

Redes Heterogéneas en el entorno vehicular

Julio A. Sangüesa¹, Johann M. Marquez-Barja², Piedad Garrido¹, Francisco J. Martinez¹

Resumen— En la actualidad, los elementos de la infraestructura existentes para el despliegue de redes vehiculares han sido desplegados en su totalidad por parte de las operadoras de telefonía. Sin embargo, los fuertes requisitos de comunicaciones necesarios por parte de los vehículos y especialmente los vehículos autónomos, va a hacer necesario el uso combinado de las redes de telefonía con otro tipo de paradigmas de red. En este artículo, presentamos un esquema para mejorar las comunicaciones vehiculares denominado DSM (*Dynamic Small Cell Management* o gestión dinámica de celdas pequeñas). La propuesta se centra en la activación dinámica de Small Cells cuando las Macrocells no son capaces de gestionar toda la información enviada por los vehículos. Para la validación de la propuesta se ha simulado un despliegue real de Estaciones Base en Dublín. Los resultados de la simulación muestran mejoras en cuanto a la capacidad de comunicación y la reducción en la sobrecarga de las Estaciones Base.

Palabras clave— Red inteligente, asignación de recursos, gestión dinámica, redes vehiculares, small cells.

I. INTRODUCCIÓN

Las futuras redes de comunicaciones, denominadas redes 5G, pretenden trabajar con distintas tecnologías de manera heterogénea mejorando el ancho de banda y la disponibilidad de manera totalmente transparente para el usuario. Este nuevo paradigma de red permitirá a los operadores adaptar sus redes de forma dinámica a los servicios requeridos por los usuarios finales.

La tecnología 5G va a ser clave en sectores como el e-Salud, las redes eléctricas inteligentes, el Internet de las Cosas, las Ciudades Inteligentes o los Sistemas Inteligentes de Transporte. El uso de redes 3G/4G Small cells (SCs), combinadas con Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Long Term Evolution (LTE), y Wireless Fidelity (Wi-Fi) [1], supone un solución idónea capaz de satisfacer la demanda variable de los usuarios.

Los vehículos conectados y su amplio espectro de aplicaciones, como los sistemas de emergencia para colisiones, la mejora de la asistencia médica, la detección de obstáculos, la información meteorológica, el streaming de vídeo o la descarga de música, requieren conectividad constante [2] con diferentes tipos de niveles de servicio, desde bajas latencias, al gran ancho de banda que van a requerir los vehículos autónomos.

En nuestra opinión, las redes móviles tradicionales, no van a ser capaces de asumir esta demanda de datos, por lo que el despliegue de small cells (SCs), unido a las Base Stations (BSs) ya existentes, va a incrementar las prestaciones de la red y va a permitir

¹Dpto. de Informática e Ingeniería de Computadores, Universidad de Zaragoza, e-mail: [jsanguesa](mailto:jsanguesa@zaragoza.es), [piedad](mailto:piedad@zaragoza.es), f.martinez@unizar.es

²CONNECT Centre for Future Networks and Communications, Trinity College Dublin, Ireland, e-mail: Johann.Marquez-Barja@tcd.ie

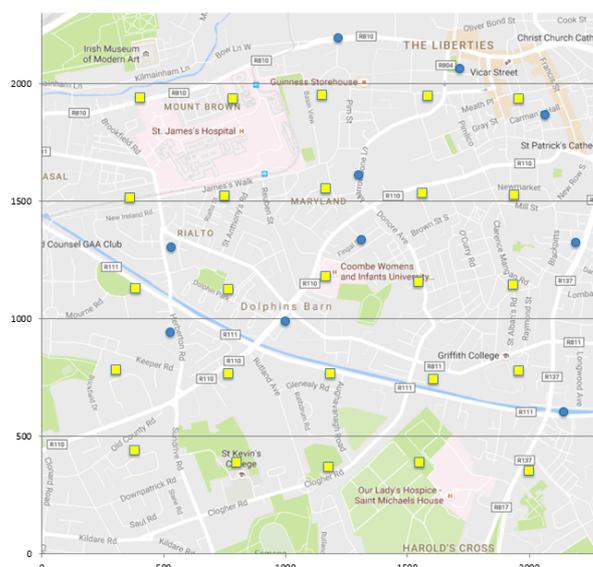


Fig. 1: Mapa de Dublín de 5km^2 incluyendo la ubicación de las BS indicadas con puntos azules, y las SCs representadas con cuadrados amarillos.

que se adapte de forma dinámica en función de las necesidades puntuales.

En este artículo, presentamos una solución centrada en la gestión dinámica de las small cells cuando las macrocells no son capaces de asumir el tráfico producido por la información generada por los vehículos. Para ello, tal y como se muestra en la Figura 1, hemos utilizado un despliegue real de Base station (BS) en la ciudad de Dublín, combinada con un despliegue de small cells. Los resultados demuestran los beneficios que puede aportar el uso de SCs para los vehículos conectados, y el beneficio que las redes inteligentes y dinámicas podría aportar a las Operadoras de Redes Móviles en términos de reducción de sobrecarga.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

El uso de redes Heterogéneas (HetNets) va a ser determinante a la hora de afrontar la gran demanda de tráfico requerido por las futuras Redes Vehiculares. Las HetNets combinan macrocells, small cells, picocells y femtocells, buscando aumentar la capacidad de la red en términos de cobertura y capacidad, además de disminuir el tráfico que tienen actualmente las macrocells. En esta sección, presentamos algunos de los trabajos más relevantes relacionados con nuestra propuesta.

Respecto al uso de macrocells y microcells para la mejora del rendimiento, Li et al. [3] estudiaron la coexistencia de LTE y Wi-Fi bajo la misma banda evitando interferencias entre ellas.

Ho et al. [4] presentaron una propuesta basada en

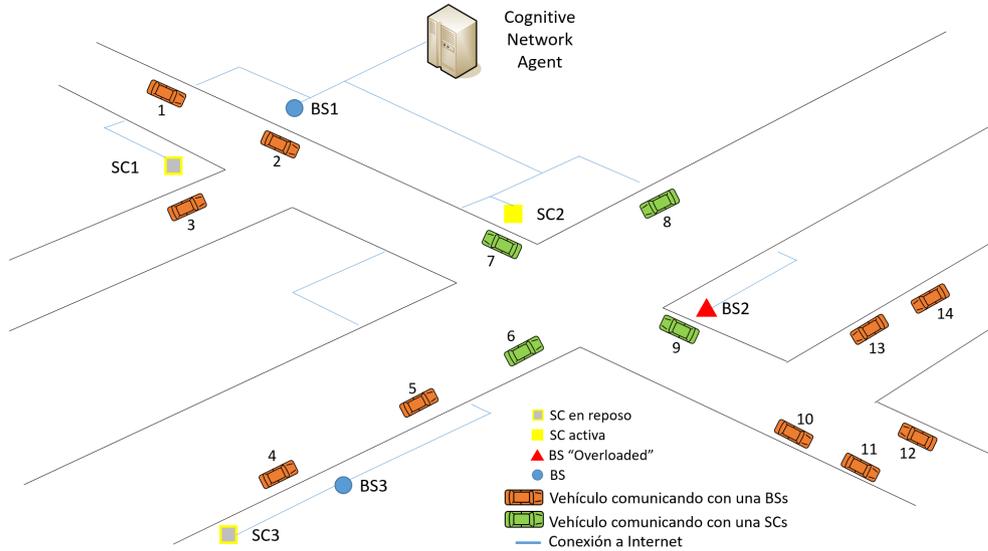


Fig. 2: Esquema DSM - Ejemplo de funcionamiento.

la teoría de juegos para la descarga de tráfico de red. En dicha propuesta, los autores tratan de optimizar el uso macrocells y small cell para maximizar el tráfico en la red heterogénea.

Otros autores, han presentado diferentes propuestas para el despliegue de small cells. Por ejemplo, Mozaffari et al. [5], propusieron el uso de drones como small cells para aumentar la cobertura en algunas zonas. Más recientemente, y de forma similar, en [6] los autores propusieron el uso de aeronaves no tripuladas (UAVs, unmanned aerial vehicles) para la transmisión de grandes volúmenes de datos en zonas con una baja cobertura.

Finalmente, otros autores también han tratado las redes heterogéneas pero centrándose en la eficiencia energética y en las redes 'verdes' [7], [8], [9], [10]. En concreto, estos trabajos normalmente se centran en maximizar la eficiencia energética desactivando small cells.

Sin embargo, en nuestro trabajo, no tenemos en cuenta los detalles energéticos, ya que nos centramos en ofrecer soluciones que permitan gestionar la gran cantidad de información que será generada por parte de los vehículos, especialmente de los autónomos.

III. DYNAMIC SMALL CELL MANAGEMENT

Para evitar la sobrecarga de las BSs, incluso en los entornos con un gran número de vehículos, proponemos una arquitectura que combina el uso de BSs y SCs. La activación y desactivación de las SCs es gestionada por el Cognitive Network Agent (CNA). En nuestra propuesta, consideramos que el CNA es capaz de conectar y recopilar información sobre el estado de las Small cells y las Base stations como por ejemplo, el estado de la red, la carga, sus características, el coste, etc.

El punto clave de nuestra propuesta es que la arquitectura de red, gracias al esquema de colaboración basado en el estándar IEEE P802.21, es capaz de equilibrar la carga de toda la red activando de forma inteligente las SCs siempre que sea

necesario reducir la sobrecarga de las BSs. Consideramos que en el futuro, los vehículos requerirán estar conectados de forma continua, especialmente los vehículos autónomos, y que enviarán a la nube una gran cantidad de datos que deberán ser procesados. Al mismo tiempo, también deberán recibir la información procedente de otros vehículos. Todo esto va a requerir que la red móvil presente una baja latencia (p.ej. para las aplicaciones de seguridad vial) y gran ancho de banda estable (en el caso de aplicaciones con gran volumen de datos a enviar o recibir).

La Figura 2 muestra un ejemplo del funcionamiento de nuestra arquitectura propuesta. Los vehículos en naranja representan aquéllos que están utilizando la infraestructura 3G (es decir, envían sus mensajes a las Base station (BS)) y los vehículos en verde muestran aquéllos que están enviando sus datos a través de las Small cells (SCs).

En la parte superior izquierda de la imagen, los vehículos 1 y 3 mandan la información a través de la BS1, que es capaz de gestionar toda la información recibida, haciendo innecesaria la activación de la SC1 por parte del CNA.

En la parte derecha de la figura, la BS2 no es capaz de gestionar todos los mensajes de los vehículos cercanos (vehículos 7-12). Sin embargo, utilizando la arquitectura propuesta, el CNA detecta la situación y determina que la BS2 está 'OVERLOADED' (sobrecargada), e informa a los vehículos de la alternativa (la SC2 en este caso). Los vehículos del 7 al 9 son capaces de comunicarse directamente con la SC2, por lo que envían la información, utilizando el Command Service del protocolo 802.21, reduciendo la cantidad de información que debería ser enviada a través de la BS2. Como se puede observar, los vehículos del 10 al 14 también reciben la propuesta de cambio de interfaz, pero al no ser capaces de conectar con la SC2, continúan enviando los mensajes a través de la BS3.

Destacar también que al activar la SC2, el vehículo 5 sería capaz de conectar con ella, pero como la BS3 no está sobrecargada el CNA no le ofrece el cambio

de interfaz, por lo que el vehículo 5 seguirá mandando la información a través de la BS3.

El Listing 1 muestra el pseudo-código del algoritmo implementado en el Cognitive Network Agent (CNA). Como se puede observar, el CNA monitoriza las BSs para detectar cuándo una BS se está sobrecargando, busca la SC más cercana y la activa. Una vez activada, notifica a la Base Station la alternativa, y activa el modo 'OVERLOADED'.

Listing 1: Algoritmo del CNA

```
//CNA algorithm

while (1) do
  foreach BS do
    if (BS[i].usage > limiteUso) then
      BS[i].setMode("OVERLOADED");
      alternativeInterface =
        findClosestAlternativeTo(BS[i]);
      alternativeInterface.activate();
      BS[i].notify(alternativeInterface);
    end if;
  done
done
```

El Listing 2 muestra el código que se ejecuta en cada BS cuando está marcada como 'OVERLOADED'. Como se puede observar, la BS sugiere a los vehículos conectados la interfaz alternativa propuesta por el CNA, con la intención de que éstos comuniquen a partir de ahora con la nueva SC, reduciendo la cantidad de información recibida y así mitigar la congestión.

Listing 2: Algoritmo de la Base Station

```
//Base Station Algorithm

while (1) do
  if(mode == "OVERLOADED") then
    foreach connectedVehicle do
      vehicle[i].newInterfaceSuggestion(
        alternativeInterface);
    done
  end if;
done
```

Finalmente, el Listing 3 muestra el pseudo-código del algoritmo incluido en cada vehículo. Cuando un vehículo recibe la interfaz alternativa, comprueba si es capaz de conectar con la SC propuesta, y en caso afirmativo, cambia a la nueva interfaz para continuar enviando mensajes.

Listing 3: Algoritmo del vehículo

```
//Vehicle Algorithm -> newInterfaceSuggestion

while (1) do
  if (newInterfaceSuggested) then
    if (testConnection(alternativeInterface)) then
      sendMessageThrough(alternativeInterface)
    else
      sendMessageThrough(lastInterfaceUsed)
    end if
  end if
done
```

TABLA I: Parámetros de simulación.

<i>Parámetros de Red</i>	
número de BSs	10
número máximo de SCs	25
ubicación de las BSs	Coordenadas GPS reales
ubicación de las SCs	Despliegue geográfico [11]
modelo de propagación BSs	FreeSpace
modelo de propagación SCs	RAV [14]
frecuencia de las BSs	2.1 GHz
frecuencia de las SCs	5.9 Ghz
tamaño del mensaje	1024Bytes
flujo de mensajes	1000 per second
<i>Modelo de Movilidad</i>	
número de vehículos	500
mapa	Dublín
área del escenario	5km ²
modelo de movilidad	Krauss [16]
aceleración máx. vehículos	1,4 m/s ²
deceleración máx. vehículos	2,0 m/s ²
t. reacción conductores (τ)	1 s

IV. ENTORNO DE SIMULACIÓN

Para las simulaciones hemos utilizado el despliegue 3G real de un operador de telefonía irlandés, en el que hemos incorporado Small Cells basadas en el estándar IEEE 802.11p. Suponemos que dichas Small Cells, siguen un despliegue Geográfico [11]. Además, consideramos que las Small Cells permanecen inicialmente apagadas, esperando a ser activadas si el CNA lo considera necesario para aliviar la congestión de las BSs.

Las simulaciones se han realizado con ns-2 simulator [12], que ha sido modificado para simular celdas 3G y Small Cells Wi-Fi (con el protocolo IEEE 802.11p [13]). Además, el simulador ha sido mejorado al incorporar el modelo de propagación RAV (Real Attenuation and Visibility) [14] que tiene en cuenta la presencia de obstáculos en la propagación de la señal, lo que incrementa el nivel de realismo en entornos urbanos, algo determinante en este tipo de redes (banda de 5.9 GHz).

Respecto a la movilidad de los vehículos, hemos realizado un despliegue de movilidad basado en el mapa de la ciudad de Dublín (Figura 1). Concretamente hemos utilizado el C4R¹, un generador de movilidad basado en SUMO [15].

Respecto al tráfico de datos, consideramos que los vehículos van a requerir un uso intensivo de la red. En concreto, hemos simulado vehículos que mandan grandes cantidades de información al Traffic Control Center (TCC) a una velocidad de 1 MB/s y que son capaces de utilizar tanto la red 3G como la red 802.11p. Respecto a la densidad, se han simulado 500 vehículos.

En concreto, hemos comparado el rendimiento en dos escenarios diferentes:

- *Comunicaciones con infraestructura tradicional.* En el primer escenario, simulamos un entorno tradicional, donde los vehículos únicamente mandan la información a través de la red 3G.
- *Small cells dinámicas.* En este escenario, el CNA

¹C4R (CityMob for RoadMaps) disponible en <http://www.grc.upv.es/software/>

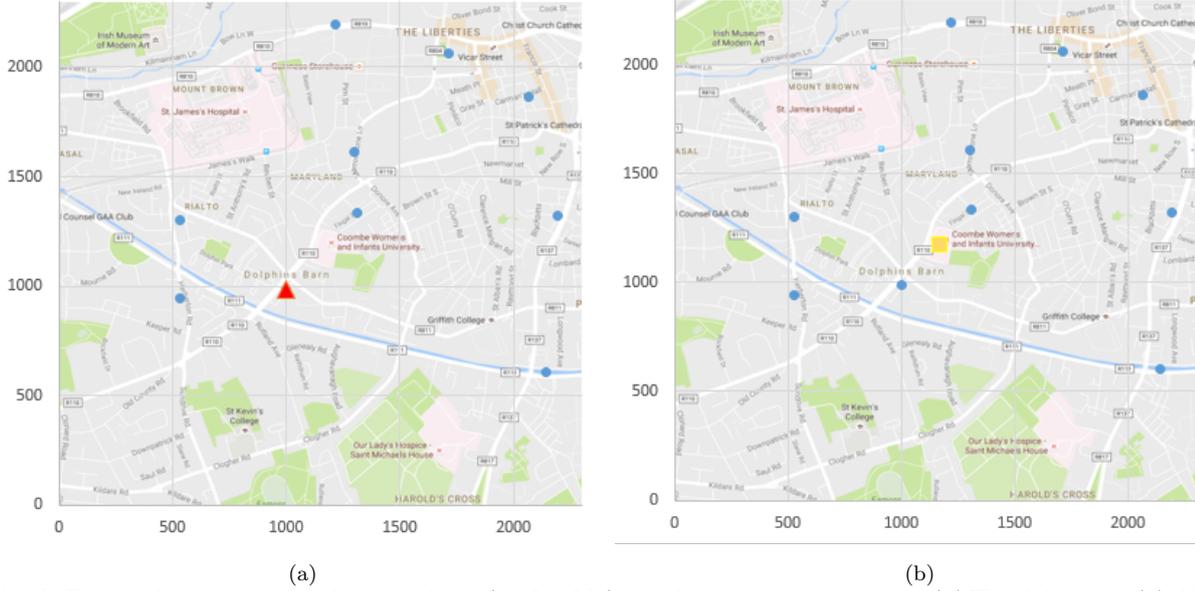


Fig. 3: Escenario durante el primer periodo (de 0 a 30s) considerando un esquema (a) Tradicional y (b) DSM. Los puntos azules representan BSs y los triángulos rojos muestran lo que están recibiendo un gran número de mensajes. Las SCs disponibles están representadas por cuadrados amarillos.

es capaz de activar dinámicamente recursos adicionales (Small Cells) para aumentar las capacidades de la red en caso de detectar congestión en la red.

Los parámetros utilizados aparecen resumidos en la Tabla I.

V. EVALUACIÓN

En esta sección, mostramos el rendimiento de la gestión dinámica de Small Cells (DSM) en términos de reducción de la sobrecarga y eficiencia de las comunicaciones entre vehículos y el TCC. En este análisis las métricas utilizadas son las siguientes:

- *Reducción de la sobrecarga.* Esta métrica mide el efecto que tiene la activación de las SCs en el porcentaje de uso de las BSs. Además, muestra los posibles beneficios que las Operadoras de Telefonía tendrían respecto a la reducción de tráfico de datos.
- *Mensajes recibidos.* Esta métrica calcula el número de mensajes enviado por cada vehículo que son realmente recibidos por la infraestructura (es decir, BSs y SCs), lo que nos permite determinar el beneficio que supondría para los vehículos el uso de la nueva infraestructura heterogénea.

Para validar correctamente el rendimiento de nuestro esquema DSM, hemos analizado el número de mensajes recibidos por las BSs y las SCs en los escenarios comentados anteriormente (Tradicional y DSM) en 4 periodos distintos de 30 segundos, para una simulación total de 120 segundos.

La Figura 3a muestra el mapa de Dublin resaltando las BSs con una carga superior al 80% (el umbral que considera el DSM). Como se puede observar, utilizando el método Tradicional (donde los

vehículos conectan únicamente con las BSs) la BS más cercana a Dolphin's Barn presenta una situación de sobrecarga. De acuerdo con nuestra propuesta: (i) el CNA detecta esta situación, (ii) activa la SC más cercana, y (iii) redirige todos los mensajes de aquellos vehículos que son capaces de comunicarse con la SC (ver Figura 3b).

La Figura 4 presenta el número de mensajes recibidos por cada BS durante los primeros 30 segundos, utilizando un método Tradicional (ver Figura 4a) y utilizando nuestro esquema DSM (ver Figura 4b). Como se puede observar, la BS7 está recibiendo 5.355 mensajes (un valor superior al límite definido). Sin embargo, utilizando DSM, recibe 4.487 mensajes, lo que representa una reducción del 16,21%.

La Figura 5a muestra que tras 60s, la BS2 y la BS7 están sobrecargadas, por lo que el CNA activa las SCs más cercanas (ver Figura 5b).

La Figura 6 muestra el número de mensajes recibidos por cada BS entre los segundos 30 y 60. Utilizando el método Tradicional la BS2 y la BS7 reciben 5.879 y 5.037 mensajes respectivamente, mientras que usando nuestra propuesta reciben 4.842 y 3.598 mensajes, lo que representa una reducción del 28,57% y el 17,64%, respectivamente.

Los resultados obtenidos en el tercer periodo (de 60 a 90s) son muy similares a los del segundo periodo. En concreto, utilizando el esquema Tradicional las BSs 2 y 7 siguen presentando una situación de sobrecarga, por lo que el CNA activa las mismas SCs. En este caso la reducción en el número de mensajes es del 32,18% y el 16,67% para la BS2 y la BS7, respectivamente.

Finalmente, las Figuras 7 y 8 muestran los resultados obtenidos durante el último periodo de simulación. En este caso, las BS1, BS2, y BS7 presentan sobrecarga. Utilizando nuestra propuesta, conseguimos reducir dicha sobrecarga un 13,12%, 34,02%, y

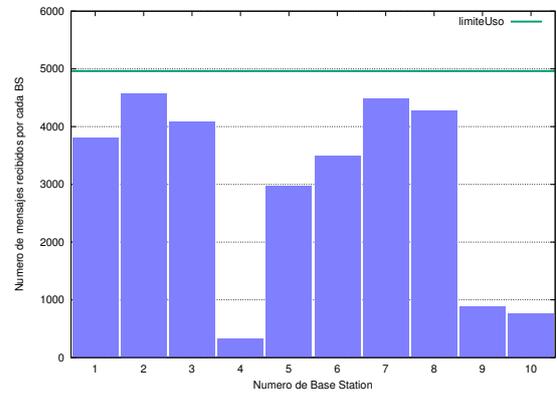
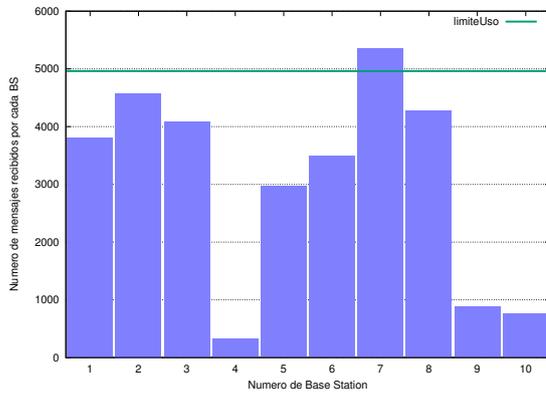


Fig. 4: Número de mensajes recibidos por cada BS durante el primer periodo (de 0 a 30s) considerando el método (a) Tradicional y (b) DSM.



Fig. 5: Escenario durante el segundo periodo (de 30 a 60s) considerando un esquema (a) Tradicional y (b) DSM. Los puntos azules representan las BSs y los triángulos rojos destacan aquéllas que están recibiendo un gran número de mensajes. Las SCs que se activan están representadas por cuadrados amarillos.

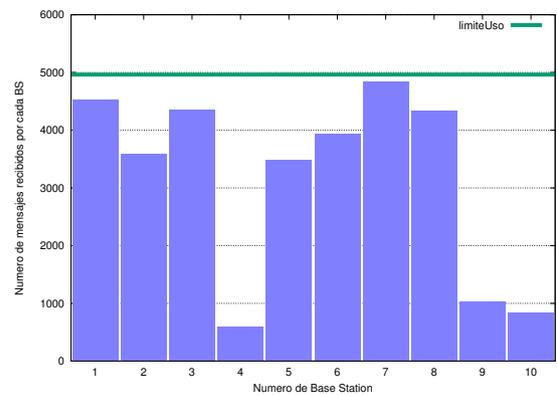
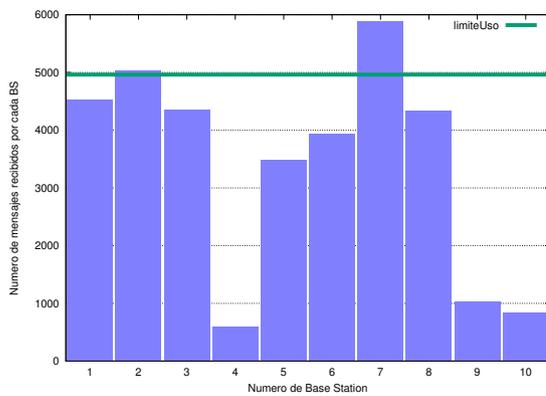


Fig. 6: Número de mensajes recibidos por cada BS durante el segundo periodo (de 30 a 60s) considerando el método (a) Tradicional y (b) DSM.



Fig. 7: Escenario durante el último periodo (de 90 a 120s) considerando un esquema (a) Tradicional y (b) DSM. Los puntos azules representan las BS y los triángulos rojos destacan aquéllas que están recibiendo un gran número de mensajes. Las SCs que se activan están representadas por cuadrados amarillos.

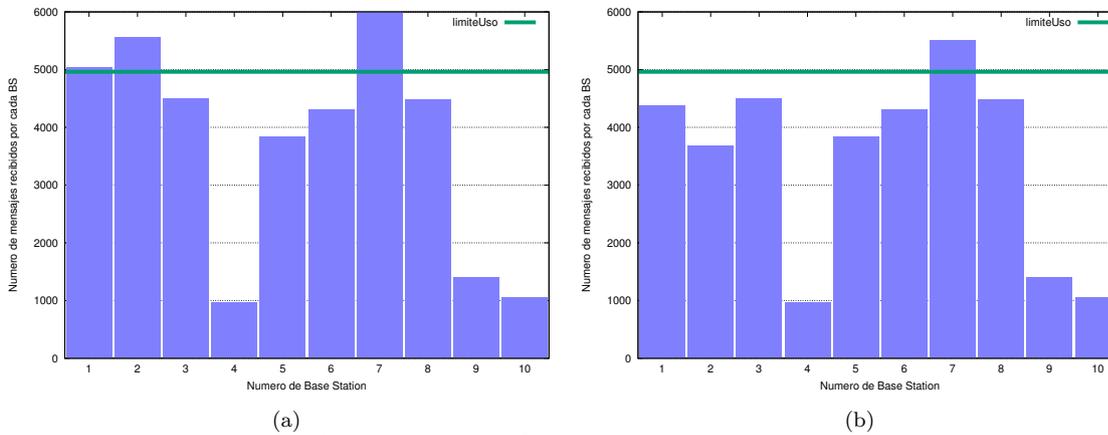


Fig. 8: Número de mensajes recibidos por cada BS durante el último periodo (de 90 a 120s) considerando el método (a) Tradicional y (b) DSM.

11,34 % respectivamente. Destacar, que pese a la activación de las SCs, la BS7 sigue sobrecargada. Esto podría indicar que quizá fuera necesario la activación de más SCs en ciertos escenarios si la densidad de vehículos que envían información no puede ser gestionada por una única SC.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo hemos presentado arquitectura denominada Gestión Dinámica de Small Cells (DSM), mostrando las posibilidades que ofrece la combinación del uso de redes 3G y de redes basadas en el 802.11p. DSM permite ampliar el objetivo inicial de las redes 802.11p, ofreciendo no solo aumentar la capacidad de la red, sino permitiendo reducir la congestión.

Hemos estudiado el rendimiento de nuestra propuesta simulando un entorno basado en los datos de un despliegue real de un operador móvil en la ciudad de Dublín. Además, hemos simulado un gran número de vehículos teniendo en cuenta modelos de movilidad y visibilidad realistas, y que dichos vehículos

envían una gran cantidad de datos. Por defecto, estos datos se envían a través de las BSs disponibles, pero cuando la situación lo requiere, el Cognitive Network Agent (CNA) activa la SCs más cercana con la intención de reducir la congestión y aumentar el rendimiento general de la red.

Nuestro trabajo demuestra la viabilidad del esquema DSM, ofreciendo la creación de redes dinámicas en función de la demanda de la red.

REFERENCIAS

- [1] K. Abboud, H. A. Omar, and W. Zhuang, "Interworking of dsrc and cellular network technologies for v2x communications: A survey," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 12, pp. 9457–9470, Dec 2016.
- [2] J. Sanguesa, M. Fogue, P. Garrido, F. J. Martinez, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, "On the selection of optimal broadcast schemes in VANETs," in *Proceedings of the 16th ACM International Conference on Modeling, Analysis, Simulation of Wireless and Mobile Systems*, ser. MSWiM '13. New York, NY, USA: ACM, 2013, pp. 411–418. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2507924.2507935>
- [3] L. Li, A. H. Jafari, X. Chu, and J. Zhang, "Simultaneous transmission opportunities for lte-laa smallcells coexisting with wifi in unlicensed spectrum," in *2016 IEEE In-*

- ternational Conference on Communications (ICC), May 2016, pp. 1–7.
- [4] T. M. Ho, N. H. Tran, C. T. Do, S. M. A. Kazmi, T. LeAnh, and C. S. Hong, “Data offloading in heterogeneous cellular networks: Stackelberg game based approach,” in *2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, Aug 2015, pp. 168–173.
- [5] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, “Dro-ne small cells in the clouds: Design, deployment and performance analysis,” in *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Dec 2015, pp. 1–6.
- [6] J. Li and Y. Han, “Optimal resource allocation for packet delay minimization in multi-layer uav networks,” *IEEE Communications Letters*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2016.
- [7] J. Wu, J. Liu, and H. Zhao, “Dynamic small cell on/off control for green ultra-dense networks,” in *2016 8th International Conference on Wireless Communications Signal Processing (WCSP)*, Oct 2016, pp. 1–5.
- [8] K. Sone, I. Kim, X. Wang, Y. Aoki, H. Seki, and J. C. Rasmussen, “Analysis of power consumption in mobile backhaul network with densely deployed small cells under dynamic traffic behavior,” in *21st OptoElectronics and Communications Conference (OECC) held jointly with 2016 International Conference on Photonics in Switching (PS)*, July 2016, pp. 1–3.
- [9] T. Li, M. Ashraphijuo, X. Wang, and P. Fan, “Traffic off-loading with energy-harvesting small cells and coded content caching,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2016.
- [10] G. Qiao, S. Leng, K. Zhang, and K. Yang, “Joint deployment and mobility management of energy harvesting small cells in heterogeneous networks,” *IEEE Access*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2016.
- [11] J. Barrachina, P. Garrido, M. Fogue, F. Martinez, J. Cano, C. Calafate, and P. Manzoni, “Road side unit deployment: A density-based approach,” *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 30–39, 2013. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.1109/MITS.2013.2253159>
- [12] K. Fall and K. Varadhan, “ns notes and documents,” The VINT Project. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, February 2000. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
- [13] S. Shin, A. G. Forte, A. S. Rawat, and H. Schulzrinne, “Reducing MAC Layer Handoff Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs,” in *Proceedings of the Second International Workshop on Mobility Management & Wireless Access Protocols*, ser. MobiWac '04. New York, NY, USA: ACM, 2004, pp. 19–26. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1023783.1023788>
- [14] F. J. Martinez, M. Fogue, C. Toh, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, “Computer simulations of VANETs using realistic city topologies,” *Wireless Personal Communications*, vol. 69, no. 2, pp. 639–663, 2013.
- [15] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch, and L. Bieker, “Recent development and applications of SUMO - Simulation of Urban MObility,” *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, vol. 5, no. 3&4, pp. 128–138, December 2012.
- [16] D. Krajzewicz, G. Hertkorn, C. Rossel, and P. Wagner, “SUMO (Simulation of Urban MObility) - An open-source traffic simulation,” in *Proceedings of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM2002)*, Sharjah, United Arab Emirates, September 2002, pp. 183–187.