

**Propuesta de Proyecto de Investigación**  
**Maestría en Ciencias y Tecnologías de la Información**  
**Marzo, 2015**

**1. Nombre del Proyecto**

Diseño, evaluación e implementación de un protocolo de comunicación inalámbrica que permita el intercambio eficiente de información por medio de dispositivos móviles inteligentes para situaciones de misión crítica.

**2. Responsable**

Dra. Martha Montes de Oca Cáliz (martha.mc@xanum.uam.mx)

Redes y Telecomunicaciones

Departamento de Ingeniería Eléctrica

Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Iztapalapa

**3. Perfil deseable del alumno**

El alumno debe tener conocimientos básicos de redes y comunicaciones inalámbricas, algoritmos distribuidos y programación, así como facilidad para la lectura de documentos en inglés.

**4. Presentación del contexto e identificación de la problemática**

En la actualidad, gracias al desarrollo de los dispositivos electrónicos y los sistemas de cómputo, se encuentran disponibles en la sociedad contemporánea un gran número de tecnologías destinadas al procesamiento, almacenamiento e intercambio de información, denominadas en su conjunto como *tecnologías de la información y las comunicaciones* (TIC). La proliferación de dichas tecnologías ha dado origen a una gran variedad de servicios, como los que proporcionan los sistemas de comunicación telefónica móvil, denominada también telefonía celular. Estos sistemas necesitan la infraestructura de una o varias redes de comunicaciones, ya sea cableadas o inalámbricas, para lograr que sus usuarios puedan establecer conversaciones telefónicas con otros usuarios del mismo sistema y del sistema telefónico convencional, así como enviar y recibir mensajes de texto y, más recientemente, acceder a la Internet.

Para poder ofrecer estos servicios, los proveedores de telefonía móvil deben realizar una inversión que les permita instalar una red inalámbrica de amplia cobertura que abarque la región donde se encuentren sus usuarios, idealmente, a lo largo y ancho de toda la República Mexicana. Por la forma en que fueron diseñadas, este tipo de redes involucran el uso de una gran cantidad de equipos especializados, tales como estaciones base que incluyen antenas y dispositivos de comunicaciones que permiten el envío de voz y datos digitales, equipo de cómputo centralizado para el control, gestión y administración de toda la infraestructura, así como el cableado y equipos de encaminamiento de información. Cada estación base tiene una zona de cobertura limitada, por ello mientras el área a cubrir sea más extensa se necesitarán más estaciones base. En los sistemas de telefonía celular, cualquier comunicación, ya sea entre teléfonos celulares o con la red telefónica convencional, así como el acceso a la Internet, se realiza a través de dichas estaciones base y la infraestructura asociada a las redes de los proveedores de telefonía móvil y fija. La inversión que realizan los proveedores, para la instalación y mantenimiento de la infraestructura mencionada, está en el orden de cientos y hasta miles de millones de pesos. Para recuperar tal inversión, los proveedores de servicio de telefonía cobran costos asociados al uso de su infraestructura y los usuarios, comúnmente, realizan pagos mensuales para poder hacer uso de dichos servicios.

Aun cuando en México los costos de acceso a los servicios de la telefonía celular y fija son muy elevados, en comparación a los que se tienen en otros países, el uso de éstos ha proliferado en todos los niveles socio-económicos. De acuerdo a información estadística presentada por la Dirección de Información Estadística y de Mercado, a través del Sistema de Información Estadística de Mercados de Telecomunicaciones del Instituto Federal de Telecomunicaciones, el número de teléfonos móviles o celulares en México ya supera los 100 millones de dispositivos en años recientes. Esta cifra rebasa por mucho el número de aparatos telefónicos

conectados al sistema de telefonía convencional (telefonía fija). El crecimiento en el número de teléfonos celulares entre la población mexicana se debe principalmente a la ventaja que ofrecen al permitir la movilidad del usuario en una amplia zona del país, manteniendo la conectividad entre las diversas redes de telecomunicaciones y asegurando la disponibilidad para enviar y recibir información en prácticamente cualquier momento del día y desde o hacia cualquier lugar de la República Mexicana.

Es de esperarse que la correcta operación de los sistemas de telefonía móvil y fija depende, en gran medida, de la integridad de la infraestructura de las redes de comunicaciones. Si éstas se ven comprometidas parcial o totalmente por algún evento inesperado, por ejemplo, que las antenas, cables o equipos de comunicaciones se hayan dañado por la presencia de vientos fuertes o de inundaciones o sismos en alguna zona del territorio nacional, los servicios se podrían interrumpir temporalmente. Además, la ocurrencia de dichos eventos, frecuentemente produce la saturación de los sistemas por exceso de tráfico. Lamentablemente, en nuestro país ocurren estos eventos con relativa frecuencia, en especial, en la época de huracanes que azotan a las costas de México. Bajo estas condiciones, la infraestructura de la red suele fallar o saturarse parcial o totalmente por un periodo de tiempo variable, que puede ir desde unas cuantas horas hasta varias semanas, dependiendo de la gravedad de los daños ocasionados por las inclemencias del tiempo. Por otra parte, dado que el país se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, en promedio se presenta al menos un fuerte sismo al año, cuya intensidad puede alcanzar niveles peligrosos y, a veces, catastróficos que también suelen afectar la infraestructura de las redes de comunicaciones. La necesidad de comunicación que surge en momentos de emergencia como éstos ha despertado el interés en un gran número de investigadores de la comunidad científica y tecnológica por diseñar sistemas de comunicaciones que puedan operar cuando suceden dichos eventos. Al conjunto de sistemas diseñados para operar bajo condiciones de desastre se les denomina *sistemas de comunicaciones de misión crítica*. Debido a la relevancia de estos sistemas, resulta importante diseñar, evaluar e implementar algoritmos que permitan el envío y recepción de información bajo estas condiciones, es decir, cuando la infraestructura de las redes de comunicaciones se encuentre comprometida o saturada.

Por la importancia de lo anteriormente expuesto, en la propuesta de proyecto de investigación que se presenta en este documento se plantea diseñar, evaluar e implementar un protocolo de comunicaciones que permita el intercambio eficiente de información entre dispositivos móviles, aprovechando para esto la movilidad de los usuarios que los portan, en especial, cuando éstos se encuentren inmersos en una situación de misión crítica.

El principal reto que ha de resolverse para alcanzar los objetivos de este proyecto de investigación se relaciona con la problemática de recolectar y enviar mensajes prioritarios de personas que se encuentren bajo una situación crítica, en la cual se ha presentado una falla parcial o total en la infraestructura de las redes de comunicaciones que normalmente les permiten enviar dicha información a las unidades de emergencia de la región.

Realizar un intercambio de información prioritaria aun cuando la infraestructura de comunicaciones ha sido afectada o se encuentra comprometida, es una necesidad que puede satisfacerse si se cuenta con protocolos de comunicación que permitan el intercambio eficiente de datos entre usuarios utilizando redes inalámbricas de dispositivos móviles, en especial, cuando los usuarios se encuentren inmersos en una situación de misión crítica. Ofrecer una solución eficiente a esta necesidad es la principal motivación de este proyecto, además, los algoritmos de intercambio que se propongan pueden ser de utilidad a otros proyectos que incluyan intercambio de datos entre nodos móviles, por ejemplo, en redes inalámbricas de sensores móviles.

El protocolo de comunicaciones a proponer deberá permitir el intercambio de mensajes con prioridad de forma autónoma cuando la infraestructura de la red de comunicaciones ha fallado y no requerir del suministro de energía por parte de la red eléctrica ya que, bajo estas condiciones, ésta también pudiera encontrarse comprometida. De igual forma, los algoritmos computacionales involucrados deberán funcionar de manera distribuida, esto es, no deberán depender de algún equipo central para su coordinación, configuración y correcto funcionamiento. Dichos algoritmos aprovecharán el movimiento de los usuarios para diseminar la información en una región relativamente extensa, superando el alcance de comunicación que tiene una sola interfaz inalámbrica WiFi. Para conseguir este objetivo, los protocolos de comunicación deberán ser capaces de difundir los mensajes prioritarios mediante el establecimiento temporal de múltiples enlaces de comunicación entre los dispositivos móviles que se encuentren en la región afectada por el siniestro.

Una vez que la información se difunda a través de la red inalámbrica que ha sido creada, ésta deberá propagarse hasta alcanzar algún equipo que aún conserve conectividad a otra red de comunicaciones, a través

de la cual se pueda hacer llegar los mensajes prioritarios a las instituciones encargadas de proveer los servicios de emergencia a la población, tales como unidades de rescate, urgencias médicas, ambulancias, estaciones de bomberos o policía, y centros hospitalarios.

Inicialmente, se asumirá que los dispositivos móviles (nodos) estarán conectados a una red inalámbrica con infraestructura, la cual estará conformada por un conjunto de puntos de acceso que brinden la conectividad entre los dispositivos móviles y la Internet. Posteriormente, con el fin de emular una situación de misión crítica, se producirá una falla intencional pero controlada en parte de la infraestructura de la red inalámbrica, por ejemplo, interrumpiendo el funcionamiento de algunos puntos de acceso mediante el envío de mensajes desde un equipo de cómputo central a través de una red cableada. Ante dicho evento, los nodos móviles deberán detectar esta situación para configurarse y coordinarse automáticamente y establecer una red inalámbrica sin infraestructura. Lo anterior es con el fin de poder intercambiar mensajes de prioridad y encaminarlos hacia algún nodo que aún posea conectividad a una red inalámbrica con infraestructura.

Bajo el escenario antes descrito, el sistema deberá operar utilizando redes inalámbricas con y sin infraestructura. La segunda de estas redes estará integrada por los dispositivos móviles que se encuentren dentro de un alcance mutuo de comunicación. Debido a la movilidad de estos dispositivos electrónicos, la topología de la red, esto es, la disposición física que guardan los nodos entre sí, cambiará con el tiempo y la conectividad entre cualquier par de nodos de la red podría ser intermitente, pues los enlaces inalámbricos presentan un tiempo de duración limitado. En este entorno, se considerará que los dispositivos portátiles cuentan con las capacidades de comunicación, procesamiento y almacenamiento de información suficientes para que les permita realizar las tareas de recolección y entrega de información que, conforme se vayan moviendo, crearán enlaces de comunicaciones temporales con los dispositivos electrónicos presentes en su entorno inmediato. También se considerará que dichos dispositivos tienen instalados receptores del sistema de localización GPS o ejecutan algún otro método de localización, los cuales les proveen de información, de gran precisión, acerca de su ubicación espacial en cualquier momento, ya sea presente o pasado. De acuerdo a las características de los nodos de la red, los dispositivos móviles deberán ser capaces de seleccionar de manera automática la información prioritaria a ser compartida con los otros dispositivos, insertando los datos relevantes en una estructura de datos, denominada trama. Esta estructura se adaptará en forma dinámica a la cantidad de información disponible. En especial, estas capacidades deberán permitirles desarrollar, en forma eficiente, las actividades de recolección y envío de información prioritaria entre los dispositivos de comunicación que conforman la red inalámbrica sin infraestructura. El objetivo de esto es dar soporte a una aplicación que proporcione el servicio de recolección y entrega de información prioritaria en un sistema prototipo. En condiciones típicas de operación, dicha información deberá llegar al menos a un nodo que posea conectividad a una parte de la red con infraestructura, el cual deberá enviar la información de prioridad hacia el personal de emergencia a través de la Internet. El destino final de la información será simulado mediante la instalación de un equipo de cómputo centralizado (servidor) que identifique los mensajes prioritarios y los haga llegar a las unidades de emergencia convenientes, de acuerdo al tipo de urgencia reportada (incendio, robo, emergencia médica, etc.).

La comunicación directa entre los dispositivos móviles se efectuará exclusivamente entre los que se encuentren dentro del alcance de comunicación que les permita su interfaz inalámbrica WiFi que, en condiciones típicas de operación para esta tecnología, fluctúa entre los 20 y los 100 metros. Dicho alcance depende de varios factores, tales como el tipo de estándar utilizado, el tipo de ambiente (interiores o exteriores) en el que se emplean y si hay presencia de obstáculos que afecten la propagación de las ondas electromagnéticas. En el momento en que dos dispositivos se encuentren dentro de su cobertura inalámbrica WiFi, éstos deberán ser capaces de enviar y recibir información entre ellos. Bajo este escenario, si un equipo móvil requiere enviar información hacia otro dispositivo que se encuentre fuera de su alcance, lo tendrá que realizar a través de una comunicación de múltiples enlaces (comunicación multisalto). Dicha comunicación consiste en una transmisión en la que los dispositivos que se encuentren entre la fuente y el destino, deberán reenviar la información de uno a otro hasta alcanzar al dispositivo final. Este sistema operará mediante el establecimiento de una red inalámbrica sin infraestructura entre un conjunto de dispositivos móviles. A este tipo de red también se le denominada red inalámbrica en modo ad hoc. Para establecer dicha red sin infraestructura se utilizarán las interfaces WiFi disponibles en los equipos móviles. Los dispositivos que ejecuten la aplicación que implemente los algoritmos diseñados, deberán ser capaces de organizarse y configurarse automáticamente ante la ocurrencia de una falla en la infraestructura de las redes de comunicaciones. El sistema prototipo también podría utilizar dispositivos electrónicos instalados en vehículos de transporte, ya sean públicos o privados, siempre y cuando dichos equipos cuenten con interfaces inalámbricas compatibles. En este sistema se considera que el dispositivo final o destino sea aquel que aún cuenta con una comunicación hacia una red con infraestructura o posee acceso a

la Internet, de tal forma que pueda entregar la información a alguna unidad de emergencia para que el personal acuda en auxilio de la gente en problemas.

Por las condiciones de operación antes expuestas, el protocolo de comunicaciones, y los algoritmos asociados deberán permitir el intercambio de información entre dispositivos móviles basándose en la ocurrencia de encuentros. Es decir, este proceso sucederá sólo cuando la distancia que los separe sea menor o igual a su alcance de comunicación. Gracias a la movilidad de las personas que portan estos dispositivos electrónicos, esta condición podrá cumplirse, con cierta probabilidad, en algún momento de su recorrido durante un tiempo limitado. En el diseño de los algoritmos de esta propuesta de proyecto de investigación se estudiará el tiempo promedio de encuentro entre dos dispositivos para diversos alcances de comunicación y patrones de movilidad que contemplen un cierto comportamiento en el movimiento de los usuarios. Dichos patrones están definidos por los cambios en la velocidad, la duración de pausas, así como las trayectorias recorridas por el usuario. Para este análisis se considerará el patrón de movilidad más adecuado que permita describir, con mayor precisión, el movimiento que siguen los usuarios. En el análisis se considerarán diversos patrones de movilidad, que ya han sido estudiados y reportados en la literatura relacionada al tema en cuestión, en especial aquellos en que se establecen restricciones de movilidad de acuerdo a condiciones más reales, por ejemplo, el que los usuarios sólo puedan moverse sobre ciertos caminos o vías ante la presencia de obstáculos como son los edificios y casas. El conocimiento del tiempo promedio de encuentro permitirá establecer la cantidad de información que puede intercambiarse entre dos dispositivos móviles mientras se encuentren dentro de su alcance y definir la forma más eficiente para realizar dicho intercambio, de manera que se realice de manera rápida, aún cuando la cantidad de información pueda llegar a ser considerable.

Otro aspecto importante a considerar en el diseño de los algoritmos propuestos es la necesidad de tener información relacionada con la posición absoluta en la que se encontraban los dispositivos móviles durante el intercambio de información, y con el tiempo en el cual ocurrió dicho evento. Esta información será provista por los receptores del sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), los cuales se encuentran instalados en una gran variedad de dispositivos móviles disponibles comercialmente. El funcionamiento del sistema propuesto asume que los dispositivos móviles que ejecutarán la aplicación del sistema a desarrollar cuentan con receptores GPS.

También es importante considerar que los algoritmos a diseñar deben realizar el intercambio de información con un mínimo consumo de energía, con el propósito de extender el tiempo de operación de los dispositivos móviles y de la red inalámbrica ya que, en una situación de misión crítica, el suministro de la red de energía eléctrica puede haberse suspendido, lo cual dificultaría la recarga de las baterías de dichos dispositivos. Una forma en la que se puede alcanzar el ahorro de energía es limitando la potencia de transmisión, lo cual reduce el alcance de transmisión de los dispositivos. Otra manera de disminuir el consumo de energía es mediante el establecimiento de periodos de actividad e inactividad de las interfaces inalámbricas de los dispositivos, lo cual puede impedir la detección de otros con los que se pueda intercambiar información en ciertos periodos. Una tercera forma consiste en explotar la correlación espacial y temporal de los datos para disminuir las cantidades de información que se requieren transmitir. Dichas estrategias deberán valorarse y se deberá definir cuál de ellas es la más viable de implementar.

## **5. Objetivos generales y específicos**

### **5.1 Objetivo general**

Desarrollar y evaluar un protocolo para dispositivos inalámbricos móviles que permitan resolver el problema de comunicación que ocurre cuando los usuarios de dichos dispositivos se encuentran inmersos en una situación de misión crítica, aprovechando la propia movilidad de los usuarios para el intercambio y la diseminación de la información en una región relativamente extensa.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Proponer una estrategia para el intercambio eficiente de información entre dispositivos inalámbricos que aproveche la movilidad de los usuarios
- Definir los criterios para la evaluación del desempeño y la determinación de la eficiencia en el

intercambio de información entre los dispositivos móviles, debido a que la duración de los encuentros entre éstos puede ser breve.

- Evaluar los niveles en cuanto a la rapidez, precisión y el consumo energético del protocolo de comunicaciones para el intercambio de información entre dispositivos móviles
- Realizar las simulaciones y pruebas de campo que permitan evaluar las capacidades y limitaciones de la estrategia propuesta.
- Efectuar la comparación de los resultados obtenidos con alguna(s) propuesta(s) equiparable(s) que se encuentre(n) publicada(s) en la literatura especializada relacionada con el tema en cuestión
- Presentar los principales resultados obtenidos a partir de este proyecto de investigación en un foro internacional, por ejemplo, una conferencia o congreso relacionados con el tema

## 6. Metodología propuesta

1. Análisis exhaustivo de la literatura que permita identificar y clasificar las diferentes propuestas de solución que se relacionen con el problema planteado
2. Identificación de las evaluaciones de rendimiento de los protocolos propuestos y análisis de sus resultados.
3. Selección de una herramienta de simulación.
4. Planteamiento de los escenarios de evaluación del protocolo de comunicaciones propuesto.
5. Instrumentación para la evaluación de rendimiento del protocolo de comunicaciones propuesto.
6. Evaluación del protocolo de comunicaciones propuesto.
7. Análisis de los resultados obtenidos.
8. Elaboración de la idónea comunicación de resultados y presentación de los mismos en un foro internacional, sometiendo un artículo de investigación en un congreso o conferencia relacionados con el tema.

## 7. Calendarización de actividades

Actividades	Primer Trimestre			Segundo Trimestre			Tercer Trimestre		
Revisión bibliográfica y hemerográfica del tema (literatura)	■								
Identificación y clasificación de las diversas propuestas de solución encontradas en la literatura		■							
Identificación de las evaluaciones de rendimiento de los protocolos propuestos y análisis de sus resultados			■						
Selección de una herramienta de simulación				■					
Elaboración del reporte del primer trimestre					■				
Planteamiento de los escenarios para la evaluación del protocolo						■			
Instrumentación para la evaluación de rendimiento del protocolo							■		
Elaboración de reporte del segundo trimestre								■	
Evaluación del protocolo de comunicaciones									■
Análisis de los resultados									■
Elaboración de la idónea comunicación de resultados									■

## 8. Infraestructura necesaria y disponible

Se requiere de una computadora de escritorio con acceso a la Internet, así como de un par de computadoras portátiles con interfaces inalámbricas WiFi y un par de dispositivos móviles con interfaces inalámbricas WiFi.

## 9. Lugar de realización

Laboratorio de Técnicas y Aplicaciones para la Multimedia Distribuida (TAMDI) T-329 y, posiblemente, en el Campus de la Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Iztapalapa.

## 10. Referencias

1. Beach, M. Gartrell, S. Akkala, J. Elston, J. Kelley, K. Nishimoto, B. Ray, S. Razgulin, K. Sundaresan, B. Surendar, and M. Terada R. Han. WhozThat? evolving an ecosystem for context-aware mobile social networks. *IEEE Communications*, 22(4):50–55, 2008.
2. M. Bilandzic, M. Banholzer, D. Peev, V. Georgiev, F. Balagtas-Fernandez, and A. De Luca. Laermometer - a mobile noise mapping application. *Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-computer Interaction: Building Bridges*, pp 415–418, 2008.
3. J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy, and M.B. Srivastava. Participatory Sensing. In *ACM Sensys World Sensor Web Workshop*, 2006.
4. T. Camp, J. Boleng, and V. Davies. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2:483–502, 2002.
5. A.T. Campbell, S.B. Eisenman, N.D. Lane, E. Miluzzo, and R.A. Peterson. People Centric Urban Sensing. *Proceedings of the 2nd ACM/IEEE Annual International Wireless Internet Conference*, 2006.
6. T. Das, P. Mohan, V. Padmanabhan, R. Ramjee, and A. Sharma. PRISM: Platform for Remote Sensing using Smartphones. *Proceedings of 8th ACM Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, 2010
7. J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, and H. Balakrishnan. The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring. *ACM Mobisys '08*, pp 129–39, 2008.
8. S. Gaonkar. Micro-Blog: Sharing and Querying Content through Mobile Phones and Social Participation.
9. Hull, V. Bychkovsky, Y. Zhang, K. Chen, M. Goraczko, E. Shih, H. Balakrishnan, and S. Madden. CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System. *Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 2006.
10. Kansal, M. Goraczko, and F. Zhao. Building a Sensor Network of Mobile Phones. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 2007.
11. L. Kyunghan, H. Seongik, J. Seong, R. Injong, and C. Song. Slaw: A mobility model for human walks. *Proceedings of INFOCOM*, pp 855–863, 2009.
12. N. Lane, S. Eisenman, M. Musolesi, E. Miluzzo, and A. Campbell. Urban sensing: Opportunistic or participatory? *Proceedings of the 9th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp 11–16, 2008.
13. N.D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury, and A.T. Campbell. A Survey of Mobile Phone Sensing. *IEEE Communications*, 48(9):140–250, 2010.
14. Y. Fan Ye R. Ganti and L. Hui. Mobile Crowdsensing: Current State and Future Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 49(11):32–39, 2011.
15. A.T. Erman, L.V. Hoesel, P. Havinga, J. Wu. Enabling mobility in heterogeneous wireless sensor networks cooperating with UAVs for mission-critical management, *IEEE Wireless Communications*, 15(6), pp 38-46, 2008
16. N. Thepvilojanapong, S. Konomi, Y. Tobe, Y. Ohta, M. Iwai, and K. Sezaki. Opportunistic collaboration in participatory sensing environments. *Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture*, pp. 39–44, 2010.
17. A. Thiagarajan, L. Ravindranath, K. LaCurts, S. Toledo, and J. Eriksson. VTrack: Accurate, Energy-Aware Road Traffic Delay Estimation Using Mobile Phones. *Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 85-98, 2009
18. R. Tyan, G. O'Hare, D. Marsh, and D. O'Kane. Interpolation for Wireless Sensor Network Coverage. Pp 123–131, Sydney, Australia, 2005.
19. P. Zhou, T. Nadeem, P. Kang, C. Borcea, and L. Iftode. EZCab: A Cab Booking Application Using Short-Range Wireless Communication. *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp 27–38, 2005.