

# Algoritmo Adaptativo de Gestión de Recursos Radio para Comunicaciones Móviles Vehiculares en Situaciones de Congestión

Javier Gozalvez y Miguel Sepulcre

Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Miguel Hernández

Avenida de la Universidad s/n, Elche, 03202

Teléfono: 96 665 8955, Fax: 96 665 8903

[j.gozalvez@umh.es](mailto:j.gozalvez@umh.es), [msepulcre@umh.es](mailto:msepulcre@umh.es)

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

**Abstract** — Los estrictos requisitos de la seguridad vial y el futuro uso generalizado de los sistemas de comunicaciones móviles vehiculares requieren el diseño de políticas de gestión de recursos que utilicen de manera eficiente el canal radio. Con esa finalidad, el presente trabajo propone un mecanismo adaptativo de gestión de recursos radio que tiene en cuenta tanto las condiciones de operación de cada vehículo como sus requisitos de seguridad vial. El mecanismo propuesto se analiza bajo distintas densidades de tráfico y se proponen y evalúan diversas técnicas que compensan los efectos perjudiciales de la congestión del canal radio.

## I. INTRODUCCIÓN

Los nuevos sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos (V2V, *Vehicle-to-Vehicle*) y entre vehículos e infraestructura (V2I, *Vehicle-to-Infrastructure*) están siendo desarrollados con el objetivo principal de mejorar la seguridad vial, aunque además posibilitarán un amplio abanico de aplicaciones que mejorarán la eficiencia del tráfico y proporcionarán conectividad a Internet en movimiento. Para reducir el número de accidentes de tráfico y sus consecuencias, los vehículos intercambiarán continuamente mediante estos sistemas datos relativos a su posición y desplazamiento. De esta manera, cada vehículo poseerá información sobre los vehículos que se encuentren en su zona de influencia y podrá advertir al conductor con tiempo suficiente cuando detecte una situación de peligro.

Está previsto que estos nuevos sistemas de comunicaciones se basen en el nuevo estándar IEEE802.11p, también denominado WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*) [1]. WAVE adapta el estándar IEEE802.11a al entorno vehicular haciendo uso de siete canales no solapados de 10MHz en la banda de 5.9GHz. Mientras seis de los canales son canales de servicio empleados para aplicaciones de seguridad vial y privadas, el canal central se denomina canal de control y se utiliza en modo ad-hoc como canal de referencia para la detección inicial de vehículos y el establecimiento de todas las comunicaciones (ver Figura 1). Dada la confluencia de todos los vehículos, aplicaciones y servicios en el canal de control WAVE, es imprescindible el desarrollo de técnicas de gestión de recursos radio eficientes, robustas y dinámicas que permitan realizar un uso eficiente del canal radio y que garanticen el correcto funcionamiento de las aplicaciones de seguridad vial. Estudios previos ([2] y [3]) han propuesto la adaptación de los parámetros de transmisión (potencia y tasa de transmisión de mensajes) a las condiciones de operación con el fin de optimizar el rendimiento de la red de comunicaciones vehiculares bajo distintas densidades de tráfico. Sin embargo, las políticas de gestión de recursos no deberían ser diseñadas únicamente con el objetivo de la optimización del rendimiento de la red, sino también considerando los requisitos de la seguridad vial. Así, este trabajo propone y evalúa un algoritmo adaptativo de gestión de recursos radio que adapta el nivel de potencia y la tasa de transmisión de mensajes empleados por un vehículo en función de su posición y su proximidad a un posible peligro, con el objetivo de optimizar la utilización del canal radio al tiempo que se minimiza la probabilidad de accidente en la zona de peligro. La propuesta se evalúa bajo distintas densidades de tráfico y se proponen distintas técnicas de compensación para superar los efectos negativos derivados de la congestión del canal radio en situaciones de elevada densidad vehicular.

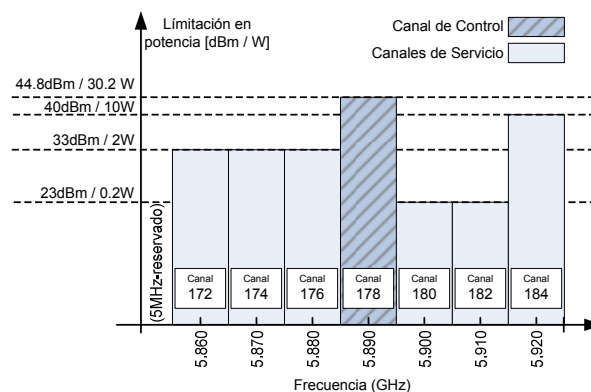


Figura 1. Plan de frecuencias de la norma WAVE.

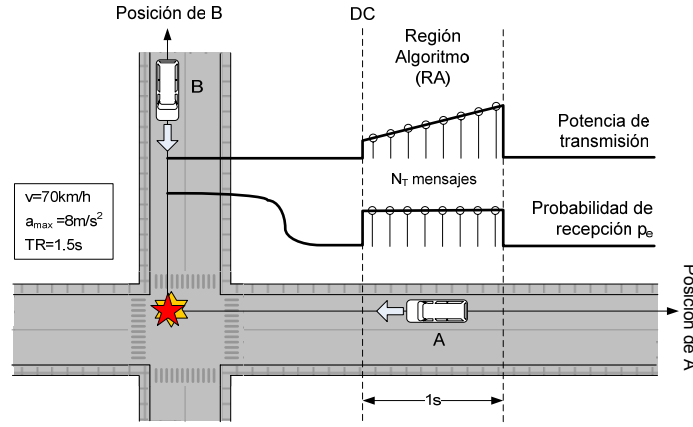


Figura. 2. Escenario de evaluación y esquema conceptual del mecanismo adaptativo.

## II. GESTIÓN DE RECURSOS RADIO ADAPTATIVA

El presente trabajo considera el escenario urbano formado por una intersección ilustrado en la Figura 2, donde los vehículos A y B se aproximan con riesgo de colisión. Para comunicar su presencia, ambos transmiten periódicamente mensajes de alerta en el canal de control WAVE y para evitar el accidente dichos mensajes deberán recibirse con el tiempo suficiente como para que el conductor pueda reaccionar y frenar a tiempo. Por ello, se define la distancia crítica  $DC$  como la mínima distancia a la intersección a la que A debería recibir un mensaje *broadcast* de alerta procedente de B para poder evitar el posible accidente en la intersección. Dicha distancia depende básicamente de su velocidad de desplazamiento, la deceleración máxima aplicable por el vehículo ( $a_{max}$ ) y el tiempo de reacción del conductor ( $TR$ ). Los valores empleados se muestran en la Figura 2.

Teniendo en cuenta que para alertar al conductor sería suficiente la correcta recepción de un único mensaje antes de  $DC$ , la limitación del número de mensajes correctamente recibidos y la minimización de la potencia con la que se transmiten mejorarían la eficiencia del canal al reducir la congestión radio generada. Con estos objetivos este trabajo propone un mecanismo adaptativo de gestión de recursos radio, OPRAM (*OPportunistic-driven adaptive Radio resource Management*), que adapta los parámetros de transmisión (potencia y tasa de transmisión de paquetes) en función de la localización de un vehículo y su distancia a un posible punto de riesgo. Considerando el escenario de la Figura 2, el mecanismo propuesto gestiona los niveles de potencia de transmisión a utilizar de forma que un vehículo emplea por defecto un nivel reducido de potencia de transmisión para comunicarse de manera continua con los vehículos ubicados en su misma calle. Sin embargo, dicho nivel de transmisión se incrementa en la región inmediatamente anterior a  $DC$  para tratar de alertar al posible vehículo que presenta un riesgo de colisión en la intersección<sup>1</sup>. Suponiendo que durante dicha región (definida como la región de aplicación del algoritmo, RA, y equivalente a 1segundo) cada vehículo transmite  $N_T$  paquetes, se establece como objetivo que la probabilidad de no recibir ningún mensaje de alerta antes de  $DC$  sea  $p=0.01$ . Si consideramos que la probabilidad de correcta recepción radio de cada paquete transmitido  $p_e$  es independiente y constante en RA, la probabilidad de que no se reciba correctamente ningún mensaje de alerta antes de  $DC$  ( $N_R=0$ ) puede definirse como

$$P(N_R = 0) = (1 - p_e)^{N_T} = p \quad (1)$$

La ecuación anterior permite definir el valor de  $p_e$  requerido en cada paquete de alerta para conseguir la probabilidad objetivo  $p$ , dado un número de paquetes transmitidos en RA igual a  $N_T$ . Así, el mecanismo OPRAM propuesto adapta la potencia de transmisión en RA para que cada uno de los paquetes transmitidos se reciba con una probabilidad  $p_e$ . Para el cálculo de los niveles de potencia de transmisión se emplea la Figura 3 (a), que representa la relación entre la probabilidad promedio de correcta recepción de paquetes y la potencia media recibida  $Pr$ . Dicha relación se ha obtenido evaluando de manera secuencial y por separado un amplio rango de valores de  $Pr$ . Para cada uno de ellos se ha emulado la transmisión de un gran número de paquetes, todos ellos recibidos con potencia media  $Pr$  pero con una potencia instantánea variable según los efectos probabilísticos del canal radio descritos en la próxima sección. Así, para un valor determinado de  $Pr$  se ha calculado la probabilidad  $p_e$  como la proporción de paquetes emulados que se reciben correctamente, teniendo en cuenta el nivel de señal recibida de cada uno de ellos y la emulación del nivel físico del canal de control WAVE.

A partir del valor de  $Pr$  requerido en RA, pueden calcularse los niveles de potencia de transmisión mediante la distancia entre transmisor y receptor y las pérdidas básicas de propagación (*pathloss*), que representan la relación promedio existente entre la potencia de la señal recibida y la transmitida. Como puede observarse en la Figura 3 (a), el incremento del número de

<sup>1</sup> Las pérdidas de propagación que presentan las transmisiones entre vehículos ubicados en la misma calle (condiciones LOS) son considerablemente menores que las pérdidas en condiciones NLOS por lo que los niveles de potencia de transmisión que requieren son mucho menores.

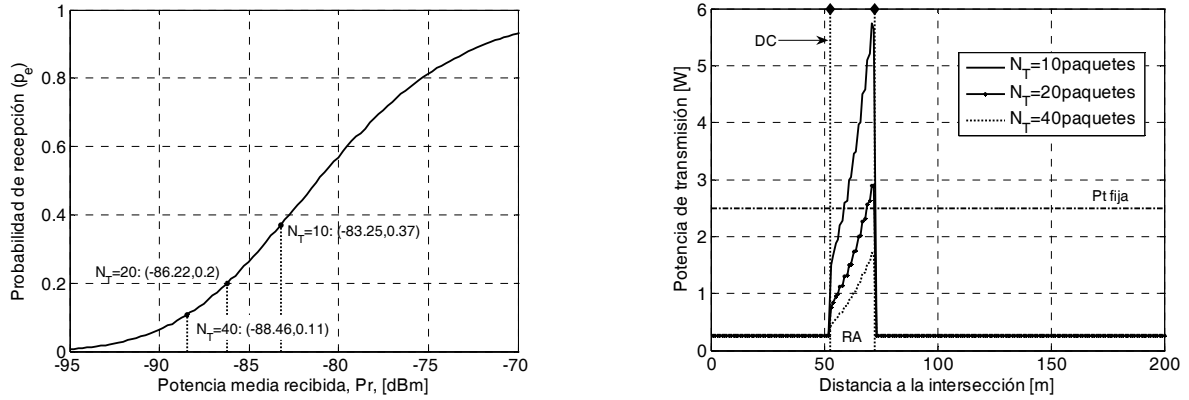


Figura 3. (a) Probabilidad de recepción  $p_e$  dado un nivel promedio de potencia recibida,  $P_r$ .  
(b) Ejemplo de operación del algoritmo OPRAM junto a un esquema de potencia de transmisión fija.

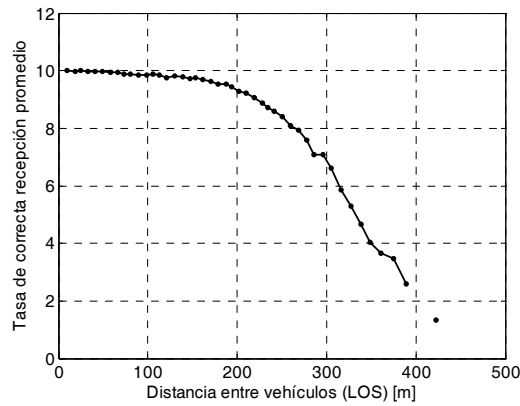


Figura 4. Tasa de correcta recepción de paquetes procedentes de vehículos ubicados en la misma calle.

paquetes transmitidos en RA reduce la probabilidad de recepción necesaria por paquete  $p_e$  y, por tanto, el nivel de potencia promedio necesario en recepción  $P_r$ . Como consecuencia, el incremento del número de paquetes transmitidos en RA reduce los niveles de potencia de transmisión requeridos, como muestra la Figura 3 (b), que constituye un ejemplo de operación del algoritmo OPRAM propuesto, comparado con un esquema de nivel de potencia fija de 2.5W (el nivel de potencia de transmisión constante que consigue que se reciba al menos un mensaje de alerta antes de DC en el 99% de los casos, transmitiendo 10 paquetes de alerta por segundo). Fuera de RA, los vehículos transmiten con una potencia constante de 250mW y una tasa de 10paquetes/s con el fin de mantener una comunicación permanente con los posibles vehículos que se pudieran encontrar en su misma calle en un rango de 150m, según los requisitos establecidos en [4] para aplicaciones *Cooperative Collision Warning*. La Figura 4 muestra la tasa de paquetes correctamente intercambiados entre vehículos que circulan en la misma calle en función de la distancia que los separa cuando transmiten empleando 250mW y 10paquetes/s. Como se puede observar, con dichos valores de potencia y tasa de transmisión de paquetes se cumplen los requisitos y, por tanto, se consigue garantizar la QoS de la aplicación a la vez que se garantiza un uso eficiente del canal radio, al evitar la innecesaria transmisión a potencias elevadas que únicamente generarían una mayor congestión en el canal radio.

Es de destacar que el algoritmo propuesto podría adaptarse al contexto de tráfico de cada vehículo mediante la modificación de DC y la consecuente re-configuración de las potencias de transmisión. En efecto, con la distancia DC propuesta los vehículos bajo estudio consiguen evitar la colisión en la intersección en un elevado porcentaje de casos, pero sus reacciones bruscas podrían producir accidentes en cadena si existieran vehículos a corta distancia detrás de ellos. De esta manera, la contextualización del algoritmo OPRAM se llevaría a cabo mediante la extensión del valor de DC para que los vehículos advirtieran el peligro en la intersección con mayor antelación y suavizaran su deceleración, reduciendo así la probabilidad de accidente en cadena al tiempo que minimizan la probabilidad de accidente en la intersección.

### III. ESCENARIO DE EVALUACIÓN

Para llevar a cabo la presente investigación, se ha implementado una plataforma de simulación de comunicaciones móviles vehiculares basada en el simulador de redes de código abierto ns2. Dicha plataforma considera el escenario de intersección ilustrado en la Figura 2. En dicho escenario los vehículos transmiten periódicamente mensajes *broadcast* de alerta con 100B

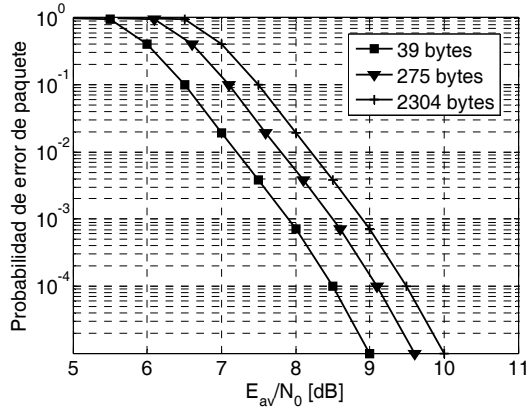


Figura 5. Probabilidad de error de paquete (PER) para el modo de transmisión WAVE de 6Mbps.

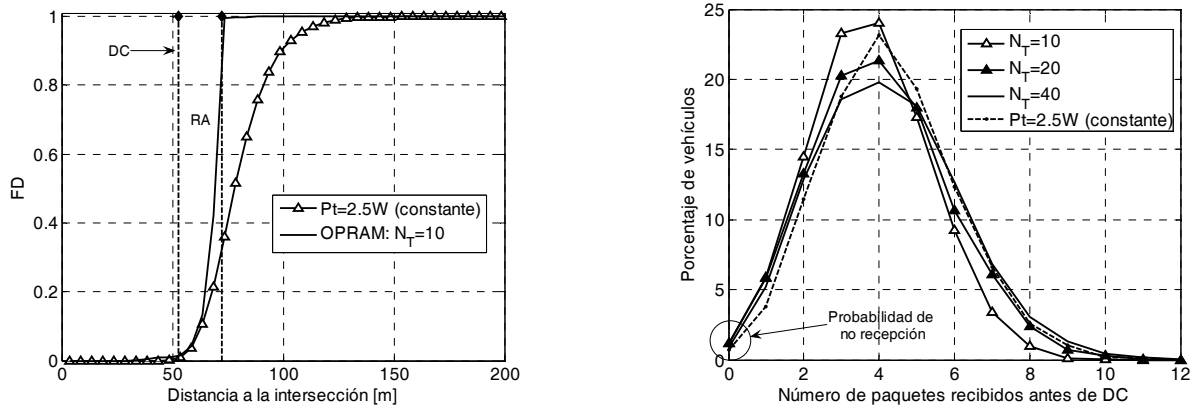


Figura 6. (a) Función de distribución (FD) de la distancia de recepción del primer paquete de alerta.  
(b) Distribución del número de paquetes recibidos antes de DC.

de datos en el canal de control WAVE, utilizando el modo de transmisión de 6Mbps definido para dicho canal. En términos de densidad de tráfico, se han considerado dos escenarios. En el primero de ellos, sólo se emulan los dos vehículos que presentan riesgo de colisión y los errores de transmisión se producen únicamente por los efectos de la propagación radio. En el segundo escenario, se han emulado también otros vehículos transmitiendo mensajes *broadcast* de alerta en el canal de control WAVE (densidad vehicular promedio de 100 vehículos/km/carril), de forma que en este caso los errores de transmisión se producen por la congestión del canal, además de por los efectos de la propagación.

Con el fin de modelar adecuadamente los efectos del canal radio, la plataforma de simulación desarrollada implementa a nivel de sistema el modelo de canal radio para entornos micro-celulares desarrollado en el proyecto WINNER [5]. Aunque este modelo no representa fielmente el entorno vehicular al no contemplar antenas transmisora y receptora reducidas e idénticas, este modelo micro-celular es el que mejor se aproxima actualmente al entorno bajo estudio. Es importante destacar que hasta la fecha no se han desarrollado o publicado modelos de propagación radio exclusivos para el entorno vehicular. Este modelo considera tanto las pérdidas básicas de propagación, como los efectos probabilísticos del desvanecimiento (*shadowing*) y las pérdidas por multitrayecto (*multipath fading*), diferenciando las situaciones en las que transmisor y receptor presentan visión directa (LOS, *Line of Sight*) de las que no (NLOS, *Non-Line of Sight*). Además de los efectos mencionados, para reducir la complejidad de las simulaciones a nivel de sistema, la emulación del nivel físico del canal de control WAVE se ha implementado mediante curvas de PER (*Packet Error Rate*) en función de la relación señal a ruido e interferencia (SINR), según los datos publicados en [6], mostrados en la Figura 5, y considerando un nivel umbral de ruido de -90dBm.

### III. RENDIMIENTO DEL ALGORITMO OPRAM

La Figura 6 (a) compara el rendimiento del algoritmo propuesto con el del esquema de transmisión de potencia fija de 2.5W. La comparación se realiza mediante la Función de Distribución (FD) de la distancia a la intersección a la que se recibe el primer paquete *broadcast* de alerta. Como puede observarse, OPRAM consigue el mismo nivel de rendimiento objetivo de seguridad vial,  $p=0.01$ , al tiempo que utiliza de manera más eficiente el canal radio que los esquemas de potencia de transmisión constante. Además, como muestra la Figura 6 (b), dicho objetivo se mantiene para los distintos valores de  $N_T$  estudiados a pesar de la reducción de potencia que supone el incremento de dicho parámetro, dado que el porcentaje de

vehículos que no consigue recibir ningún mensaje antes de DC sigue siendo del 1%. Es de destacar también el uso ineficiente del canal de control WAVE cuando se emplean potencias constantes de transmisión, puesto que presentan una distribución del número de mensajes recibidos similar a la obtenida con OPRAM a pesar de estar empleando continuamente elevados niveles de potencia de transmisión.

#### IV. TÉCNICAS DE COMPENSACIÓN DE LA CONGESTIÓN RADIO

El análisis anterior ha considerado el escenario donde sólo los dos vehículos con riesgo de colisión transmiten mensajes *broadcast* en el canal de control WAVE. Sin embargo, en un escenario más realista las transmisiones de otros vehículos incrementan la congestión del canal radio y provocan la pérdida de paquetes por interferencia, afectando al rendimiento del algoritmo propuesto. En efecto, como muestra la Figura 7 (a) para  $N_T=10$ , la probabilidad de recepción  $p_e$  se reduce considerablemente cuando se modela una elevada densidad vehicular. Como consecuencia, la probabilidad objetivo  $p=0.01$  no es alcanzada en este tipo de escenarios (Figura 7 (b)). Por ello, este trabajo propone dos mecanismos compensatorios que modifican la configuración del algoritmo OPRAM para lograr los objetivos de seguridad vial a pesar de la congestión.

Dado que el valor de  $p_e$  se ve reducido en RA cuando se introduce la congestión radio, el primero de los mecanismos de compensación propuestos incrementa el valor de  $N_T$  para seguir consiguiendo la probabilidad  $p=0.01$  a pesar de dicha reducción. En particular, este mecanismo mantiene los niveles de potencia originales y calcula el nuevo valor de  $N_T$  con la Ecuación (1) y el valor de  $p_e$  reducido por la congestión. Para  $N_T=10$ , la congestión reduce un 25% la probabilidad  $p_e$  promedio observada en RA y el número de paquetes transmitidos en RA que consigue compensarla es de  $N_T=14$ .

El segundo mecanismo de compensación de la congestión propuesto se basa en el aumento del valor de  $p_e$  en RA para que su reducción debido a la congestión radio produzca el valor deseado original y permita la consecución de los objetivos a pesar de la congestión radio. Así, este segundo mecanismo mantiene el número de mensajes transmitidos en RA pero incrementa los niveles de potencia empleados. Para el caso particular de  $N_T=10$ , la probabilidad  $p_e$  ha de incrementarse desde el valor original de 0.37 (Figura 3 (a)) hasta 0.49, para que una reducción de un 25% de dicho valor produzca el valor original. Como muestran los resultados de la Figura 7 (b), los dos mecanismos de compensación propuestos consiguen recuperar el nivel de probabilidad de no recepción objetivo a pesar de los efectos negativos de la congestión radio.

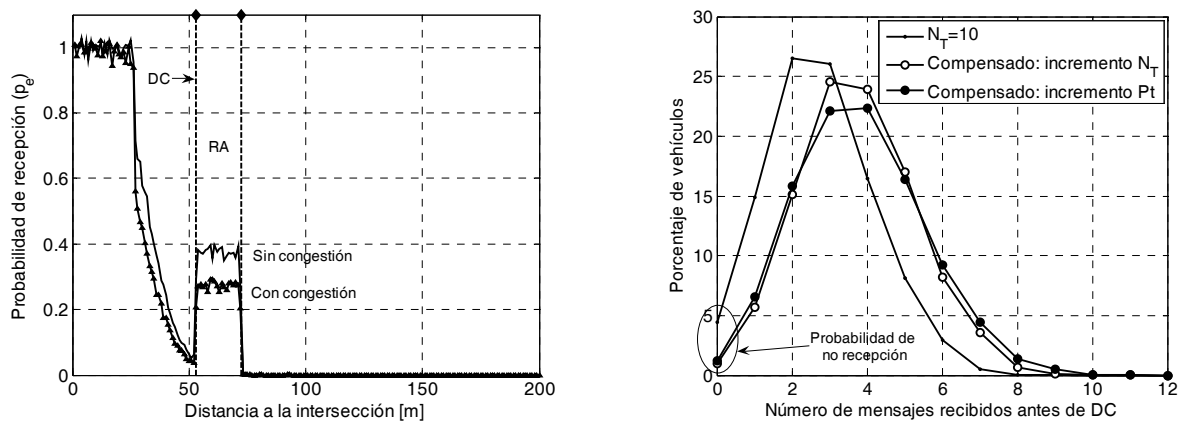


Figura 7. (a) Probabilidad de recepción de un mensaje de alerta para  $N_T=10$ , (sin/con congestión).  
(b) Distribución del número de paquetes recibidos antes de DC (con congestión).

#### V. CONCLUSIONES

El presente artículo ha propuesto un algoritmo adaptativo de gestión de recursos radio para comunicaciones V2V que garantiza los requisitos de seguridad vial al tiempo que asegura un uso eficiente del canal radio. La propuesta ha sido evaluada bajo distintas densidades de tráfico para emular distintos niveles de congestión radio. Dado que las pérdidas de paquetes producidas por la congestión deterioran significativamente el rendimiento de la propuesta, se han definido distintos mecanismos para compensar el efecto negativo derivado de las interferencias en situaciones de elevada densidad vehicular.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Fomento de España a través del proyecto T39/2006, por la Consellería de Empresa, Universidad y Ciencia de la Generalitat Valenciana (beca BFPI06/126) y por la Universidad Miguel Hernández a través del Premio Jóvenes Investigadores del Consejo Social recibido por el Dr. Javier Gozalvez.

## REFERENCIAS

- [1] IEEE P802.11p/D0.21, "Draft Part 11: WLAN MAC and PHY Specifications: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)", IEEE Standards Association, Junio 2005.
- [2] M. Ruffini et al., "Power-Rate adaptation in high-mobility distributed ad-hoc wireless networks", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Junio 2005, Dublin, Irlanda, pp 2299 - 2303.
- [3] G. Caizzone et al., 'A power control algorithm with high channel availability for vehicular ad hoc networks', *Proc. of the Int. Conference on Communications*, Mayo 2005, Seúl, Korea, pp 3171- 3176.
- [4] Vehicle Safety Communications Consortium, "Vehicle Safety Communications Project Task 3 - Final Report: Identify Intelligent Vehicle Safety Applications enabled by DSRC", DOT HS 809 859, Marzo 2005.
- [5] WINNER, "D1.1.1. WINNER II interim channel models", Public Deliverable, <https://www.ist-winner.org/index.html>
- [6] Y. Zang et al., "An error model for inter-vehicle communications in highway scenarios at 5.9GHz", *Proc. of the Int. Workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous net-works*, Octubre 2005, Quebec, Canada, pp 49-56.