

# Optimización del Desempeño del Sistema IP Móvil

<sup>1</sup>Morales-Villanueva A, <sup>2</sup>García-Hernández C

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CENIDET  
Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira Cuernavaca, Mor. MEXICO 62490  
Tel: +52-777-3187741 Fax: +52-777-3122434

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Eléctricas – IIE  
Calle Reforma No. 113, Col. Palmira Cuernavaca, Mor. MEXICO 62490  
Tel: +52-777-3623811 Fax: +52-777-3189854  
e-mail: [amin.morales@motorola.com](mailto:amin.morales@motorola.com) , [cfgarcia@iie.org.mx](mailto:cfgarcia@iie.org.mx)  
<http://www.iie.org.mx/uci/cfgh.htm>

## Resumen

Esta investigación presenta una evaluación del sistema IP móvil así como un nuevo esquema para una eficiente administración de localización de nodos móviles. La propuesta minimiza el tráfico extra ofrecido por el sistema al proveer el servicio de Internet a los usuarios móviles.

La optimización se ve lograda al aplicar un esquema de “clusters” (grupos de células) para minimizar el tráfico por actualización, lo cual implica considerar procesos de “paging” (localización) que propició un costo adicional (tráfico extra) y los re-enrutamientos fueron minimizados utilizando el agente cache. Tomando esto en cuenta, el desempeño de la red es mucho más favorable que el desempeño en el esquema estándar de IP Móvil.

## 1.- Introducción

La rápida expansión de las tecnologías de comunicaciones inalámbricas tal como la red celular y la LAN (Red de Area Local) inalámbrica (WLAN), han hecho posible el soporte de conectividad a red para computadoras móviles.

Tal conectividad a red, ofrece grandes promesas para el propósito general de computación móvil.

Sin embargo, la conexión de red entre computadoras móviles presenta un reto diferente comparado al de las redes tradicionales fijas. Uno de los problemas más importantes relacionados a redes móviles es el direccionamiento y el esquema de enrutamiento que permite al nodo moverse de una localización a otra.

IP Móvil es el medio actual que ofrece “roaming” (seguimiento) a computadoras móviles en Internet. Se han realizado varias propuestas para mejorar la eficiencia de enrutamiento, pero requieren cambios en el software de los nodos estacionarios, de ese modo, comprometen la compatibilidad con las aplicaciones existentes.

La carrera por implantar la futura generación de redes inalámbricas ha comenzado en todo el mundo, impulsada por la creciente demanda de servicios de telecomunicaciones y por la reducción en los costos de tecnologías inalámbricas.

Uno de los principales usos de Internet es para el intercambio de mensajes por correo electrónico, ya que ofrece un método rápido y conveniente de transferencia de información hacia localidades remotas. El correo electrónico puede adaptarse al envío de pequeños mensajes o de grandes y voluminosos documentos.

Así con la rápida expansión de la tecnología celular, WLANs y servicios por satélite es posible para muchos usuarios acceder información en

cualquier parte y en cualquier momento [1]. El ambiente resultante es conocido como *computación móvil* y su principal característica es que proveen a los usuarios de *movilidad*; inclusive esto también queda comprendido dentro de las *comunicaciones personales*.

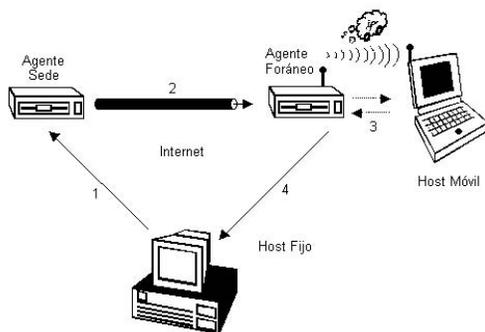
El objetivo de este trabajo de investigación es mejorar el desempeño del esquema Estándar de IP Móvil, minimizando con otras técnicas el tráfico extra que genera. A continuación se hace la descripción del sistema, la evaluación del desempeño y su optimización con un esquema propuesto.

### El Sistema IP Móvil

El esquema móvil para IP o *IP Móvil*, “permite enrutamiento transparente de datagramas IP a nodos móviles en Internet” [4], esto requiere que el protocolo IP se extienda para ser transparente a los usuarios móviles, usuarios fijos y enrutadores existentes en la red.

*IP Móvil* logra estos objetivos al proveer a los “host” móviles con una dirección permanente, dirección “sede” (home), independientemente de su punto actual de enlace a Internet y una dirección “care-of” (encargado) la cual proporciona información acerca de su punto actual de enlace. Con todo esto se puede decir que *IP Móvil* extiende a IP para permitir a las computadoras móviles utilizar eficientemente dos direcciones IP, una para *identificación* y otra para *enrutamiento*.

Los datagramas enviados a la dirección sede del nodo móvil son interceptados por su agente sede (paso 1 en la figura 1), entunelados a la dirección “care-of”, recibidos por el punto extremo del túnel (paso 2) y finalmente enviados al nodo móvil (paso 3).



**Figura 1** Flujo de datagramas hacia y desde el nodo móvil [3].

En el sentido inverso, los datagramas enviados por el nodo móvil son enviados generalmente a su destino (paso 4), por los mecanismos de enrutamiento estándar de IP [3].

Adicionalmente se requiere de un nodo especial en el lugar sede, llamado *agente sede (HA)*, que enviará paquetes al “host” móvil (MH) a través del encapsulamiento llamado “tunneling” (entunelamiento) sobre Internet. En el destino los paquetes serán desencapsulados, ya sea directamente por el nodo móvil o por un nodo adicional llamado *agente foráneo (FA)* o *agente de enlace*.

### Características de Enrutamiento

Como se puede apreciar en la figura 1, existe un triángulo conceptual cuyos vértices son el agente foráneo, el agente sede y el “host” fijo (FH), por lo que se puede mencionar que *IP móvil* trabaja normalmente bajo un esquema de *enrutamiento triangular*, [3,5]. Así, el esquema de enrutamiento de IP móvil presenta el gran problema del enrutamiento triangular ya que toda información dirigida al “host” móvil fluiría siempre a través del agente sede, aún a pesar si el “host” fijo y el “host” móvil se encuentran cercanos entre sí (misma red). En otras palabras, se está generando más tráfico que el necesario debido al re-enrutamiento de la información.

### Características de Movilidad

Un estado sin restricciones de movilidad para telecomunicaciones inalámbricas requiere de una completa cobertura de red. Sus dos principales características (a diferencia de los sistemas convencionales de telecomunicaciones alámbricas) son el seguimiento o “roaming” de un área de localización actual del suscriptor (“host” fuera de su área sede), para habilitar enrutamiento de llamadas entrantes y “hand-off” (cambio automático de canal) entre áreas de cobertura para obtener comunicación ininterrumpida.

La movilidad del usuario inevitablemente ocasionará tráfico de señalización debido a que el sistema de alguna manera siempre deberá estar

enterado del paradero del “host” móvil, con la finalidad de desempeñar una efectiva entrega de paquetes a él. De esta forma la estrategia utilizada para la administración de movilidad es parte fundamental de la cantidad de tráfico extra que debe soportar la red, con el fin de brindar servicio a los usuarios móviles de Internet. En seguida se analiza su desempeño.

## 2.- Evaluación del Desempeño del Sistema IP Móvil

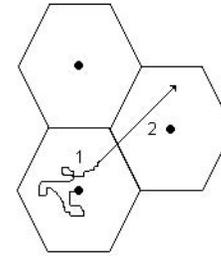
En estos sistemas la demanda en tráfico se encuentra en ascenso, además del empleo de *administración de localización y procedimientos de “hand-off”* en un ambiente celular, junto con el gran número de MUs (Usuarios Móviles), generará una considerable *carga de señalización relacionada con la movilidad*.

El modelado de movilidad involucra el análisis de aspectos relativos a:

- La administración de localización.
- La administración de los recursos de radio.
- La propagación.

Los estudios de evaluación involucran directamente a la conducta de movilidad del usuario; además, la precisión de los resultados depende en gran parte del *modelo de movilidad* que se considere [6].

La administración de localización es uno de los tópicos más importantes en redes inalámbricas móviles, donde las redes celulares actuales dividen su área de cobertura en áreas de localización (AL). Cada AL consiste de una célula y cada terminal reporta su localización a la red cuando ésta entra a una nueva AL. Este proceso de notificación, se llama *actualización de localización*. Como resultado, un *costo (tráfico extra)* se asocia con tal proceso de actualización de localización.



1 = Micromovimientos o movimientos aleatorios  
2 = Macromovimientos o movimientos grandes

**Figura 2** Desplazamientos que comprende el modelo de movilidad [7].

El modelo de movilidad contempla las características de movilidad del usuario, que se derivan del movimiento en dos diferentes escalas utilizando dos modos distintos: los usuarios en una *microescala* probablemente se muevan a velocidades bajas dentro de sus células y en una *macroescala* se muevan a velocidades vehiculares dentro y entre células (figura 2) [7].

Siempre que un usuario desea obtener algún tipo de servicio móvil inalámbrico, el usuario móvil deberá estar registrado todo el tiempo con algún agente de movilidad, esto es necesario para mantener su localización en la **base de datos del sistema** y por lo mismo el usuario deberá actualizar/notificar al agente de movilidad, si más de un tiempo  $T_U$  (tiempo para actualizar) ha pasado o bien cuando el móvil ha excedido una distancia de umbral lejos del centro de la célula en la cual el usuario estuvo recientemente registrado.

### Proceso de Registro en IP Móvil

El registro en IP Móvil es un proceso a través del cual un MH realiza las siguientes acciones [8]:

- Solicita servicio de enrutamiento de un agente foráneo,
- Informa a su agente sede de su dirección “care-of” actual,
- Renueva un registro que deberá expirar, y
- Se desregistra cuando regresa a su enlace sede.

Debido a que el registro en IP móvil sólo es válido por un tiempo de vida específico, el “host” deberá desempeñar el mismo procedimiento tantas veces mientras éste necesite del servicio, lo cual incurre en tráfico extra que debe soportar la red para saber de la existencia del móvil.

## Tráfico de Registro y de Actualización de Localización

Después del procedimiento de registro, que es la primera notificación hacia el agente foráneo desde el MH, los siguientes registros debido a las expiraciones de las mismas, podrán ser considerados como actualizaciones de localización, lo cual será tratado indistintamente.

Siguiendo el modelo de movilidad mencionado para IP móvil, se tiene que el tráfico debido a macromovimientos (BM.- Grandes Movimientos) es representado por la ecuación (1) [10]:

$$Tráfico_{BM} = \rho_{BM} * [1 - F_{BM}(R)] * C_U \quad (1)$$

donde:  $\rho_{BM}$  es la tasa de movilidad;  $[1 - F_{BM}(R)]$  es la probabilidad de realizar un macromovimiento mayor a la distancia R y  $C_U$  es el costo debido a la actualización.

Por otro lado se tiene el número de actualizaciones por expiración o “time-out” (TO), esto es, después de cada actualización debida a algún movimiento grande se contará el número de periodos enteros de longitud  $T_U$  y se procederá a actualizar, esto según en lo especificado por el estándar [8]. Por lo tanto, si se define a  $\lambda$  como la tasa de otras actualizaciones se tiene que el tráfico por “time-out” corresponde al de la ecuación (2) [7]:

$$Tráfico_{TO} = \frac{1}{e^{\lambda T_U} - 1} * C_U \quad (2)$$

A continuación se analiza el tráfico por enrutamiento.

## Tráfico por Enrutamiento Triangular

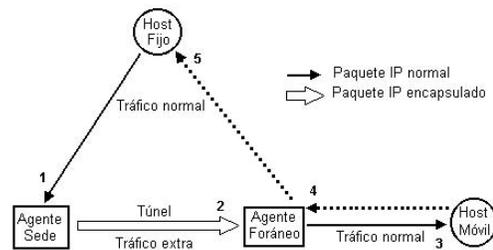
El mecanismo por el cual se envían paquetes a los “host” móviles es el entunelamiento, éste a su vez contempla dos tipos de encapsulado. El *encapsulado IP dentro de IP* tiene un costo extra de 20 bytes mientras en el *encapsulado mínimo* sólo de 12 bytes [8].

Se cita un experimento realizado en la referencia [9] sobre *tráfico por correo electrónico*, donde se estudiaron las conexiones establecidas por correo electrónico para dos usuarios durante un periodo de tiempo razonablemente largo y donde se encontró que 5 fuentes contribuyen con la mayoría

del tráfico por correo electrónico hacia los usuarios.

En los análisis siguientes se consideran estos dos casos de estudio, asumiendo que la totalidad de correos provienen de la misma fuente. De igual forma, de aquí en adelante se supondrá que la carga útil de un paquete de correo electrónico es de 1Kbyte o bien  $2^{10}$  bytes, por lo tanto se supone que cada paquete de correo electrónico es de 1044 bytes. En seguida, se analizarán los dos casos de movimientos:

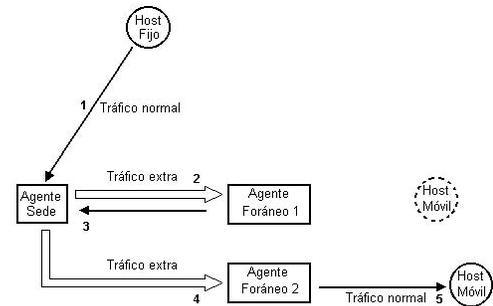
1) Enrutamiento triangular (ET) cuando el nodo móvil realiza micromovimientos (figura 3).



**Figura 3** Enrutamiento triangular hacia un nodo residiendo en su célula [10].

2) Enrutamiento triangular cuando el nodo móvil realiza macromovimientos (figura 4).

En este caso el enrutamiento de la información está relacionado a  $\rho_{BM} * [1 - F_{BM}(R)]$  de la ecuación (1), referente a la tasa de movimientos que cruzan fronteras de células.



**Figura 4** Enrutamiento triangular hacia un nodo en movimiento [10].

Los tráficos bajo este escenario presentan sus ecuaciones en la referencia [10] en paquetes extra por correo electrónico para el caso de encapsulado IP dentro de IP y encapsulado mínimo (EM). Estas ecuaciones corresponden al tráfico total considerando conducta de movilidad uniforme ( $Tráfico_{totalET\_M\_IP}$  y  $Tráfico_{totalET\_M\_EM}$ ), para N

correos electrónicos. En seguida se analiza su optimización del desempeño.

### 3.- Optimización del Desempeño del Sistema IP Móvil

#### Optimización de la Administración de Localización para IP Móvil

Hasta este punto se ha considerado que cada área de localización comprende solamente a una célula y es por ello que sólo se han empleado procedimientos de actualización de localización para evaluar el tráfico extra soportado por la red; debido a esto, los agentes sede de cada MH conocen exactamente la localización de cada uno de ellos. Sin embargo, el costo por actualización de localización es elevado, ya que el MH reporta su localización cada vez que éste entra a una nueva célula.

Una posible solución para minimizar el tráfico por actualización es incrementar, tanto como sea posible, el radio de la célula pero esto lleva a un problema aún mayor, ya que el ancho de banda disponible es limitado y entre mayor sea el área de cobertura de una célula menor será el número de móviles a los que podrá brindar el servicio; una mejor solución es organizar las células en *grupos* o *“clusters”* en forma de anillos, de forma tal que cada *“cluster”* utilice la totalidad del ancho de banda, es decir que utilice todos los canales disponibles y pueda soportar así al mismo número de usuarios por *“cluster”* [11].

El número de células que se encuentran dentro de cierta distancia que corresponda al *i-ésimo* anillo desde cualquier célula, está dado por la ecuación (3) [12]:

$$h(i) = 3i(i+1)+1 \quad (3)$$

para  $i=0,1,2,\dots$ ; el radio del *“cluster”* ahora se encuentra por la ecuación (4) [12]:

$$r = ((2i-1)+2)R \quad (4)$$

donde R es el radio de la célula y cuando  $i=0$  se está considerando el anillo 0, es decir a la célula misma.

Es importante notar que si decrementa el tamaño de la célula, el tamaño del *“cluster”* también se reduce y así el número de canales por unidad de área es mayor. Por lo tanto la forma más efectiva de incrementar la capacidad de la red es decrementando el tamaño de la célula [11].

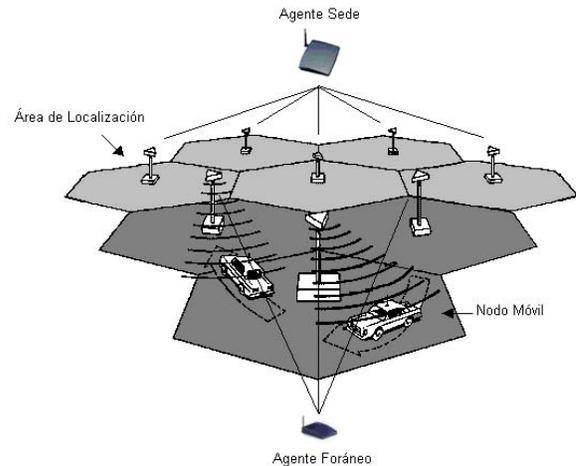


Figura 5 Arquitectura de la red con *“clusters”* de células.

Para los esquemas que emplean algoritmos de búsqueda (figura 5) [2] deberá existir un convenio en la administración de localización que comprende el *costo de búsquedas* y el *costo de actualizaciones*, por lo tanto, *el objetivo de una eficiente estrategia de administración de localización es reducir los costos de ambos procedimientos*.

#### Tráfico por Registro/Actualización

El proceso de registro/actualización de localización difiere un poco del esquema antes presentado para el estándar de IP Móvil, ahora cada MH desempeñará una actualización de localización cuando éste entre a una nueva AL. Como se mencionó cada AL consiste de un conjunto de células y en general, todas las estaciones base pertenecientes a la misma AL están ligadas con el mismo agente foráneo.

La configuración de *“clusters”* sumará componentes adicionales que del mismo modo modificarán el tráfico ya existente y estas componentes se deberán principalmente a la inclusión del proceso de *“paging”* de la terminal, ya que cuando un usuario recibe un correo, se maneja suficiente información acerca del MH por los agentes de movilidad (HAs y/o FAs) de modo

que la localización del MH se actualiza automáticamente. Así, se obtiene el tráfico generado por actualización de localización bajo la política de “clusters”-anillos [10].

La parte de actualización de localización debido al “time-out” también es modificada con respecto al estándar. En este caso el primer registro del MH con su agente foráneo será permanente y sólo será borrado ya sea cuando el MH se desregistre o si no se efectuó una actualización por “time-out” con el  $FA_{ACTUAL}$ , de esta forma *sólo se llevarán a cabo actualizaciones de localización por “time-out” con los FAs.*

Además, se sumará una componente adicional a las ya especificadas hasta el momento, esta componente es debida a las conexiones establecidas con el MH, es decir, con los correos electrónicos enviados a él [7], donde la probabilidad de que un MH no acepte un correo es mínima. Así, se obtiene el tráfico debido al “time-out”.

Finalmente la expresión que describe el tráfico total por actualización con “clusters” de anillos (en función del “time-out” y BM) para esta configuración, corresponde al  $Tráfico_{REG/ACT\_C-A}$  desarrollado en la referencia [10].

### Tráfico por “Paging”

Puesto que el agente foráneo está asociado con un AL y hay más de una célula en cada AL, es necesario un mecanismo para determinar la célula en la que se encuentra el MH. Este mecanismo de “encontrar” al MH es llamado localización del MH o “paging” y se logra al difundir señales de “polling” (sondeo o “poleo”) o de interrogación en todas las células del “cluster” del AL donde se desplaza el móvil [12,13]. Tras la recepción de esta señal de “poleo”, la estación base o la terminal móvil envía una contestación, lo cual permite al agente foráneo determinar la célula actual de residencia del móvil [13].

A fin de determinar si la terminal móvil está localizada en una célula en particular, el agente foráneo desempeña los siguientes pasos [12]:

1. Envía una señal de “poleo” a la célula en la que el MH se registró y espera hasta que transcurra cierto periodo de tiempo.

2. Si recibe una contestación antes de que transcurra este periodo de tiempo, el MH destino está localizado en esa célula.
3. Si no recibe tal contestación, el MH no está en esa célula y se desempeñará un proceso de “paging” en el “cluster”.

De esta forma se tienen contempladas las acciones que pueden ocurrir cuando se trata de localizar a algún móvil en particular. Por lo tanto, el tráfico total debido al proceso de “paging” está dado por la ecuación (5):

$$Tráfico_{PG\_C-A} = Tráfico_{PG\_NR} + Tráfico_{PG\_BM} \quad (5)$$

Donde:

$Tráfico_{PG\_NR}$  = Tráfico de “Paging” por No Respuesta.

$Tráfico_{PG\_BM}$  = Tráfico de “Paging” por Grandes Movimientos

Ahora el tráfico total que debe soportar la red tiene una componente debida a las actualizaciones de localización y una componente debida a la localización del MH dentro del cluster, de esta forma el tráfico total aplicando la técnica de “clusters” es (ecuación 6; ver las ecuaciones respectivas en la referencia [10]):

$$Tráfico_{Total\_C-A} = Tráfico_{REG/ACT\_C-A} + Tráfico_{PG\_C-A} \quad (6)$$

A continuación se hace la estimación de los valores de algunos de los parámetros.

## 4.- Estimación de Parametros

Se establece a  $T_U = 15$  minutos (tiempo para actualización), tomando en cuenta el tráfico extra ofrecido por el sistema y como parámetro la movilidad del usuario,  $r_{BM}$ , con la finalidad de mostrar que el tráfico disminuye cuando se incrementa  $T_U$ .

Asimismo, se encontró que el sistema presenta considerable mejora sólo si el “cluster” consiste de **un anillo** ( $i=1$ ).

También, como es de esperarse, el porcentaje de mejora varía dependiendo de la movilidad del usuario ( $1 \leq r_{BM} \leq 100$ ) y de la cantidad de correos

electrónicos que recibe por día (49 para el caso de estudio 1 y 6 para el caso de estudio 2).

De lo anterior es posible definir a la eficiencia como el porcentaje promedio global de ahorro en tráfico multiplicado por la densidad de canales por unidad de área llamada *eficiencia del desempeño con restricción de ancho de banda*.

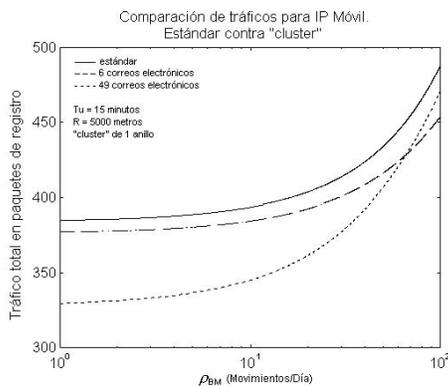
El parámetro  $\eta_{BW}$  representa la eficiencia y en la ecuación 7 se presenta su expresión [10].

$$h_{BW} = \text{Porcentaje\_promedio\_global} \left( \frac{\#\_de\_Canales / "cluster"}{\text{Area\_del\_} "cluster"} \right) \quad (7)$$

En seguida se hacen comparaciones de los diferentes tráficos.

### Comparación de tráficos por administración de localización

Adoptando los valores anteriores para las variables del sistema, se simula su comportamiento y se compara finalmente con el estándar, para remarcar tal diferencia (figura 7).



**Figura 7** Comparación de tráficos por administración de localización para IP Móvil [10].

Como se puede apreciar en la figura 7, el tráfico ofrecido por la configuración de "clusters" es menor que el tráfico ofrecido por el estándar de IP Móvil (IETF) cuando se trabaja en ambientes celulares (redes de área metropolitana), también se observa que para una baja tasa de correos electrónicos enviados al MH, el tráfico tiene un comportamiento muy cercano pero favorable al presentado por el estándar (disminuye entre un 2.32% y un 6.96% para alta y baja movilidad respectivamente) y cuando se tiene una alta tasa de correos electrónicos, el tráfico para baja

movilidad disminuye aún más en comparación al tráfico de alta movilidad (entre 3.52% y 12.34%, para alta y baja movilidad respectivamente); para ambos casos se tiene un mejor rendimiento del esquema [10].

### Optimización del Esquema de Enrutamiento de IP Móvil

El esquema comprende la participación de una entidad llamada **agente cache (CA)** introducida por el protocolo IMHP (Protocolo de "Host" Móvil de Internet) que de igual forma colaborará para realizar lo antes mencionado.

Un agente cache es un "host" o enrutador que mantiene un **cache de localización** conteniendo el vínculo (la asociación entre la dirección sede de un MH y su dirección "care-of") de uno o varios MHs.

### Arquitectura propuesta para el sistema IP Móvil

En la figura 8 se muestra la arquitectura del sistema que se empleará para evaluar la propuesta de optimización de IP Móvil [10], la principal diferencia con el estándar es la introducción de la entidad llamada agente cache, la cual será utilizada para evitar el triángulo de enrutamiento inherente al estándar.

El protocolo de administración del IMHP [14] propone operar como una extensión del ICMP (Protocolo de Mensajes de Control de Internet) a través de la definición de mensajes adicionales para una efectiva administración de movilidad.

La propuesta que aquí se presenta también tomará esa consideración y se utilizarán los mismos paquetes definidos en [14], además de un nuevo paquete propuesto para la notificación de falta de vínculo.

El entunelamiento se realiza empleando el encapsulado IP dentro de IP, ya que éste presenta la ventaja de fragmentación al sumarse un encabezado IP al paquete destinado al MH.

### Operación básica entre FH y MH

A continuación se muestra (figura 9) la secuencia de pasos (de arriba hacia abajo) que se deben realizar para establecer comunicación por vez primera entre un FH y un MH bajo el esquema propuesto. En este procedimiento se supone que los FAs y los HAs tienen un vínculo autenticado para los MHs en sus listas de visitante y sede, respectivamente.

### “Host” Móvil en movimiento

Un escenario de vital importancia es el que considera la movilidad del “host”, ya que al cambiar éste de localización (célula de cobertura) es necesario efectuar un procedimiento de notificación de cambio de localización al agente foráneo previo y actualizar el registro con el HA. Por ello se tiene el diagrama de señalización mostrado en la figura 10.

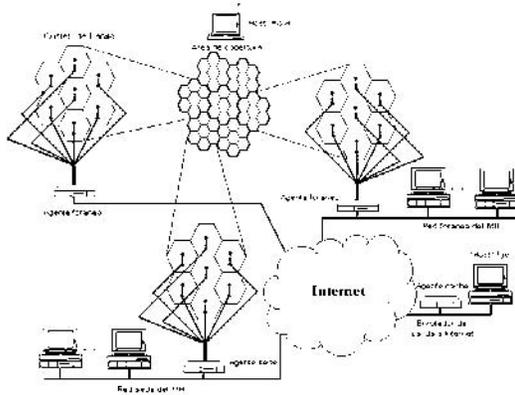


Figura 8 Esquema general propuesto para IP Móvil [10].

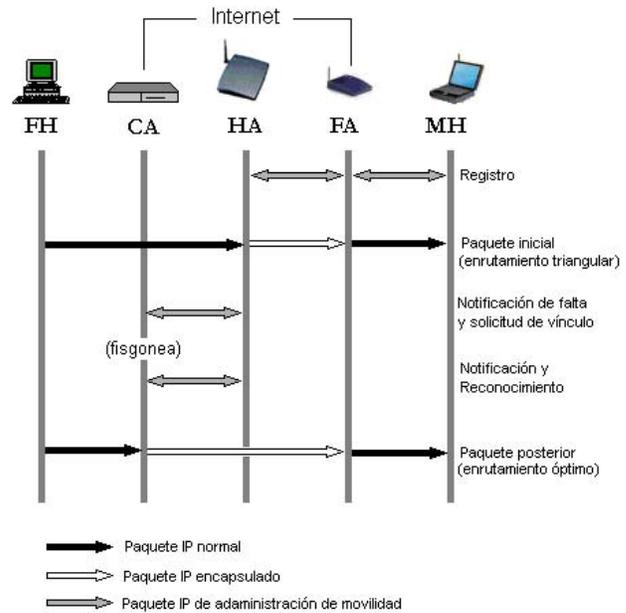


Figura 9 Operación básica del sistema IP Móvil con optimización de enrutamiento [10].

### Tráfico de Enrutamiento con Agente Cache

- 1) Enrutamiento directo cuando el MH realiza micromovimientos (ecuación 8).

$$Trafico_{totalECA_{IP}} = C_{totalECA_{IP}} = \{1.2 + [(N - 1) * 0.02]\} paquetes \tag{8}$$

- 2) Enrutamiento directo cuando el MH realiza macromovimientos.

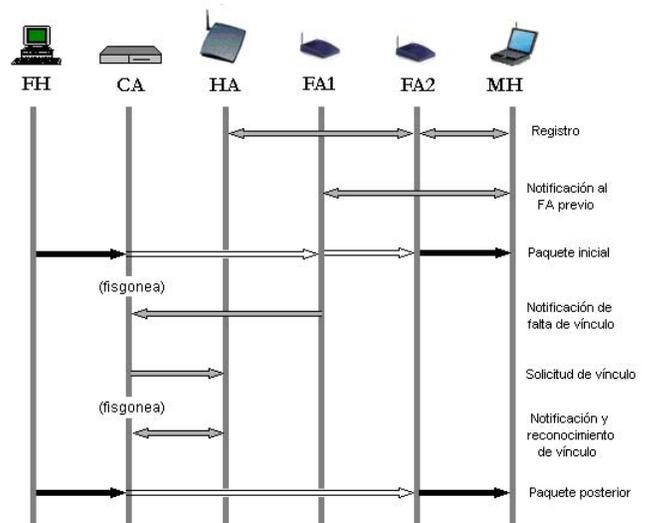


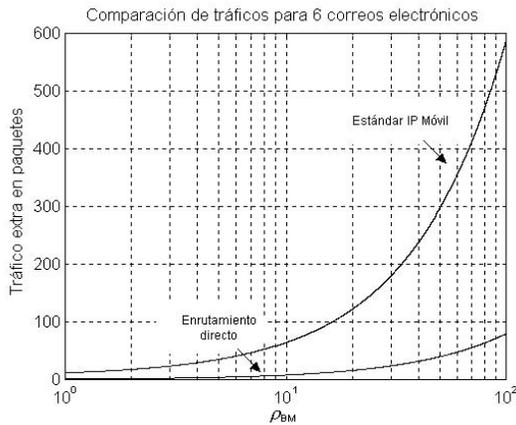
Figura 10 Operación del sistema considerando movilidad del MH [10].

Siguiendo un análisis igual, se puede ver que los costos anteriormente obtenidos se repetirán tantas

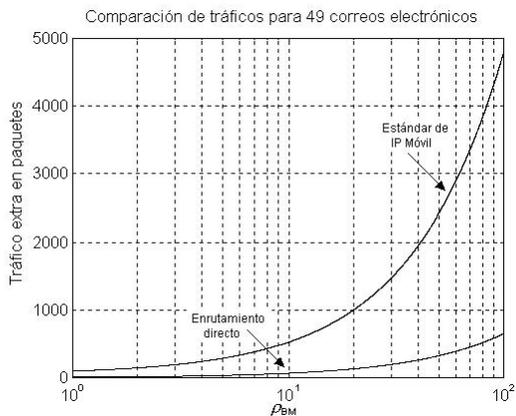
veces como el MH cambie de localización, excepto el costo(CA → FA<sub>PREVIO</sub>) el cual se realizará sólo una vez debido a que el FA<sub>PREVIO</sub> no devolverá el correo electrónico cuando el MH ya no se encuentre bajo su cobertura, en lugar de eso, el FA<sub>PREVIO</sub> utilizará la entrada en su cache de localización como apuntador a la nueva localización del MH; así, se tiene la ecuación (9) [10].

$$Trafico_{totalECA\_M\_IP} = (1.2r_{BM}(1 - F_{BM}(r)) + 0.02) * N \tag{9}$$

paquetes para un total de  $N$  correos electrónicos utilizando encapsulado IP dentro de IP, donde  $r$  representa el radio del “cluster” ligado con el agente foráneo; este radio está dado por la ecuación (4) y el radio de la célula  $R$  es de 5 km.



**Figura 11** Tráfico total por 6 correos electrónicos por día (tráfico uniforme) [10].



**Figura 12** Tráfico total por 49 correos electrónicos por día (tráfico uniforme) [10].

## Comparación de tráfico por enrutamiento

Con base en el modelado analítico desarrollado en la referencia [10], para el caso de macromovimientos se modela el tráfico total por día para un correo electrónico bajo conducta de movilidad uniforme; bajo la misma consideración se modela el tráfico total por día para los dos casos de estudio (usuario 1 que recibe 49 correos y usuario 2 que recibe 6 correos). Esto se muestra en las figuras 11 y 12, de las cuales se obtienen los porcentajes de ahorro en tráfico del orden de **87%** para una configuración de agente cache y “cluster” (enrutamiento directo) con respecto al estándar de IP Móvil.

En conclusión, la técnica de “cache-cluster” optimiza el desempeño del sistema IP Móvil y es una excelente opción para la administración de este sistema.

Actualmente, el RFC 3344 de la IETF de internet es el Estándar para IP Móvil [16] y los agentes cache, sede y foráneo son ampliamente usados.

Como trabajos futuros se puede contemplar también el aspecto relacionado con la Calidad de Servicio – QoS (esquemas de acceso al canal, “hand-off”, entre otros). Además, otra opción que se puede considerar es la estrategia de apuntadores de envío, que puede ser muy acorde con las características de IP Móvil, debido a que la propuesta de enrutamiento contempla un apuntador retenido por los agentes foráneos, para la localización del “host” móvil.

## 5.- Conclusiones

A lo largo de esta investigación (con base en el modelado analítico desarrollado en la referencia [10]) se trabajó con un sistema novedoso de comunicación inalámbrica cuyo principal objetivo es permutar la plataforma de los servicios de Internet, es decir, cambiar un servicio de naturaleza puramente alámbrica a uno con capacidad de adaptación en ambientes inalámbricos y no tan sólo eso, sino que también con capacidad de brindar servicios de red a usuarios cuyo punto de enlace a Internet cambia rápidamente; **la movilidad.**

Los resultados de la evaluación del sistema, dependen directamente del modelo de movilidad empleado, por eso fue necesario adoptar un modelo que se apegara a las características de operación de IP móvil y esto fue logrado al realizar modificaciones al estándar de IP Móvil, resultando un novedoso modelo de movilidad propuesto para PCS (Servicios de Comunicaciones Personales [15]). Realizando un análisis de movilidad, los resultados arrojan una mejora entre el 2.32% y 12.34% para la configuración de “clusters” en comparación al estándar. En cuanto al proceso de administración de movilidad (enrutamiento de información a los “hosts” móviles), éste se ve beneficiado al contemplar en la arquitectura del sistema una entidad llamada “agente cache” para el efectivo enrutamiento de paquetes; la propuesta que aquí se presenta, no pretende realizar cambios radicales en la infraestructura, ya que las características de agente cache sólo estarán disponibles en los enrutadores que sirven como intermediarios entre el “host” fijo e Internet. Al evaluar el tráfico por re-enrutamiento de información, se observa que éste disminuye considerablemente, en parte debido a la minimización de enrutamientos triangulares y en parte a la configuración de “clusters” utilizada, ya que el enrutamiento entre agentes foráneos se ve afectado debido al proceso de “paging” contemplado en la administración de localización, logrando con esto una mejora del 87% en promedio con respecto al estándar de IP Móvil.

El **esquema final propuesto** es llamado **“cache-cluster”** debido a las técnicas utilizadas para la minimización del tráfico extra, por lo que el objetivo de este trabajo de investigación fue logrado: **optimización del desempeño del sistema IP Móvil.**

## 6.- Referencias

- [1] Imielinski Tomasz and Badrinath B.R., “Mobile Wireless Computing: Solutions and Challenges in Data Management”, Department of Computer Science, Rutgers University, pp. 1-37.
- [2] Listanti Marco and Salsano Stefano, “Impact of Signalling Traffic for Mobility Management in an IN based PCS Environment”, INFOCOM Dept, University of Roma “La sapienza”, IEEE 95, pp. 107-111.
- [3] Perkins Charles E., “Mobile IP”, **IEEE Communications Magazine**, pp. 84-99, Mayo 1997.
- [4] Simpson W. A., “IP Mobility Support”, **IETF Mobile IP Working Group**, 5<sup>th</sup> Draft. 1994.
- [5] Kunzinger Charles A., “Network Layer Mobility: Comparison of CDPD and Mobile-IP”. Emerging Technologies Networking Hardware Division Research Triangle Park, NC. Document Number TR 29.2003, IBM Corp. , pp. 1-38, 1995.
- [6] Markoulidakis John G., et. al., “Mobility Modeling in Third-Generation Mobile Telecommunications Systems”, **IEEE Personal Communications**, pp. 41-56, August 1997.
- [7] Brown Timothy X. and Mohan Seshadri, “Mobility Management for Personal Communications Systems”, **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Vol. 46, No. 2, pp. 269-278, May. 1997.
- [8] Solomon James D., “Mobile IP: The Internet Unplugged”, Prentice Hall Series in Computer Networking and Distributed Systems, 1998.
- [9] Rajagopalan Subhashini and Badrinath B. R., “An Adaptive Location Management Strategy for Mobile IP”, Depto. of Computer Science Rutgers University, pp.1-11.
- [10] Morales Villanueva, Amín de Jesús; “*Optimización del Desempeño del Sistema IP Móvil*”, Tesis de Maestría, CENIDET, Enero de 1999.
- [11] Steele Raymond, Whitehead James and Wong W. C., “System Aspects of Cellular Radio”, **IEEE Communications Magazine**, pp. 80-86, January 1995.
- [12] Akyildiz Ian F. and Ho Joseph S. M., “A Mobile User Location Update and Paging Mechanism Under Delay Constraints”, Broadband and Wireless Networking Laboratory (B\_W\_N Lab), School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- [13] Akyildiz Ian F. and Ho Joseph S. M., “On Location Management for Personal Communications Networks”, **IEEE Communications Magazine**, pp. 138-145, September 1996.
- [14] Perkins Charles E., Myles Andrew and Johnson David B., “The Internet Mobile Host Protocol (IMHP)”, Proc. INET’94/JENC5. , pp. 642-1 - 642-9, 1994.
- [15] C. F. García-Hernández, L. R. García-Reyna, “Implicaciones de la Arquitectura de la Base de Datos en el Desempeño del Sistema PCS”, IEEE-ROC&C’98, G1-7, 25-29 de Noviembre de 1998.
- [16] RFC 3344 de la IETF, IP Móvil, Agosto/2002, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3344.txt>



**Amín de Jesús Morales.** Obtuvo el grado de Licenciado en Instrumentación Electrónica en la Universidad Veracruzana en 1998 y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CENIDET de Cuernavaca, Morelos, México en 1999. Ha realizado varias exposiciones acerca del tópico IP Móvil en diversas instituciones de educación superior. Trabajó en Kb/TEL Telecomunicaciones en el Departamento de Investigación y Desarrollo como desarrollador de firmware y actualmente labora en Motorola de México.



**Carlos F García.** Obtuvo grado de Licenciatura en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica en la Universidad de Guanajuato en 1983 y su grado de Maestría en Sistemas de Telecomunicaciones en la Universidad de Essex, Inglaterra, en 1986. Ha publicado diversos artículos Nacionales e Internacionales, presentado Conferencias y dirigido varias tesis de Licenciatura y de Maestría. Así mismo, ha recibido cursos de diestramiento Profesional en Estados Unidos e imparte cursos Profesionales a nivel Nacional, de Licenciatura en el ITESM-Cuernavaca desde 1996 y de Posgrado desde 1987 en el CENIDET de la SEP. Actualmente labora como Jefe de Proyectos de Radiocomunicaciones y Telecomunicaciones en la Gerencia de Control e Instrumentación del Instituto de Investigaciones Eléctricas (I.I.E.) desde 1983 y ha dirigido varios Proyectos sobre Redes Inalámbricas y Móviles. Además, fué Investigador Nacional Nivel-I de 1987 a 1993, es Miembro Senior del IEEE y del CIME, es Consultor y Perito en Telecomunicaciones con Registro No. 555 de la S.C.T. y la COFETEL con la Especialidad de Radiocomunicaciones desde 1993.