on 802.16 networks. Tesis de Maestría, Universidad de Buenos Aires, 2009.
- [8] Andrés Arcia-Moret; Yubo Yang; Nicolas Montavont; and David Ros. A study of bandwidth-perception management mechanisms in ieee 802.16 networks. Technical Report, arXiv.org, Abril 2010.
- [9] Yubo Yang; Andrés Arcia-Moret; Nicolas Montavont; y David Ros. On the impact of ieee 802.16 bandwidth request-grant mechanisms on tcp. In *Proceedings of Global Communications Conference, Exhibition and Industry (GLOBECOM)*, Diciembre 2010.
- [10] Diego Uzcátegui y Andrés Arcia-Moret. Diseño, implementación y prueba de un mecanismo de gestión de ancho de banda para flujos TCP en Redes 802.16. Tesis, Universidad de Los Andes, Mérida - Venezuela, Mayo 2012.
- [11] The Network Simulator - NS-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [12] The NS-2 WiMAX model. The National Institute of Standards and Technology (NIST). USA. 2007
http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm_tools.cfm