

# Técnicas de Asignación Multicanal de Recursos Radio Móviles en Entornos de Tráfico Multimedia

M. Carmen Lucas Estañ<sup>(1)</sup>, Javier Gozávez<sup>(1)</sup>, Joaquín Sánchez Soriano<sup>(2)</sup>,  
M. Pulido<sup>(2)</sup> y J. Evangelio<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

<sup>(2)</sup>Centro de Investigación Operativa.

Universidad Miguel Hernández. Avda de la Universidad, 03202 Elche. Teléfono: 96 665 8955, Fax: 96 665 8903

[maria.lucas@alu.umh.es](mailto:maria.lucas@alu.umh.es), [j.gozalvez@umh.es](mailto:j.gozalvez@umh.es), [joaquin@umh.es](mailto:joaquin@umh.es)

[www.uwicare.umh.es](http://www.uwicare.umh.es)

**Abstract** — Cada vez son más los servicios a los que deben dar soporte los sistemas de comunicaciones móviles y más escaso el espectro de frecuencias disponible para ello, por lo que su uso eficiente es un asunto de gran interés. La operación multicanal ha sido propuesta para aumentar la tasa de transmisión y disminuir los retardos de transmisión de los usuarios, pero además se hacen necesarias políticas de reparto de recursos radio adecuadas que garanticen un reparto justo entre los distintos usuarios y eviten situaciones de bloqueo en el acceso a los canales. Estas políticas de reparto resultan muy interesantes en entornos de tráfico heterogéneo, en los cuales cada clase de servicio presenta requisitos de calidad de servicio diferentes. En este contexto, este trabajo propone y evalúa novedosos esquemas de reparto multicanal de recursos radio para operar en entornos con tráfico heterogéneo. Estas técnicas están basadas en funciones de utilidad y reglas de bancarrota y su objetivo es obtener la máxima eficiencia de los recursos garantizando un reparto justo entre los distintos usuarios.

## I. INTRODUCCIÓN

La gran demanda de aplicaciones multimedia impone a los operadores móviles la necesidad de utilizar los escasos recursos radio disponibles de forma eficiente. Las diferencias en términos de calidad de servicio (QoS) que estos servicios presentan junto a la capacidad de operación multicanal de los sistemas de comunicaciones móviles actuales ofrecen la posibilidad de realizar repartos multicanales que aprovechen dichas diferencias.

En el diseño de un mecanismo de reparto multicanal son varios los factores que deben ser considerados. En primer lugar, un mecanismo de reparto debe tener un coste computacional viable para poder ser implementado en sistemas reales. Como muestra el trabajo presentado en [1], considerar todos los posibles patrones de distribución de los canales en una asignación multicanal conlleva un coste computacional excesivo para los sistemas actuales. Además, este mecanismo debe ser capaz de asignar el número correcto de recursos radio a cada usuario según el servicio demandado y la carga actual del sistema, tal y como muestra el trabajo presentado en [2]. Este trabajo propone una política de asignación *weighted round robin* y demuestra la necesidad de adaptación de los pesos asignados a cada servicio según la carga del sistema. En este contexto, varios son los trabajos que abordan el dilema de la asignación multicanal. Entre ellos destaca [3], el cual sugiere el uso de funciones de utilidad para caracterizar a los distintos usuarios, realizando la definición de éstas en base a la calidad del canal radio experimentada por el usuario. Un ejemplo de una técnica que intenta realizar un reparto justo de los recursos entre los distintos usuarios se encuentra en [4]. Esta técnica realiza la estimación del ancho de banda necesario por cada usuario para garantizar una transmisión adecuada y según esta estimación, los recursos son distribuidos en partes iguales entre los distintos usuarios. Sin embargo, [4] trabaja con bandas de frecuencias, un recurso considerado continuo e infinitamente divisible, de manera contraria a este trabajo, el cual se centra en políticas de asignación multicanal en las cuales los recursos radio (intervalos temporales) son de naturaleza discreta. Entre varios trabajos abordando el dilema de la asignación multicanal, [5] destaca por introducir el uso de conceptos de economía al problema de la asignación multicanal. Este trabajo propone subastas de tipo Vickrey como técnica de reparto realizadas en función del precio que los usuarios están dispuestos a pagar por los recursos radio.

Este trabajo expande el estudio sobre el potencial de las teorías económicas para abordar el problema de la asignación multicanal en sistemas de comunicaciones móviles con tráfico heterogéneo, proponiendo la aplicación de técnicas de reparto de la teoría de bancarrota a este problema. En situaciones de bancarrota, el valor de una empresa es inferior a la suma de sus deudas, siendo necesarias metodologías adecuadas para dividir su valor neto entre sus acreedores [6]. Debido a la similitud que presenta esta situación con el dilema de la asignación multicanal en entornos de tráfico heterogéneo con una alta carga de usuarios, este trabajo propone un esquema de reparto multicanal basado en dicha teoría. Además de esta propuesta, se presenta un esquema de reparto cuyo objetivo es conseguir la máxima utilidad del sistema.

## II. REPARTO MULTICANAL DE LOS RECURSOS RADIO

Este trabajo propone esquemas de reparto de recursos radio que utilizan la diversidad de requisitos de QoS impuestos por los distintos servicios en un entorno de tráfico heterogéneo para conseguir la máxima capacidad del sistema utilizando al máximo los recursos disponibles.

### A. Funciones de utilidad

La definición de funciones de utilidad adecuadas para cada servicio es una de las claves para lograr los objetivos citados, pues en ellas basan sus decisiones las técnicas de reparto propuestas. Para la definición de las funciones de utilidad se ha considerado el nivel de satisfacción (concepto subjetivo dependiente de la percepción del usuario) logrado por el usuario según el número de recursos radio asignados y el servicio demandado; este trabajo considera tráfico heterogéneo compuesto por transmisiones de correo electrónico (*background*), web (interactivo) y vídeo H.263 en tiempo real (con velocidades medias de 16, 32 y 64kbps). Siguiendo las recomendaciones del 3GPP [7], las transmisiones de navegación web y correo electrónico serán consideradas satisfactorias si una página web o un correo electrónico es transmitido en un tiempo no superior a 4 segundos. Las transmisiones de vídeo en tiempo real serán consideradas satisfactorias si las tramas de vídeo son transmitidas de forma completa antes de que la siguiente trama comience a ser transmitida. Para la definición de las funciones de utilidad se establecen los niveles de satisfacción mínimo, medio y máximo mostrados en la tabla I. Estos niveles de satisfacción están definidos según la tasa de transmisión para los servicios de navegación web y correo electrónico, y al porcentaje de tramas transmitidas a tiempo para el servicio de vídeo en tiempo real.

TABLA I  
NIVELES DE SATISFACCIÓN DEL USUARIO

	QoS mínimo	QoS medio	QoS máximo
Navegación web	32kbps	64kbps	128kbps
Correo electrónico	16kbps	32kbps	64kbps
Vídeo H.263	75%	95%	100%
Utilidad establecida	0.95/4	0.95/2	0.95

El proceso seguido para la definición de las funciones de utilidad ha sido omitido en este artículo debido a los límites de extensión, mostrando el resultado en la figura 1. Esta figura muestra los valores de utilidad empleados según el número de recursos radio asignados y el tipo de servicio. Los recursos radio en este caso corresponden a intervalos de tiempo TDMA (TS), pues ha sido utilizado el sistema de comunicaciones móviles EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution*) para evaluar las técnicas propuestas, siendo 8TS el número máximo de recursos que pueden ser asignados a un usuario. En la figura 1 se observa cómo algunos servicios necesitan más de un recurso para poder alcanzar un valor de utilidad mayor que cero como consecuencia del nivel mínimo de QoS establecido en la tabla I.

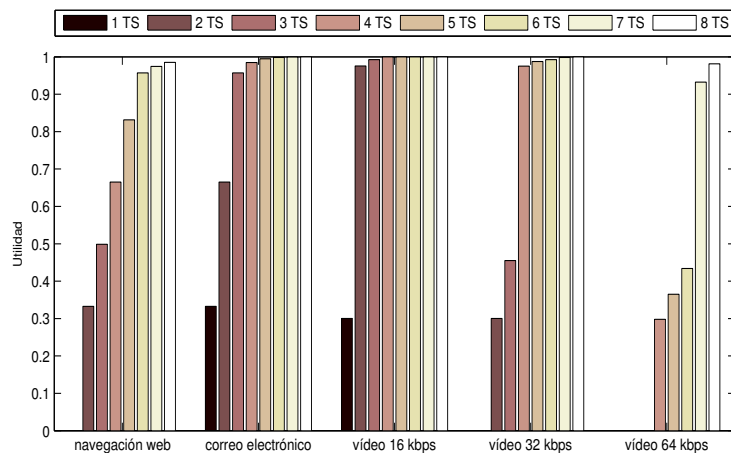


Fig. 1. Valores de utilidad según número de recursos radio y tipo de servicio.

### B. Discrete CEL for Mobile radio resource distribution (DCELM)

Son muchas y diversas las situaciones en las que varios agentes reclaman más de lo que es posible repartir y todas ellas pueden ser descritas matemáticamente de la misma manera, siendo los principios para su análisis esencialmente los mismos. La teoría de bancarrota, diseñada para dar solución a este dilema, puede ser considerada buena candidata para abordar el problema de la asignación multicanal en sistemas de comunicaciones móviles. En particular, este trabajo evalúa el potencial

de la regla de reparto de la teoría de bancarrota *Constraint Equal Loss* (CEL) [6]. Para la definición formal de esta regla se considera una cantidad  $E \in R_+$  que debe ser dividida entre  $N$  agentes cuya suma de demandas sobrepasan  $E$ . Para cada  $i \in N$ ,  $c_i \in R_+$  denota la demanda del agente  $i$ , y  $c \equiv (c_i)_{i \in N}$  el vector de demandas. Así pues, un problema de demandas se denota por el par  $(c, E) \in R_+ \times R_+$ , tal que  $\sum c_i \geq E$ . La regla CEL asigna a cada usuario una cantidad de recursos tal que las pérdidas sufridas por todos los participantes en el reparto sean iguales, sin que ningún agente reciba una cantidad negativa. Según esta regla, los agentes que obtienen mayores niveles de satisfacción son aquellos con las mayores demandas. La regla de reparto CEL se define como:  $CEL_i(c, E) \equiv \max\{0, c_i - \lambda\}$ , donde  $\lambda$  se elige de manera que  $\sum \max\{0, c_i - \lambda\} = E$ . CEL suma las cantidades de recursos demandadas por los agentes para obtener la máxima satisfacción de usuario y calcula la diferencia entre esta cantidad y la cantidad de recursos disponibles  $\sum c_i - E$ . El valor resultante es dividido en partes iguales entre los  $N$  agentes participantes en el reparto  $(\sum c_i - E)/N$ , representando dicha cantidad el número de recursos que cada agente perderá respecto a su demanda máxima. Si para algún agente ( $k$ ) la pérdida calculada resulta mayor que su propia demanda  $(\sum c_i - E)/N > c_k$ , dicho agente recibirá una cantidad de recursos igual a cero y la diferencia entre ambas cantidades será repartida en partes iguales entre el resto de agentes  $((\sum c_i - E)/N - c_k)/(N-1)$  sumándose a las pérdidas iniciales de cada agente.

Para aplicar la regla CEL al problema que se aborda en este trabajo, se propone la definición de la técnica *Discrete CEL for Mobile radio resources distribution* (DCELM). DCELM ha sido diseñada para distribuir recursos de naturaleza discreta (intervalos temporales para sistemas TDMA o códigos para CDMA) conservando los principios de CEL; DCELM realiza el reparto de recursos discretos intentando obtener las mismas pérdidas para todos los usuarios. Sólo recientemente ha sido abordada la posibilidad de extender las reglas de reparto de bancarrota al manejo de recursos discretos [8], aunque este trabajo, al igual que la técnica CEL original, considera valores de utilidad que son directamente proporcionales al número de recursos asignados. De manera contraria, DCELM considera valores de utilidad no proporcionales al número de recursos asignados, representando las características de un escenario con tráfico heterogéneo donde usuarios de distintos servicios pueden experimentar niveles de satisfacción diferentes con el mismo número de recursos radio asignados. Por otro lado, es importante notar que debido a que todos los usuarios aspiran a alcanzar el valor de utilidad 1, igualar las pérdidas de utilidad sufridas por los usuarios equivale a igualar la utilidad alcanzada por cada uno de ellos. De esta manera, DCELM comienza el reparto asignando a cada usuario el número de recursos correspondiente a su demanda máxima. A partir de este punto, arrebatando recursos a los usuarios hasta que el número de recursos asignados total sea igual al número de recursos disponibles. Éste será un proceso secuencial, quitando cada recurso al usuario que mayor valor de utilidad presente en cada momento. Si varios usuarios poseen el mismo valor de utilidad, el usuario menos prioritario será el primero en perder el recurso asignado según las siguientes prioridades: vídeo a 64kbps (mayor prioridad), vídeo a 32kbps, vídeo a 16kbps, navegación web y correo electrónico (menor prioridad).

### C. MAXimum Utility Increase (MAUI)

Este trabajo también propone el esquema *MAXimum Utility Increase* (MAUI), cuyo objetivo es maximizar el valor de utilidad global alcanzable con los recursos disponibles. Con tal fin, MAUI asigna de forma secuencial los recursos, asignando cada uno al usuario que mayor incremento de utilidad experimente con su asignación. Sin embargo, el valor final de utilidad global alcanzado puede no ser el máximo que podría conseguirse si todas las posibles combinaciones de reparto fueran calculadas. Aun así, MAUI proporciona una solución sub-óptima con bajo coste computacional posible de implementar en un sistema real. En caso de que haya varios candidatos para recibir un mismo recurso, estos serán servidos según las prioridades establecidas entre los servicios.

## III. PLATAFORMA DE SIMULACIÓN

La evaluación del rendimiento de las políticas de asignación multicanal propuestas se ha realizado sobre una avanzada plataforma de simulación denominada SPHERE (*Simulation Platform for Heterogeneous wireless systems*) [9]. Esta plataforma integra tres avanzados simuladores a nivel de sistema que emulan las tecnologías radio GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE y HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*). SPHERE ofrece la posibilidad de trabajar sobre un entorno heterogéneo, aunque este trabajo se ha centrado en la tecnología de acceso radio EDGE.

SPHERE emula transmisiones de navegación web, correo electrónico y vídeo H.263 en tiempo real a nivel de paquete, lo que permite una precisa evaluación de la QoS final percibida por el usuario. SPHERE implementa todos los modos de transmisión de EDGE y modela su comportamiento adaptativo mediante la técnica LA (*Link Adaptation*). La retransmisión de datos recibidos con error se realiza a través de un protocolo ARQ selectivo siguiendo las especificaciones dadas en el 3GPP; los protocolos de retransmisión han sido desactivados para los servicios de vídeo en tiempo real sensibles al retardo. La tabla II resume la configuración de la plataforma SPHERE utilizada en el presente trabajo.

## IV. EVALUACIÓN

Las técnicas propuestas DCELM y MAUI realizan la reasignación de todos los recursos cada vez que un usuario realiza una nueva petición de canal o finaliza su transmisión. Sólo los usuarios activos de los servicios de vídeo en tiempo real

mantendrán la asignación anterior si ésta no supera el número de recursos radio que garantiza el nivel de QoS mínimo, en cuyo caso sólo mantendrán el número de recursos que corresponda a dicho nivel de QoS mínimo, compitiendo con el resto de usuarios por el resto de recursos. Para ambos esquemas, si al aplicar el criterio de decisión de cada técnica se obtienen varios candidatos a recibir el recurso, estos serán servidos según el orden de prioridades establecido anteriormente.

Para la evaluación de las técnicas propuestas, este trabajo ha utilizado como referencia una técnica de asignación fija que asigna a cada usuario el número de recursos demandado, poniendo al usuario en espera si dicho número de recursos no estuviera disponible. Esta técnica ha sido aplicada en tres escenarios diferenciados por las demandas de los usuarios presentadas en la tabla III. Las demandas han sido establecidas según los valores de utilidad definidos previamente. El rendimiento conseguido por las técnicas propuestas es evaluado principalmente por medio del nivel de satisfacción del usuario, parámetro que mide el porcentaje de transmisiones realizadas satisfactoriamente, es decir, el porcentaje de páginas web y correos electrónicos transmitidos en menos de 4 segundos y el porcentaje de tramas de vídeo transmitidas de forma completa antes del comienzo de la siguiente.

La tabla IV muestra el nivel de satisfacción de usuario logrado para las distintas políticas de reparto evaluadas para la configuración del sistema mostrada en la tabla II. En esta tabla resalta la incapacidad de la técnica de asignación fija para satisfacer a los servicios más prioritarios, los servicios en tiempo real, mientras que con DCELM los usuarios de dichos servicios son los más satisfechos. La tabla V muestra como con DCELM casi la totalidad de las transmisiones realizadas para los servicios de vídeo a 32 y 64kbps reciben recursos en cada reparto, siendo algo menor este porcentaje para el servicio en tiempo real menos prioritario. Esto se debe al modo de operación de DCELM. Esta técnica comienza el reparto asignando a cada usuario el número de recursos correspondiente a su demanda máxima y a partir de ahí, disminuye el número de recursos asignados quitando recursos a los usuarios que experimentan los mayores niveles de utilidad. Por tanto, los recursos que proporcionan a los usuarios los menores valores de utilidad serán los últimos en ser arrebatados, por lo que los usuarios que alcanzan los menores valores de utilidad serán los usuarios con mayores posibilidades de obtener recursos en cada reparto. Además, siguiendo los principios de DCELM, los usuarios que alcanzan el valor de utilidad cero teniendo todavía recursos asignados no perderán estos recursos hasta que el resto de usuarios alcancen este mismo valor de utilidad. Este comportamiento resulta en una asignación de los recursos por debajo del nivel de QoS mínimo establecido y provoca que los usuarios que tan solo necesitan un recurso para alcanzar un valor de utilidad mayor que cero sean los primeros en perder todos los recursos asignados, dando explicación al bajo rendimiento logrado para los servicios de navegación web y correo electrónico. Esta asignación por debajo del nivel de calidad mínimo resulta en tasas de transmisión bajas y extensos tiempos de transmisión, lo cual deriva en un elevado número de usuarios activos participando en cada reparto (tabla V), dando explicación a la dificultad de los usuarios de correo electrónico para ser servidos. Para superar las limitaciones de esta técnica se ha implementado una versión modificada de DCELM. Esta nueva versión de DCELM actúa de manera similar a DCELM excepto en el caso en que al arrebatar un recurso a un usuario éste pase a experimentar el valor de utilidad cero. Con DCELM modificada, al tener lugar esta situación, el usuario perderá automáticamente el resto de recursos que todavía tenga asignados. Esta variación de DCELM intenta evitar la asignación de recursos que no garanticen el nivel mínimo de QoS establecido, dando como resultado un mejor y más uniforme rendimiento para los servicios más exigentes. La tabla V muestra que esta

TABLA II  
PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN A NIVEL DE ENLACE

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Células simuladas	25	Movilidad	50 km/h velocidad de usuario
Tamaño de cluster	4	Pathloss	COST 231 Hata
Sectorización	120°	Shadowing	Log-normal con 6dB desviación estándar
Céldas interferentes	Céldas del 1º y 2º anillo interferente	Selección de canal	Aleatorio
Radio celular	1 km	Scheduling	<i>First Come First Served</i>
Canales por sector	8 (1 portadora)	Link Adaptation	Periodo inicial=60ms; Resto de periodos=100ms
Usuarios por sector	16: 5 web, 5 email, 2 vídeo 16kbps, 2 vídeo 32kbps, 2 vídeo 64kbps	ARQ	Tamaño de ventana= 384 bloques RLC Confirmación cada 32 bloques RLC

TABLA III  
DEMANDA DE RECURSOS RADIO PARA LA POLÍTICA DE ASIGNACIÓN FIJA

Demanda	Navegación web	Correo electrónico	Vídeo 16kbps	Vídeo 32kbps	Vídeo 64kbps
Demanda QoS mínima	2 TS	1 TS	1 TS	2 TS	4 TS
Demanda QoS media	3 TS	2 TS	2 TS	4 TS	7 TS
Demanda QoS máxima	6 TS	3 TS	4 TS	8 TS	8 TS

TABLA IV  
SATISFACCIÓN DE USUARIOS (%) PARA LA TÉCNICA DE ASIGNACIÓN FIJA Y TÉCNICAS PROPUESTAS

	Asignación fija QoS min	Asignación fija QoS media	Asignación fija QoS max	DCELM	DCELM modificado	MAUI
Navegación web	79.38	79.99	76.32	57.48	53.20	45.01
Correo electrónico	66.05	77.22	70.59	15.09	14.90	91.12
Vídeo 16kbps	74.88	81.11	43.42	63.71	86.25	99.94
Vídeo 32kbps	57.17	38.22	23.20	79.64	87.41	81.79
Vídeo 64kbps	25.93	9.93	22.11	83.65	87.23	85.48

TABLA V  
RENDIMIENTO TÉCNICAS DE REPARTO PROPUESTAS

Técnica reparto	Servicio	Tasa transmisión previa (kbps)	Tiempo espera medio (s)	nº medio slots asignados	% de tramas abortadas	% tramas no enviadas	% usuarios servidos	nº medio usuarios en cada reparto
DCELM	Navegación web	37.31	2.3355	1.34	-	-	67.50	8.92
	Correo electrónico	34.10	84.8155	1.11	-	-	7.76	
	Vídeo 16kbps	24.87	0.0529	1.04	13.60	22.69	56.55	
	Vídeo 32kbps	36.07	0.0075	1.62	19.88	0.49	96.91	
	Vídeo 64kbps	73.93	0.0069	3.31	16.33	0.02	99.68	
DCELM modificado	Navegación web	54.37	5.1228	1.87	-	-	38.46	8.86
	Correo electrónico	34.48	87.6210	1.14	-	-	6.77	
	Vídeo 16kbps	24.93	0.0167	1.05	10.77	2.98	86.86	
	Vídeo 32kbps	46.22	0.0132	2.02	11.20	1.40	91.11	
	Vídeo 64kbps	83.50	0.0085	3.72	12.65	0.12	97.41	
MAUI	Navegación web	228.08	11.0277	7.99	-	-	4.85	5.21
	Correo electrónico	178.79	0.0071	6.65	-	-	99.99	
	Vídeo 16kbps	67.37	0.0069	4.91	0.06	0.01	99.96	
	Vídeo 32kbps	129.80	0.0437	7.39	2.24	15.98	40.51	
	Vídeo 64kbps	150.23	0.0292	7.45	1.98	12.55	57.50	

mejora del rendimiento para los usuarios de tiempo real se obtiene a pesar de que un menor porcentaje de usuarios es atendido en cada reparto gracias a que el número de recursos radio asignados a todos ellos ha aumentado, siendo muy cercano a la demanda mínima establecida en la figura 1. Los resultados mostrados en las tablas IV y V realmente prueban como la técnica DCELM modificada consigue mayores niveles de satisfacción a pesar de servir a un menor porcentaje de usuarios en tiempo real, probando el importante efecto de las técnicas de asignación multicanal implementadas.

Los resultados presentados en las tablas IV y V muestran como la técnica propuesta MAUI consigue mejorar considerablemente el rendimiento global del sistema, a excepción del servicio de navegación web. Según el modo de operación de la técnica MAUI, todos los usuarios comienzan el reparto con un valor de utilidad igual a cero (a excepción de los usuarios de vídeo que mantienen los recursos asignados). Por tanto, según la política de reparto de esta técnica, los primeros usuarios en recibir recursos serán aquellos que con tan solo la asignación de un recurso experimenten un incremento en su valor de utilidad, dando explicación al alto rendimiento logrado para los usuarios de correo electrónico y vídeo a 16kbps. Una vez estos servicios ven satisfechas sus demandas, el resto de servicios son atendidos por orden de prioridad, justificando el bajo rendimiento logrado para el servicio de navegación web. A pesar de que el servicio de web resulta el servicio menos satisfecho con la técnica MAUI, de las simulaciones realizadas se extrae que el 62.09% de las páginas web son transmitidas en menos de 6 segundos y el 72.33% en menos de 8 segundos. El rendimiento logrado con la técnica MAUI está muy condicionado por la definición realizada de las funciones de utilidad y especialmente por el umbral de QoS mínimo establecido. Como puede observarse en la tabla V, MAUI tiende a asignar un número elevado de recursos sobre pocos usuarios simultáneamente, consiguiendo tasas de transmisión elevadas y reducidos tiempos de transmisión. De esta manera los recursos son liberados rápidamente y un mayor número de usuarios son servidos.

Como se ha podido observar, MAUI consigue mejorar el rendimiento obtenido con respecto a DCELM, pero para los servicios más exigentes consigue niveles de satisfacción ligeramente menores que la técnica DCELM modificada. La figura 2 muestra que la propuesta DCELM modificada proporciona niveles uniformes de satisfacción para los servicios más prioritarios independientemente de la carga del sistema, mientras que el rendimiento logrado con MAUI resulta muy dependiente de la distribución de carga del sistema.

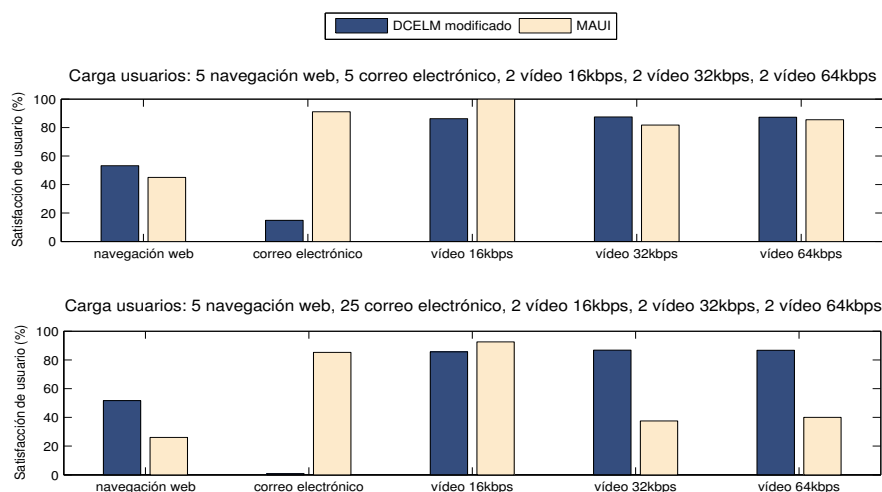


Fig. 2. Nivel de satisfacción (%) para distintas cargas de usuario.

## V. Conclusión

Este trabajo ha propuesto distintas técnicas para abordar el problema de la asignación multicanal en escenarios con tráfico heterogéneo, haciendo uso de funciones de utilidad para caracterizar los distintos servicios. Los resultados destacan la importancia de la definición de las funciones de utilidad y de prioridades acorde con la política del operador. Este trabajo ha incorporado la teoría de bancarrota a este campo y demostrado su valía y potencial. Actualmente, los autores trabajan en la aplicación de estas prometedoras técnicas en la gestión de los recursos radio en sistemas inalámbricos heterogéneos 4G.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y fondos FEDER a través del proyecto TEC2005-08211-C02-02 y MTM2005-09184-C02-02, y por la Generalitat Valenciana, a través del proyecto ACOMP07/256.

## REFERENCIAS

- [1] E. Vivier, M. Terré, B. Fino, "Determination of all possible resource allocations in a packet communication network", in *Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference*, September 2002, pp. 2346-2350.
- [2] A. Kuurne, D. Fernández, R. Sánchez, "Service Based Prioritization in (E)GPRS Radio Interface", in *Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference*, September 2004, pp. 2625-2629.
- [3] P. Y. Kong, D. He, "An Efficient Resource Allocation Scheme For Time-Sensitive Traffic in Wireless Networks", in *Proc. of the IEEE PIMRC conference*, 7-10 September 2003, pp. 2312-2316.
- [4] A. Malla, M. El-Kadi, S. Olariu, P. Todorova, "A Fair Resource Allocation Protocol for Multimedia Wireless Networks", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol.14, pp. 63-71, January 2003.
- [5] M. Dramatinos, G. D. Stamoulis, C. Courcoubetis, "Auction-based Resource Allocation in UMTS High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)", in *Proc. of the Next Generation Internet Networks conference*, 18-20 April 2005, pp. 434-441.
- [6] W. Thomson, "Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: a survey", *Mathematical Social Sciences*, vol. 45, pp 249-297, 2003.
- [7] 3GPP, *Services and service capabilities*, 3GPP TS 22.105, version 6.3.0, 2005.
- [8] C. Herrero and R. Martínez, "Balanced Allocation Methods for Claims Problems with Indivisibilities", *CORE Discussion Paper 2006/66*, July 2006. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=944416>.
- [9] M. López-Benítez, M. Lucas-Estañ and J. Gozalvez, "A dynamic radio simulation platform for the study of radio resource management techniques in heterogeneous wireless systems", in *Proc. of the 9th ACM/IEEE MSWIM conference (Demos Session)*, October 2006.