

43



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES "ACATLÁN"**

**"ESTRATEGIA DE ACTUALIZACIÓN DE  
POSICIÓN BASADA EN QUÓRUMS PARA  
RUTEO EFICIENTE EN REDES  
INALÁMBRICAS"**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADO EN MATEMÁTICAS  
APLICADAS Y COMPUTACIÓN**

**PRESENTA**

**PEDRO EDUARDO VILLANUEVA PEÑA**

**Asesor: María del Carmen Villar Patiño**



**Junio 2001**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mi madre,  
sin cuyo apoyo esto no sería posible.*

*A mi padre,  
quien siempre deseo verme aquí.*

*A Natalia,  
por todo su cariño y apoyo.*

# ÍNDICE

|   | Página |
|---|--------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | 1      |
| <b>CAPÍTULO I</b>   |        |
| <b>ESTADO DEL ARTE</b>  | 5      |
| 1.1 Métodos de ruteo basados en posición.                     | 8      |
| 1.1.1 Métodos Basados en Progreso.                            | 9      |
| 1.1.1.1 Algoritmo MFR.  | 10     |
| 1.1.2 Métodos Basados en Dirección del Destino.               | 10     |
| 1.1.2.1 Método de Ruteo con Brújula (Compass Routing Method). | 10     |
| 1.1.2.2 Algoritmo DREAM.                                      | 11     |
| 1.1.2.3 Algoritmos LAR.                                       | 12     |
| 1.1.2.3.1 Algoritmo LAR 1.                                    | 12     |
| 1.1.2.3.2 Algoritmo LAR 2.                                    | 13     |
| 1.1.3 Métodos Basados en la distancia con el destino.         | 13     |
| 1.1.3.1 Algoritmo GEDIR.                                      | 14     |
| 1.2 Métodos de Actualización de posición .                    | 14     |
| 1.2.1 Ruteo dentro de círculos duplicados.                    | 15     |
| 1.2.2 Estrategias basadas en quórums.                         | 16     |
| 1.2.2.1 Backbones virtuales.                                  | 17     |
| 1.2.2.2 Estrategia basada en regiones-base.                   | 18     |
| <b>CAPÍTULO II</b>  |        |
| <b>ESTRATEGIA DE ACTUALIZACIÓN DE POSICIÓN PARA</b>           |        |
| <b>REDES INALÁMBRICAS</b>                                     | 20     |
| 2.1 Actualización de Posición.                                | 22     |
| 2.1.1 Actualización local de Posición.                        | 23     |
| 2.1.2 Actualización de Posición en Quórum.                    | 26     |
| 2.2 Búsqueda de Destino.                                      | 27     |
| 2.3 Ejemplificando la nueva estrategia.                       | 28     |
| <b>CAPÍTULO III</b>   |        |
| <b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>                           | 32     |
| 3.1 Aplicabilidad de la nueva estrategia.                     | 32     |
| 3.2 Eficiencia de la nueva estrategia.                        | 34     |
| 3.3 Implementación.   | 35     |

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO IV</b>  |    |
| <b>RESULTADOS EXPERIMENTALES</b>  | 36 |
| <b>CONCLUSIONES</b>   | 39 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>   | 41 |
| <b>ANEXOS</b>   |    |
| <b>Anexo A</b> Resultados obtenidos al evaluar la Aplicabilidad de la nueva estrategia. | 44 |
| <b>Anexo B</b> Resultados obtenidos al evaluar la Eficiencia de la nueva estrategia.    | 49 |

## LISTADO DE FIGURAS

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Figura 1</b>  | Grafo unitario de mínima energía para modelar redes ad hoc.      | 5  |
| <b>Figura 2.</b> | Métodos de Ruteo Basados en Progreso.                            | 9  |
| <b>Figura 3.</b> | Rutas seleccionadas por los algoritmos DIR y GEDIR.              | 11 |
| <b>Figura 4.</b> | Ruteo de S hacia D', D'' y D.                                    | 16 |
| <b>Figura 5.</b> | Actualización local cuando se detecta que una liga se romperá.   | 24 |
| <b>Figura 6.</b> | Actualización local cuando se detecta una nueva liga.            | 26 |
| <b>Figura 7.</b> | Grafo sobre el cual se aplicará la nueva estrategia.             | 29 |
| <b>Figura 8.</b> | Resultado realizar la actualización de posición desde D.         | 29 |
| <b>Figura 9.</b> | Actualización de posición desde D y búsqueda de destino desde S. | 30 |

## LISTADO DE GRÁFICAS

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Gráfica 1</b> | Tasas de éxito obtenidas para cada estrategia. | 37 |
|------------------|--|----|

## LISTADO DE TABLAS

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>Tabla 1</b> | Tasas de éxito promedio obtenidas para cada combinación estrategia-tamaño de red. | 36 |
| <b>Tabla 2</b> | Tasas de inundación obtenidas para cada combinación estrategia-tamaño de red.     | 37 |

## **AGRADECIMIENTOS**

To **Dr. Ivan Stojmenovic**, my advisor, his support, patience and guidance made this work possible. Thanks Ivan.

A la profesora **Villar Patiño**, por su enseñanza y apoyo para realizar este trabajo.

A la profesora **González Videgaray**, por su tiempo, consejo y apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera.

A **mi familia**, por su ejemplo y por moldear en mi el carácter que me ha llevado a conseguir una de mis grandes metas.

A **mis profesores** y a la **ENEP Acatlán** por la gran formación académica que me han dado.

Y a **todos ustedes** que con su ayuda me han permitido llegar hasta aquí.

# INTRODUCCIÓN

El ruteo (palabra que no existe en la lengua española pero que será utilizada por ser parte del argot técnico), se define como la acción de mover información a través de una red desde una fuente hasta un destino, en donde tanto la fuente como el destino son nodos que pertenecen a la red. Esta tarea es un problema muy común en el campo de las redes de información, mismo que ha sido atacado de muy diversas formas sobre redes estáticas, por lo cual actualmente se cuenta con algoritmos que de manera eficiente pueden resolver dicho problema. Sin embargo, con la rápida evolución de la tecnología y con la aparición de las redes inalámbricas este problema ha sido reformulado, ya que en estas redes uno de los principales problemas con los que se tiene que lidiar es, que no existe una topología definida, y más aún, muchos de los nodos, o todos, pueden ser móviles lo cual ocasiona cambios constantes en la topología de la red, y por lo tanto cambios constantes en las rutas para comunicar a cualquier par de nodos.

No siendo suficiente tener que lidiar con una topología indefinida y cambiante, al diseñar métodos para realizar el ruteo en este tipo de redes, también es necesario tomar en cuenta otras consideraciones como es el hecho de no saturar la red con miles de paquetes de información; el hecho de que cada nodo tiene un radio de transmisión restringido, así como el hecho de que se deben evitar transmisiones innecesarias para disminuir el gasto de energía que cada nodo sufre al transmitir información. Mas aún, no conformes con estas limitantes, hay otra limitante muy importante con la que se debe lidiar que es el no saber dónde se encuentra el nodo al que se le enviará la información, lo cual da lugar a otro problema llamado actualización de posición. La tarea en este caso es mantener informados a todos los nodos que sean necesarios, sobre la posición del nodo al que se le quiere enviar la información, aún cuando éste puede cambiar de posición constantemente.

Como era de esperarse varios métodos para combatir el problema han sido propuestos, sin embargo, ninguno de ellos es del todo satisfactorio sobre todo en términos de que garantice la entrega de los mensajes del nodo fuente hasta el nodo destino, y de que no sature la red con información propia del método. Asimismo, las soluciones que han sido propuestas suelen utilizar a la inundación como la técnica fundamental para realizar la actualización de posición. Esta técnica, aunada a un mal criterio sobre la frecuencia con la que se debe realizar esta actualización de posición, provoca que la red se sature de mensajes que son propios del método, sin que sean los mensajes de información real que deben ser transmitidos en la red. Estas desventajas, al aumentar el tamaño de la red, ocasionan que la tasa de inundación aumente considerablemente, lo cual propone un problema de escalabilidad, es decir, al aumentar el tamaño de la red, la tasa de inundación aumenta, con lo cual el desempeño de la red se ve seriamente afectado. Por lo tanto, estas soluciones disminuyen su eficiencia conforme el tamaño de la red aumenta.

Es este problema de actualización de posición y de escalabilidad lo que motiva este trabajo de investigación, cuyo objetivo es desarrollar una estrategia de actualización de posición basada en quórum (número mínimo de interesados que deben atender a una asamblea para que funcione válidamente) para realizar ruteo eficiente en redes inalámbricas, misma que combata el problema de escalabilidad. Es decir, se pretende desarrollar una estrategia de actualización de posición que sea lo bastante eficiente como para que pueda ser utilizada en alguna estrategia de ruteo, mejorando la eficiencia de esta última.

Este trabajo de investigación está orientado a las redes inalámbricas móviles donde cada nodo, además de ser móvil es capaz tanto de recibir y enviar mensajes propios, como de reenviar mensajes desde otra fuente y hacia otro destino. A este tipo de redes se les llama redes ad hoc móviles (las cuales se abordarán posteriormente). Algunos ejemplos del uso de estas redes incluyen

soldados en un campo de batalla, personal de rescate en una zona de desastre, y redes de computadoras portátiles.

Obviamente, el desconocimiento de la posición de cada uno de los nodos de la red es ocasionado por la movilidad de los mismos. Sin embargo, en este trabajo supondremos que la velocidad de transmisión dentro de la red es superior a la velocidad con la que se mueve cualquiera de los nodos de la red, ya que de lo contrario, sería imposible enviar información a los nodos que se movieran a tan altas velocidades, y no habría otra solución que utilizar la técnica de inundación. Afortunadamente las velocidades de transmisión de las redes de hoy en día pueden superar la velocidad con la que se mueven los nodos. Si se piensa un poco en ello, se puede notar que el envío de información se estaría realizando prácticamente en redes estáticas ya que el tiempo que tarda en llegar un mensaje desde un nodo fuente hasta un nodo destino es muy pequeño como para que algún nodo pueda cambiar sustancialmente de posición. Este razonamiento permite que la experimentación de este trabajo de investigación (al igual que la mayoría de las investigaciones realizadas en el área) se realice sobre una red estática.

Hasta este momento se ha hablado de la posición de los nodos como si cada nodo fuera capaz de saber su posición exacta (en el área sobre la cual se extiende la red), aún cuando se estuviera moviendo constantemente. Esto podría sonar un tanto extraño ya que no se espera que haya un usuario que proporcione tal información, sin embargo, el que un nodo pueda contar con dicha información es posible gracias a la aparición de los servicios de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), los cuales por medio de un pequeño dispositivo y con la ayuda de algunos satélites, pueden proporcionar con gran precisión la ubicación de cualquier nodo sobre el globo terráqueo junto con su tiempo global. Es así como cada nodo puede conocer su posición exacta.

Para cumplir con estos objetivos se propone una estrategia de actualización de posición basada en quórums, en la cual los nodos envían, por medio de dos mensajes cortos, su nueva posición a los vecinos que pertenezcan a ciertos quórums, y que en un principio son: aquellos nodos localizados al norte y al sur, dentro de una "columna" de un cierto grosor. Por otro lado, la búsqueda del destino se realiza enviando dos mensajes cortos (en búsqueda de la información más actualizada acerca de la posición del nodo destino), a los nodos localizados al este y oeste dentro de un "renglón" de cierto grosor. Cuando alguno de los mensajes de búsqueda alcance algún nodo que haya recibido los mensajes de actualización de posición (enviados por el nodo destino), entonces, se obtendrá la información más reciente sobre la posición del destino y la estrategia tendrá éxito.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en el Capítulo 1 denominado Estado del Arte se da un panorama general de los temas y conceptos relacionados con esta investigación, los cuales no son de manejo común, además de hacerse una revisión de las soluciones propuestas tanto para realizar ruteo como actualización de posición en las redes inalámbricas. En el Capítulo 2 se expone la propuesta principal de este trabajo: la nueva estrategia de actualización de posición. En el Capítulo 3 se describe la metodología a seguir para evaluar la nueva estrategia. En el Capítulo 4 se presentan los resultados experimentales; y posteriormente se presentan las Conclusiones obtenidas. Finalmente podemos encontrar la Bibliografía consultada; y los Anexos en los que se presenta el resto de los resultados obtenidos durante la experimentación y que no se muestran en el Capítulo 4.

# Capítulo I

## ESTADO DEL ARTE

En este Capítulo se revisará el estado del arte de las propuestas existentes para resolver el problema de actualización de posición, sin embargo, antes de ello, y para facilitar la comprensión del mismo, se dará un breve panorama sobre algunos conceptos utilizados, los cuales no son de manejo común.

Las redes ad hoc móviles están formadas por nodos inalámbricos que se comunican entre sí, sin que exista una infraestructura de conectividad definida entre ellos. La mejor manera de modelar estas redes es por medio de grafos de mínima energía, los cuales se construyen de la siguiente manera. Cada nodo  $A$  tiene un radio de transmisión  $t(A)$ . Dos nodos  $A$  y  $B$  son vecinos si la distancia Euclidiana entre sus coordenadas dentro de la red es menor al mínimo de sus radios de transmisión, ( $d(A,B) < \min\{t(A), t(B)\}$ ). Asimismo, si todos los radios de transmisión son iguales, el grafo es conocido como un grafo unitario. En la figura 1 se puede ver un ejemplo de este tipo de redes, donde los nodos  $A$  y  $B$  son vecinos ya que la distancia entre ellos es menor a sus radios de transmisión, en cambio, ninguno de ellos es vecino del nodo  $C$ . En este caso todos los radios de transmisión son iguales.

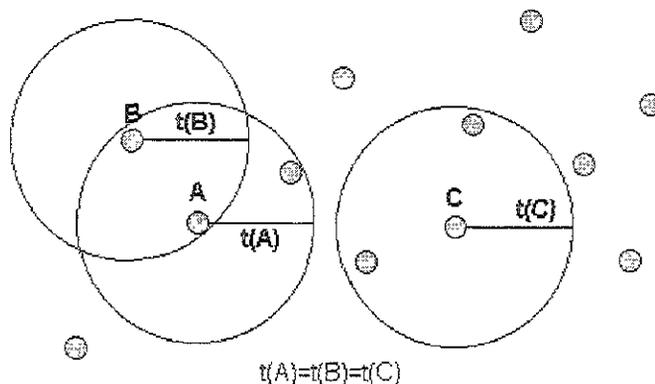


Figura 1 Grafo unitario de mínima energía para modelar redes ad hoc.

Las redes ad hoc están formadas por nodos autónomos que ejecutan sus tareas de manera asíncrona. Por lo tanto, los algoritmos de comunicación entre nodos son del tipo distribuidos (es decir, no existe un control centralizado). Estrin, Govindan, Heidemann, y Kumar [EGHK] definieron tales algoritmos como algoritmos distribuidos donde el comportamiento local de cada nodo conlleva a un objetivo global deseado, a los cuales llamaron algoritmos localizados. Asimismo, estos autores mencionan que los algoritmos localizados son necesarios para coordinar las redes de sensores (conjunto de nodos destinados a monitorear una cierta región) y las redes ad hoc. En [S1] Stojmenovic da una definición más formal de algoritmos localizados, la cual dice que en los algoritmos localizados cada nodo decide a qué nodos enviar un mensaje basándose únicamente en su propia posición, sus nodos vecinos, y la posición del nodo destino. Además, a cada nodo se le permite realizar cómputo de manera local (ya que cuenta con un procesador). Por lo tanto, la decisión dependerá de qué tarea se está llevando a cabo, además del algoritmo utilizado. Así también, el nodo fuente utiliza la información más reciente sobre la posición del nodo destino y la agrega al mensaje, con lo cual cada nodo intermedio puede actualizar la información incluida en el mensaje sobre la posición del destino, o en otro caso actualizar localmente la posición del destino. Nótese que un requisito para localizar al nodo destino es que cada nodo de la red actualice la posición de todos los demás nodos, de esta manera, cada búsqueda de destino tendrá un buen comienzo.

Por otro lado, existen los algoritmos no-localizados, los cuales requieren conocer la posición de todos los demás nodos, así como la existencia de cada liga dentro de la red (en redes inalámbricas, una liga entre dos nodos existe si el radio de transmisión de ambos nodos es mayor a la distancia que los separa). Por lo tanto, el uso de algoritmos no-localizados requiere actualizar tanto la posición de los nodos como las ligas entre ellos, lo cual representa un incremento cuadrático (en términos del número de nodos) en el envío de información propia del algoritmo, requiriendo considerables anchos de banda y gastos de energía. Además, hay casos en que algunos nodos en las redes ad hoc y en las redes de

sensores, pueden estar temporalmente inactivos con la finalidad de ahorrar energía (a este comportamiento se le conoce como "sleep periods"), lo cual ocasionaría un problema en los algoritmos localizados, ya que para realizar sus tareas, siempre deben saber cuáles nodos están disponibles y cuáles no.

En las redes inalámbricas a cada transmisión de información se le llama: salto; por ejemplo, a todos los vecinos de un nodo A, los cuales pueden escuchar la información que A transmite de manera directa, y sin que haya sido retransmitida por algún nodo intermedio, se les conoce como vecinos a un salto (single-hop). Por otro lado, cuando se requiere enviar información a nodos que se encuentran muy lejos de A, se requiere de una ruta multi-salto (multi-hop), es decir, se requiere que la información sea retransmitida por varios nodos antes de llegar al nodo destino.

La técnica más sencilla y una de las más utilizadas para enviar un mensaje entre dos nodos es la técnica de inundación (flooding). Esta técnica asegura la entrega de un mensaje entre dos nodos ya que lo envía a todos los nodos de la red. Una vez que un nodo recibe un mensaje, lo reenvía a todos sus nodos vecinos, con excepción del nodo que lo envió. Esto hace que sea fácil de implementar y que asegure la entrega del mensaje. Sin embargo, esta técnica es bastante ineficiente ya que puede colocar una gran carga de información dentro de la red, con lo cual muchos nodos recibirían mensajes que no debían recibir. Asimismo, pueden originarse ciclos donde un mismo mensaje se mantenga viajando sin detenerse en algún nodo destino. Una mejora a esta técnica para evitar los ciclos sería almacenar en cada nodo la información de los mensajes que ha recibido y que ha transmitido, sin embargo, esto requeriría de una gran cantidad de espacio de almacenamiento.

Una vez dado este breve panorama y antes de analizar las propuestas más sobresalientes en cuanto a posibles soluciones para resolver el problema de actualización de posición, las cuales no son muchas, se hará una revisión de los

algoritmos de ruteo, ya que de algunos de ellos se han tomado ideas para diseñar la nueva estrategia de actualización de posición aquí propuesta.

## **1.1 MÉTODOS DE RUTEO BASADOS EN POSICIÓN**

Algunos ejemplos del uso de redes ad hoc incluyen soldados en un campo de batalla, personal de rescate en una zona de desastre, y redes de computadoras portátiles. En este tipo de redes las rutas entre dos nodos de la red pueden estar formadas por varios saltos, a través de otros nodos, esto debido a que los radios de transmisión de cada nodo son limitados en cuanto a su alcance, para evitar problemas de pérdida de mensajes originados por la propagación en el medio. Por lo tanto, la tarea de encontrar y mantener rutas en la red no es sencilla ya que el desplazamiento de los nodos provoca frecuentes e impredecibles cambios topológicos en la estructura de la red. Algunos métodos para realizar un ruteo eficiente en estas redes han sido propuestos recientemente. La diferencia entre ellos es el método utilizado para crear una nueva ruta o, para modificar alguna ya existente cuando los nodos se desplazan. Estos métodos se dividen en dos grupos, los que utilizan posiciones geográficas para tomar sus decisiones y los que no las utilizan. En este trabajo sólo se hará referencia a los primeros, ya que cuando se cuenta con sistemas de posicionamiento como GPS (Global Position System), la utilización de algoritmos que no utilizan posiciones geográficas no se justifica (siempre y cuando existan métodos que la utilizan y que sean eficientes).

Gracias a la existencia del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el cual, brinda información de posición (latitud, longitud y altitud) además del tiempo global para usuarios móviles, una gran variedad de servicios dependientes de la posición de sus elementos; serán factibles en un futuro cercano. Asimismo, habrá dispositivos que brinden la funcionalidad del sistema GPS, que consuman poca energía y que sean de bajo costo, los cuales serán colocados en cada automóvil y posiblemente en cada terminal de los usuarios móviles. La precisión del sistema GPS tiene un margen de error de entre 50 a 100 metros, sin embargo, existe

también un sistema GPS diferencial el cual tiene un margen de error de unos cuantos metros [N].

### 1.1.1 MÉTODOS BASADOS EN PROGRESO

Algunos de los primeros métodos de ruteo basados en posición fueron propuestos entre 1984 y 1986. Estos métodos utilizaban la noción de progreso. Progreso se define como la distancia entre el nodo que transmite y el nodo que recibe el mensaje, proyectada sobre la línea imaginaria que une al nodo que transmite, con el nodo destino. Un nodo A se encuentra en una dirección hacia adelante si su progreso es positivo (por ejemplo, los nodos A, C y F de la figura 2, cuando el nodo fuente es S), de lo contrario, se dice que esta en dirección hacia atrás (por ejemplo, los nodos B y E de la figura 2, cuando S transmite).

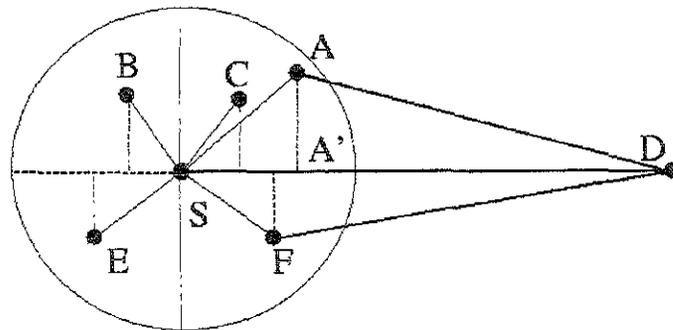


Figura 2. Métodos de Ruteo Basados en Progreso

Uno de los primeros métodos basados en progreso es el método de progreso aleatorio de Nelson y Kleinrock [NK], en el cual, los mensajes enviados al nodo destino D, son ruteados con igual probabilidad hacia algún nodo vecino intermedio (es decir, que se encuentre entre S y D) el cual represente un progreso positivo.

A diferencia de este método, en [HL] Hou y Li proponen que los mensajes sean enviados al vecino con progreso positivo que se encuentre más cerca del nodo fuente (por ejemplo, en la figura 2, dicho nodo sería C).

### **1.1.1.1 ALGORITMO MFR**

Posteriormente Takagi y Kleinrock [TK] propusieron el algoritmo de ruteo conocido como MFR (*Most forward within radius*, el de mayor progreso dentro del radio), en el cual el mensaje es enviado hacia el vecino con el mayor progreso (por ejemplo, el nodo A de la figura 2). Este algoritmo funciona de la siguiente manera: Considérese el producto punto de los vectores con origen en el nodo destino D y que terminan en los diferentes nodos de la red (de acuerdo con la figura 2). Claramente  $DS \cdot DA = |DS||DA| \cos \theta$  donde  $A'$  es la proyección de A sobre la línea DA. En este caso se considera que el signo es positivo; en caso de que el producto punto fuera negativo, D sería un vecino de S. Por lo tanto, el producto punto es mínimo cuando el progreso es máximo. El objetivo del algoritmo MFR es, por consiguiente, minimizar el producto punto. De otra manera, podría también maximizarse el producto punto  $SD \cdot SA$ .

### **1.1.2 MÉTODOS BASADOS EN DIRECCIÓN DEL DESTINO**

Recientemente, tres artículos [BCSW, KV, KSU] reportaron de manera independiente una variación a los algoritmos de ruteo, la cual se basa en considerar la dirección del nodo destino. En estos métodos de ruteo direccional, el nodo A utiliza la información de posición de sus vecinos B, para obtener las direcciones hacia cada uno de ellos (cada una formada por A y uno de sus vecinos B), entonces, se transmite el mensaje a uno o a varios vecinos cuya dirección (vista desde A) sea la más cercana a la dirección de D. Los métodos difieren en la selección de los rangos de dirección.

#### **1.1.2.1 MÉTODO DE RUTEO CON BRÚJULA (Compass Routing Method)**

En este método mejor conocido como DIR, propuesto por Kranakis, Singh y Urrutia [KSU], el nodo fuente o intermedio A, utiliza la información de posición del nodo destino D para calcular su dirección. La posición de los vecinos que se encuentran a un salto de A, es utilizada con la finalidad de determinar hacia cual

de ellos (denotado como C), la dirección AC es la más cercana a la dirección AD (es decir, el ángulo CAD se minimiza). Entonces, el mensaje es enviado a C. Este proceso se repite hasta que el nodo destino es, eventualmente, alcanzado. Considérese la red de la figura 3, donde el radio de transmisión es igual a la distancia entre los nodos E y F. La dirección AC es la dirección más cercana a la dirección AD de todas las posibles direcciones AS, AB, AC, y AP. La ruta seleccionada por el método DIR es SACJKLMND.

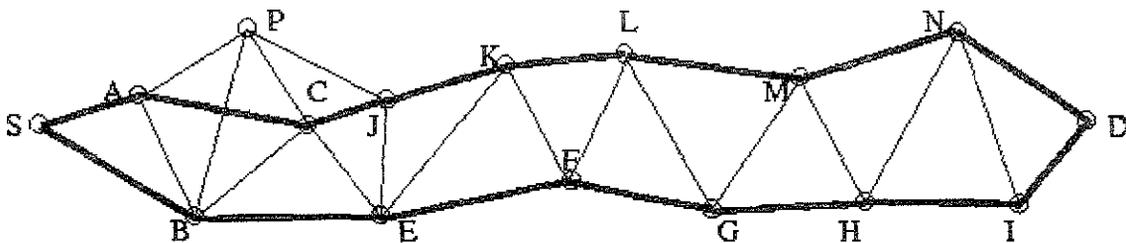


Figura 3. Rutas seleccionadas por los algoritmos DIR (SACJKLMND) y GEDIR (SBEFGHID)

### 1.1.2.2 ALGORITMO DREAM

Basagni, Chlamtac, Syrotiuk y Woodward [BCSW] describieron un algoritmo de ruteo para redes móviles (DREAM, Distance Routing Effect Algorithm for Mobility). En este algoritmo, el nodo fuente o cualquier nodo intermedio A, calcula la dirección hacia el nodo destino D y, basándose en la información de movimiento de D, selecciona un rango angular. Entonces, el mensaje es enviado a todos los vecinos cuya dirección pertenezca al rango seleccionado. El rango es determinado por las tangentes que van desde A hasta el círculo centrado en D y con radio igual al mayor desplazamiento de D desde la última actualización de posición. El área contenida por el círculo y las dos tangentes es denominada la zona de petición en [KV]. El algoritmo DREAM incorpora la idea de que las actualizaciones de posición deberán ser enviadas de manera autónoma por los nodos en movimiento con una frecuencia y a una distancia que corresponda a la razón con que se mueve cada nodo.

### **1.1.2.3 ALGORITMOS LAR**

Ko y Vaidya [KV] describieron, de manera independiente y en el mismo congreso, un algoritmo similar a DREAM, llamado LAR, junto con algunas modificaciones. En este algoritmo de ruteo la zona de petición es determinada desde el nodo fuente, y cualquier nodo que no se encuentre dentro de esta zona no reenviará el mensaje a sus vecinos. Si el nodo fuente no tiene vecinos dentro de la zona de petición, la zona se expande para incluir a alguno(s). El tamaño de la zona de petición depende de la velocidad promedio con que se desplaza el nodo destino, así como del tiempo transcurrido desde que se realizó la última actualización de posición por parte del nodo destino.

#### **1.1.2.3.1 Algoritmo LAR 1**

Posteriormente, Ko y Vaidya presentaron algunas mejoras a su técnica básica como es el caso del algoritmo LAR 1, el cual propone una definición alternativa de la zona de petición, la cual consiste en convertirla en el rectángulo más pequeño que incluya al nodo fuente S, así como a la zona donde se espera encontrar al nodo destino D (una región circular). Con ello, la zona de petición se expande, incrementando la oportunidad de encontrar al nodo destino, sin embargo, la inundación de mensajes en la red aumenta.

Estas modificaciones también incluyen el envío de mensajes para encontrar una ruta hacia el nodo destino antes de enviar la información real. Nótese que estos mensajes para encontrar una ruta hacia el nodo destino, pueden ser considerados como un ruteo de mensajes cortos. Con ello, los nodos de la red pueden actualizar la información relativa a sus posiciones. Tales mensajes pueden contener también la posición del nodo fuente, con lo cual se actualizaría la posición de éste en los demás nodos que reciban los mensajes.

Algunos procedimientos de recuperación basados en el método de inundación total o parcial, los cuales inician una inundación en la red si el

algoritmo de ruteo no encuentra al nodo destino dentro de un cierto intervalo de tiempo, son propuestos en ambos artículos [BCSW,KV].

### **1.1.2.3.2 Algoritmo LAR 2**

Ko y Vaidya también propusieron el algoritmo LAR 2. En este algoritmo, el nodo fuente o cada nodo intermedio A reenviará el mensaje a todos los nodos que están más cerca del nodo destino de lo que lo está A. Con ello, este algoritmo sugiere el utilizar la distancia geográfica con respecto al nodo destino, en lugar de la dirección hacia él.

Los algoritmos de ruteo en [BCSW, KV] son de tipo localizado, basados en la demanda, y se adaptan bien a los periodos en que algunos de los nodos dejan de operar. Resultados de simulación presentados en [BCSW] muestran que el promedio de bits de datos transmitidos por bits de datos entregados al destino es considerablemente menor para los algoritmos LAR al compararlos con el método de inundación [KV]. Además, el agregar información de posición a las tablas de ruteo de todos los nodos, resultó ser una mejora significativa en el desempeño con respecto a los métodos existentes que no utilizan tal información. Sin embargo, debido a estas ventajas, los métodos propuestos en [BCSW, KV] tienen algunas desventajas. Tienen tasas de inundación considerables, y no garantizan la entrega de mensajes hasta el nodo destino.

### **1.1.3 MÉTODOS BASADOS EN LA DISTANCIA CON EL DESTINO**

Después de haber analizado los algoritmos basados en progreso y en dirección, junto con algunas de sus ventajas, desventajas y aportaciones para el desarrollo de nuevos algoritmos, ahora se analizará uno de los algoritmos localizados más eficientes que se han desarrollado, el cual se basa en la distancia con el destino.

### **1.1.3.1 ALGORITMO GEDIR**

Este algoritmo para redes ad hoc se basa en la posición de todos sus vecinos. Cada nodo conoce las coordenadas geográficas de todos sus vecinos directos. Además, el nodo fuente conoce la posición del destino. El nodo A que quiere enviar un mensaje hacia el nodo destino D utiliza la información de posición de D y de todos sus vecinos que se encuentran a un solo salto, para determinar el vecino C que se encuentra más cerca de D. Entonces, el mensaje es enviado a C, y el mismo procedimiento se repite hasta llegar a D (si es posible). El algoritmo es, por lo tanto, completamente distribuido. Si regresamos al ejemplo de la figura 3, el nodo fuente S selecciona al nodo B el cual está más cerca de D que A, y la ruta completa hacia D es entonces *SBEFGHID*, la cual consiste de 7 saltos.

Nótese que en esta versión, A no compara su propia distancia contra las distancias de sus vecinos. Así, aún si A está más cerca del nodo destino que C, el mensaje es enviado a C, con la esperanza de que C pueda encontrar otro vecino el cual está más cerca de D de lo que está A. De lo contrario, C regresará el mensaje a A con lo que se creará un bucle local (entre A y C). Ya que dicho bucle puede ser fácilmente detectado por los nodos A y C, podrán dejar de reenviar el mensaje con lo cual evitarán que se quede y viniendo entre ellos.

## **1.2 MÉTODOS DE ACTUALIZACIÓN DE POSICIÓN**

Uno de los elementos más importantes en todos los métodos de actualización de posición es la actualización de información entre nodos vecinos. Aquí la pregunta es ¿Cuándo un nodo debe enviar un mensaje a todos sus nodos vecinos para informarles sobre su nueva posición?. A continuación se hará una revisión sobre los métodos existentes en la literatura científica actual.

### 1.2.1 RUTEO DENTRO DE CÍRCULOS DUPLICADOS

Amouris, Papavassiliou y Lu [APL] presentaron un protocolo de ruteo basado en posición multi-zona para redes móviles ad hoc de área amplia. Su algoritmo se basa en actualizaciones de posición dentro de círculos de radio creciente. En este protocolo, cada nodo envía la actualización de su posición a todos los nodos que se encuentren dentro del círculo de radio creciente  $P$ ,  $2P$ ,  $4P$ ,  $8P$ ,... (cada círculo subsecuente tiene el doble del radio del círculo anterior). En el momento en que un nodo  $A$  se mueve fuera de uno de estos círculos de radio  $2^t P$  para algún valor de  $t$ , el nodo  $A$  envía su actualización de posición a todos los nodos que se encuentren dentro del círculo centrado en  $A$ , con un radio de  $2^{t+1} P$ . Entonces, el ruteo hacia el destino sigue estos círculos de recientes actualizaciones.

Los nodos fuente envían sus mensajes hacia la última posición reportada del nodo destino (utilizando el algoritmo DIR), el cual se ha movido dentro de un círculo de algún radio desde la última vez que realizó su actualización de posición. Considerando que el mensaje se desplaza cada vez a una posición más cercana al destino, la información acerca de la posición del destino se va convirtiendo en una información cada vez más precisa, asimismo, los nodos pueden enviar mensajes hacia el centro de círculos con radio dos veces más pequeño que el círculo previo, hasta alcanzar al nodo destino (Fig.3). Este método es muy interesante y realmente competitivo. Sin embargo, podemos observar que el radio de los círculos más grandes puede rodear a casi todos los nodos de la red, y que las rutas descubiertas por el algoritmo no están cerca de la cantidad óptima de saltos (lo cual es importante en aplicaciones que requieren calidad de servicio).

Los métodos de actualización de posición mencionados hasta este momento hacen uso, en algunas ocasiones, de la técnica de inundación para enviar la información de posición al resto de los nodos dentro de la red. Sin embargo, en las secciones siguientes se analizarán dos métodos que nunca hacen uso de la técnica de inundación.

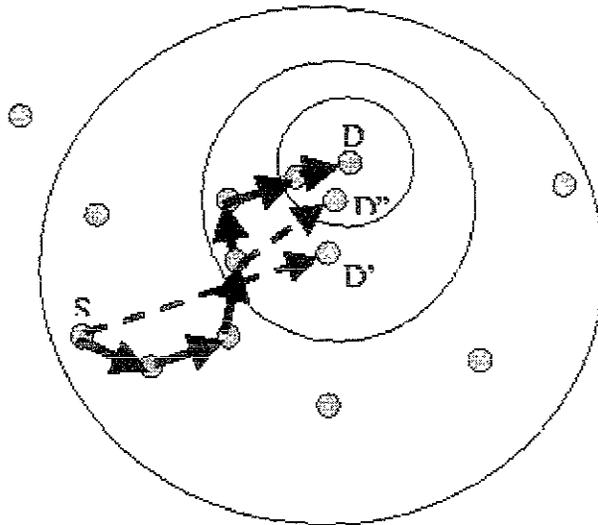


Figura 4. Ruteo de S hacia D', D'' y D

### 1.2.2 ESTRATEGIAS BASADAS EN QUÓRUMS

Las propuestas que utilizan quórum para diseminar información se basan en el envío de información a múltiples nodos los cuales actúan como contenedores. La selección de dichos nodos contenedores y la búsqueda de nodos debe de ser compatible. Tales técnicas de diseminación y de búsqueda han sido previamente utilizadas para el manejo de posiciones en redes celulares. Dado un conjunto S de  $n$  servidores, un sistema de quórum es un conjunto de subconjuntos mutuamente excluyentes cuya unión es igual a S. Cuando uno de los servidores requiere información acerca de otro, es suficiente con consultar a un servidor de cada quórum. De esta manera, cada consulta devuelve la información más actualizada, además de que es posible crear quórum de tamaño  $n^{1/2}$ . Por ejemplo, 25 servidores pueden organizarse dentro de 5 renglones y 5 columnas, donde cada columna es un quórum. Así, cada nodo  $(i,j)$  (localizado en el  $i$ -ésimo renglón y en la  $j$ -ésima columna) envía su información a todos los servidores  $(i',j)$  de su columna. Para obtener la información del servidor  $(i,j)$ , el servidor  $(i',j')$  puede consultar dentro de su  $i'$ -ésimo renglón, con lo cual el servidor  $(i,j)$  proporcionará la información solicitada.

Karumanchi, Muralidharan y Prakash [KMP] discuten sobre la disseminación de información en redes ad hoc móviles particionables. También estudian el problema de obtener la posición de algunos de los nodos de la red y de los que se encuentren alrededor de esos nodos sin la necesidad de rutear un mensaje hacia ese nodo. Por lo tanto, la evaluación de desempeño que ellos realizan se limita a medir la precisión de la información obtenida. Asimismo, utilizan una conocida técnica para disseminar información la cual consiste en replicar información a múltiples nodos los cuales actúan como contenedores, así como también emplean estrategias basadas en quórums para actualizar y solicitar información. En [KMP],  $n$  nodos son divididos en  $n^{1/2}$  grupos con  $n^{1/2}$  nodos cada uno preservando dichos quórums cuando los nodos se mueven.

### **1.2.2.1 BACKBONES VIRTUALES**

Haas y Liang [HL1, HL2, LH] propusieron otra estrategia distribuida basada en quórums para redes móviles. Primero, se crea un backbone (medio de comunicación principal entre los servidores de la red) virtual, en el cual los nodos son servidores de bases de datos para almacenar la información de posición. Después definen un sistema de quórum, es decir, un conjunto de subconjuntos tal que dos subconjuntos cualquiera se intersectan en un cierto número pequeño  $t$  (preferentemente constate) de servidores. Todos los subconjuntos son del mismo tamaño  $k$ . En [HL1] la selección de los subconjuntos es realizada por un algoritmo centralizado, el cual no se define por completo. En [HL2] se habla sobre una selección aleatoria de los subconjuntos. Cuando un nodo se mueve, actualiza su posición con el subconjunto que contenga al nodo más cercano que pertenezca al backbone. Entonces, cuando se requiere enviar información, el nodo fuente  $S$  consulta la posición del nodo destino  $D$  en el subconjunto más cercano a  $D$ , utilizando la información obtenida para enviar su mensaje. Sin embargo, en [HL1, HL2, LH] el algoritmo de ruteo no está definido. Asimismo, las actualizaciones de posición y las búsquedas del nodo destino no son locales, además involucra realizar ruteos de información entre los nodos del backbone para poder tener actualizada la información de posición. Por otra parte, no se presentan resultados

que demuestren que el algoritmo es más eficiente, en términos de no saturar la red con información propia del algoritmo, al compararlo con la técnica de inundación. Por lo tanto, la eficiencia de esta propuesta es dudosa.

El principal problema con los métodos basados en quórum que han sido propuestos es que los nodos que pertenecen a cada quórum son establecidos desde un principio, lo cual ocasiona que dos nodos que pertenecen a un mismo quórum lleguen a tener una gran distancia entre ellos debido a su movimiento. Esto crea otro problema, ya que cuando se quiere enviar información de actualización de posición dentro de un quórum, primero se tiene que buscar dentro de toda la red a los nodos que pertenecen al quórum, lo cual convierte a estos métodos en métodos deficientes.

Es claro que los nodos en una red móvil no van a permanecer siempre en un mismo quórum, sin embargo, esta idea de crear métodos basados en quórum puede ser considerablemente aprovechada si se utiliza una estrategia de actualización que realmente considere redes dinámicas.

#### **1.2.2.2 ESTRATEGIA BASADA EN REGIONES-BASE**

La idea de actualización de posición propuesta por Stojmenovic [S3] para redes ad hoc móviles o redes de sensores es similar a la que se utiliza en redes de teléfonos celulares. Cuando un usuario telefónico sale de su región de cobertura base y llega a otra región de cobertura, el teléfono envía periódicamente mensajes desde la estación base de la nueva región, hasta la estación base de su región, por medio de los cuales informa su ubicación. Cuando se hace una llamada a este teléfono que está fuera de su área, la llamada es enviada primero a la estación base de la región a la que pertenece el teléfono, y es esta estación base la que redirecciona la llamada hacia la ubicación del teléfono.

## Capítulo II

# ESTRATEGIA DE ACTUALIZACIÓN DE POSICIÓN PARA REDES INALÁMBRICAS

El problema de ruteo en redes móviles parece ser un problema muy difícil, por lo mismo, no ha sido propuesta una estrategia que este completa, y que además sea satisfactoria (en términos de entrega garantizada y sin una cantidad significativa de información propia del protocolo)

Sin embargo, en [S1] Stojmenovic propone dividir el problema en varios componentes, y estudiar cada uno por separado. Por tanto, todo envío de mensajes relacionado con tareas de ruteo es dividido en los siguientes cuatro componentes:

***Mensajes de Actualización de Posición (Location Update)***. Son creados en cada uno de los nodos de la red, dependiendo del movimiento de estos últimos.

***Mensajes de Búsqueda del destino (Destination Search)*** Estos mensajes son creados en cada nodo fuente cuando éste quiere enviar algún mensaje hacia un nodo destino.

***Mensajes de Creación de Ruta (Path Creation)*** Estos mensajes son creados por el nodo destino después de recibir la primer copia de un mensaje de búsqueda. El nodo destino obtiene por medio del mensaje de búsqueda la posición del nodo fuente, con lo cual puede encontrar con gran precisión la mejor ruta hacia él. Debido a que la velocidad de transmisión de información, es por mucho, superior a la velocidad con la que se mueven los nodos, la fase de creación de ruta en el ruteo móvil puede ser considerada como la creación de ruta en una red estática.

Por lo tanto, algoritmos de ruteo para redes estáticas [SL, BMSU, KSU,TK] (con la posición del destino conocida) pueden ser utilizados en esta fase. Esta suposición se justifica debido a que cada nodo mantiene una lista de vecinos, además de conocer la posición del nodo destino (en este caso, el nodo fuente), la cual es la única información que se requiere para tomar una decisión de ruteo en cualquier nodo.

***Mensajes de envío de datos (Data Traffic)*** Estos mensajes son creados por el nodo fuente después de recibir la respuesta del nodo destino con su posición exacta (y posiblemente junto con una ruta para llegar al mismo nodo destino). Asimismo, el nodo fuente puede intentar crear otra ruta hacia el nodo destino (conociendo su posición exacta) haciendo uso de alguno de los algoritmos de tipo localizado utilizados en redes estáticas.

En esta estrategia de ruteo, también podemos dividir los mensajes en dos tipos: cortos y largos. Los mensajes cortos no contienen la información real (a ser enviada al nodo destino) como parte del mensaje (a menos que sea un mensaje muy corto como en el caso de una alarma), por lo tanto están compuestos por una cantidad de bits mucho menor, que los mensajes que si contienen la información real. Los mensajes de actualización de posición, búsqueda de destino y creación de ruta son mensajes cortos. Los mensajes de actualización de posición son generados independientemente de que se realice o no una solicitud de ruteo, y son parte de una preparación para realizar una búsqueda de destino exitosa. Los mensajes de búsqueda de destino y de creación de ruta son creados en respuesta a la solicitud para realizar algún ruteo. Todos estos son parte de la información que hace uso de la red sin ser información real (communication overhead). Sin embargo, cuando los mensajes con información real son enviados y su tamaño es muy grande comparado con los tres tipos anteriores, esta estrategia de ruteo se justifica.

Asimismo, debemos notar que con esta nueva estrategia, el problema de ruteo se divide en dos componentes, las cuales pueden ser investigadas por separado, de la manera siguiente:

**Componente 1.-** Estrategias de actualización de posición y búsqueda de destino

**Componente 2.-** Ruteo hacia un nodo destino cuya posición es conocida (incluye creación de ruta del destino al nodo fuente, y envío de datos de la fuente al destino)

A la fecha se han propuesto soluciones satisfactorias para las fases de creación de ruta y envío de información. Sin embargo, para las fases de actualización de posición y búsqueda de destino las soluciones existentes no son del todo satisfactorias. Por lo tanto, en este trabajo nos enfocaremos a estas últimas proponiendo nuevas soluciones.

La principal diferencia entre la estrategia aquí propuesta para realizar la actualización de posición y la búsqueda de destino, con respecto a las propuestas existentes es que anteriormente el método de inundación fue utilizado como la opción más común para la construcción de rutas, mantenimiento de rutas y actualización de posición, lo cual ya no ocurre en esta nueva estrategia. Por ejemplo: cuando el nodo destino cambia de posición rápidamente y está lejos del nodo fuente, ninguna otra solución que no fuera la inundación total fue propuesta. A diferencia de ello, aquí se propone lidiar con tal patrón de movimiento al reducir la inundación únicamente a renglón y columna, con una cierta amplitud (de acuerdo a como se describe en el algoritmo que más adelante se propone).

## **2.1 ACTUALIZACIÓN DE POSICIÓN**

En este trabajo, se adoptará la idea basada en quórums para realizar la actualización de posición en redes ad hoc inalámbricas. Obviamente, los nodos en

redes ad hoc, no permanecen en la misma "columna" y la distribución de la información puede dispersarse fácilmente debido a su movimiento. Mas aún, no esta claro que es una columna, y mucho menos como recibirán los nodos las actualizaciones de posición dentro de ella. Sin embargo, se confiará en que esta idea puede ser muy valiosa.

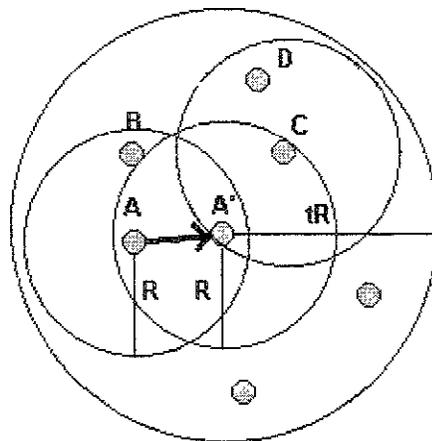
### **2.1.1 ACTUALIZACIÓN LOCAL DE POSICIÓN**

Como se mencionó con anterioridad, la experimentación que se realizará en este trabajo será sobre redes estáticas, sin embargo, al implementarlo sobre una red móvil es necesario realizar un proceso de actualización local (o básico), por lo tanto, a continuación definiremos dicho proceso.

El procedimiento básico de actualización de posición, que es el de tipo local, es llevado a cabo por cada nodo de la red (principalmente en movimiento) en el momento en que observa que, debido a su movimiento, una liga existente (con otro nodo) se romperá. (es decir, la distancia entre los dos nodos será mayor a  $R$ ). En ese momento el nodo enviará un mensaje conteniendo su nueva posición, a todos los vecinos que se encuentren dentro de un radio  $tR$ , donde  $t$  es un parámetro del algoritmo. Para  $t=1$ , el radio es el mismo que el radio para envío de mensajes de datos. En este caso, se asume que el nodo con el que se rompió la liga recibió la nueva posición, y por lo tanto registrará la ruptura de la misma. Sin embargo, los nodos pueden ajustar su poder de transmisión, y gastar más energía para enviar mensajes cortos. Lin y Liu [LL] analizan este incremento proponiendo una diferencia extrema entre el radio de transmisión de mensajes cortos y mensajes largos. Los nodos en [LL] son capaces de enviar la información de su nueva posición a todos los nodos de la red con una sola transmisión (convirtiendo a la red en una red single-hop al transmitir la actualización de posición). Sin embargo, cuando se transmite la información real, la red es utilizada como una red multi-hop. Nótese que una actualización de posición de tipo single-hop, es decir, en una sola transmisión, puede fallar al tratar de alcanzar algunos de los nodos debido a obstáculos físicos que puedan encontrarse en el área. Por

lo tanto, se considera que la actualización de posición con este tipo de transmisión no se justifica, ya que se requiere gastar mucha energía al transmitir para poder alcanzar a todos los nodos de la red (la energía necesaria para transmitir es proporcional al cuadrado, o a un grado superior, del radio de transmisión  $[R]$ ). Sin embargo, esta idea se tomará en cuenta al permitir utilizar mayor energía para realizar actualizaciones de posición, considerando la actualización de posición con un radio  $tR$ . El gastar más energía para realizar la actualización de posición podría justificarse si se obtiene mayor eficiencia al realizar la búsqueda del destino.

Otra solución podría ser mantener el radio de transmisión en  $R$ , y solicitar que cada nodo que recibiera la información retransmitiera a otros nodos los cuales podrían continuar haciéndolo varias veces como tipo cadena. Sin embargo, estas retransmisiones requerirían el gasto de más energía (de parte de los nodos vecinos) lo cual podría ocasionar problemas de transmisiones tipo tormenta [NTCS], donde se presenta una transmisión excesiva de mensajes, así como provocar que su eficiencia sea dudosa.



**Figura 5.** Actualización local cuando se detecta que una liga se romperá.

Tomando en cuenta estas consideraciones, se utilizará una transmisión única de información (single-hop) con radio  $tR$ . Con ello, se asumirá que todo nodo que se encuentre en el momento de la transmisión dentro de ese círculo de radio  $tR$ , recibirá la nueva información de posición. Además, los nodos que se conviertan en nuevos vecinos del nodo que transmitió, contestarán (utilizando un

radio de transmisión  $R$ ), con lo cual, otros nodos dentro de ese radio  $R$  escucharán la posición de esos otros nodos. En la figura 5 se puede observar gráficamente este proceso. El nodo  $A$  está en movimiento, cuando llega a la posición  $A'$  se da cuenta que la liga con  $B$  se ha roto, por lo tanto actualiza su posición con un radio  $tR$  siendo escuchado por  $B$ ,  $C$  y  $D$ . En este caso  $C$  se convierte en un nuevo vecino para  $A'$  (por estar dentro de  $R$ ) y contesta con un radio  $R$ . Con esta última transmisión el nodo  $D$  también escucha la nueva posición de  $C$ . Todo esto ocurrirá cuando un nodo descubra que debido a su movimiento alguna de las ligas se romperá. Ahora veremos qué deberá ocurrir cuando debido a su movimiento, y a la información que tiene almacenada sobre la posición de los demás nodos, detecte una nueva liga con algún nodo.

Cada nodo  $A$  enviará actualizaciones de posición similares (con radio  $tR$ ) cuando descubra a un nuevo vecino. Ese nuevo vecino al que llamaremos  $B$ , contestará con su posición exacta, si es que es realmente un nuevo vecino, utilizando un radio de transmisión  $R$ . Si por otro lado,  $B$  no se encuentra dentro de la distancia  $R$  pero sí dentro de  $tR$ , también contestará ajustando su radio de transmisión a la distancia exacta con  $A$  (con ello, todos los nodos dentro del radio también escucharán la transmisión). Finalmente, si  $B$  no se encuentra tampoco dentro de  $tR$ , entonces no responderá, y  $A$  ajustará la posición que tenía de  $B$  a una nueva posición con distancia  $(t+1)R$  en la misma dirección que tenía de la posición anterior (manteniendo al menos la fecha de la posición anterior).

En la figura 6 se puede observar esto último. El nodo  $A$  se encuentra en movimiento, cuando llega a la posición  $A'$  se da cuenta que tiene 3 nuevos vecinos, los nodos  $B$ ,  $C$  y  $D$ . Entonces  $A'$  transmite con un radio  $tR$ , sin embargo, los nodos  $B$  y  $D$  ya no se encuentran dentro de  $R$  por lo tanto el único nuevo vecino es  $C$  el cual responde transmitiendo en  $R$ . El nodo  $D$  aún cuando ya no se encuentra dentro de  $R$  sí se encuentra dentro de  $tR$ , así que transmite ajustando su distancia con respecto a  $A'$ . Finalmente el nodo  $D$  tampoco se encuentra dentro de  $tR$ , por ello lo único que puede hacer  $A'$  es ajustar la posición que tenía de  $D$  a

una nueva posición con distancia  $(t+1)R$  en la misma dirección que tenía de la posición anterior.

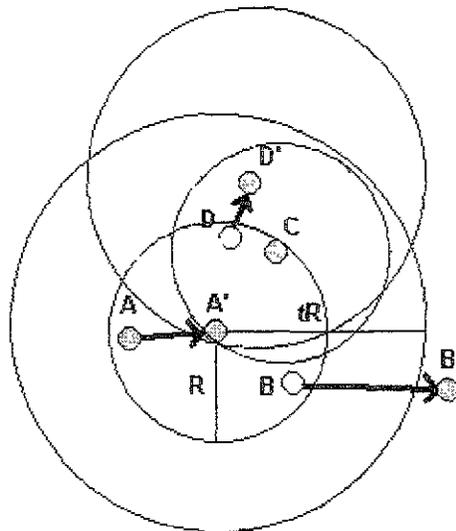


Figura 6. Actualización local cuando se detecta una nueva liga.

### 2.1.2 ACTUALIZACIÓN DE POSICIÓN EN QUÓRUM

El método que aquí se propone para realizar la actualización de posición es la actualización en quórum, el cual consiste en enviar la información de la nueva posición, a lo largo de una "columna" de la red, de la siguiente manera:

Un nodo A, que desea enviar su actualización de posición, utiliza un radio  $pR$ , (donde  $p$  es un parámetro del algoritmo, la amplitud de la columna) e inicia dos mensajes de ruteo en direcciones norte y sur. Cada uno de estos mensajes utiliza el algoritmo MFR [TK], en dirección siempre al norte (y sur respectivamente), con respecto al nodo A de la siguiente manera. Primero, el nodo A transmite la información de posición dentro de un radio  $pR$ , con lo cual cada nodo dentro de  $pR$  recibe la actualización. Únicamente, uno de los nodos, el que está más al norte (o más al sur) retransmitirá, lo cual se decide de la siguiente manera: A envía un mensaje por separado con radio  $R$  en busca de tal nodo. El mensaje es enviado al vecino B de A que está más al norte, y es retransmitido de la misma manera. Si B tiene vecinos dentro de  $pR$  de A, los cuales se encuentren más al norte de B, B enviará el mensaje (también con radio  $R$ ) a su vecino que

este más al norte. Esta búsqueda continuará hasta que un nodo B no tenga vecinos dentro de  $pR$  los cuales estén más al norte que B. Entonces, B retransmitirá con radio  $pR$ , y el proceso continuará hasta que un nodo no pueda encontrar ningún vecino que este más al norte. Este proceso continúa en dirección a los nodos que se encuentran tanto más al norte, como más al sur de A.

Como podemos notar, el nodo que inicia el mensaje lo envía en ambas direcciones, tanto al norte como al sur, en cambio los demás nodos sólo retransmiten en una sola dirección. Es fácil notar que por alguna razón (como lo es en redes de baja densidad), la "columna" puede terminarse sin haber alcanzado nodos que se encuentren más al norte o al sur de A. En tal caso, se propone aumentar el valor del parámetro  $p$  y con ello el radio de transmisión  $pR$ .

Cada nodo que reciba nueva información de posición sobre A, por medio de alguna de las retransmisiones, la registrará junto con la fecha de actualización. Asimismo, cada nodo que transmita cualquier tipo de mensaje incluirá su posición como parte del mensaje, con lo cual permitirá que todos los nodos dentro del radio actualicen su posición.

## **2.2 BÚSQUEDA DE DESTINO**

La búsqueda del nodo destino se lleva a cabo de la siguiente manera: El nodo fuente, que llamaremos S, envía un mensaje en busca de un nodo destino utilizando un radio de transmisión  $sR$ , donde  $s$  es otro parámetro del algoritmo. Si el destino se encuentra dentro del radio  $sR$ , éste contestará ajustando su radio de transmisión a la distancia exacta con respecto a S. Este mensaje de búsqueda siempre incluye la posición de la fuente (junto con su fecha), con lo cual los nodos que reciban la información actualizarán la posición del nodo fuente en sus tablas. De no haber respuesta, la búsqueda continuará en dirección este-oeste, de manera similar a como ocurre en el algoritmo de actualización de posición (es decir, los vecinos más al este y más al oeste retransmitirán con el mismo radio

$sR$ ). El mensaje de búsqueda incluye la fecha de la información más reciente que tenía S sobre la posición del nodo destino, asimismo, se pide que los nodos que escuchen el mensaje brinden información más reciente si es que la tienen. Este proceso se realiza de la siguiente manera: Sea A el nodo que transmitió con radio  $sR$ . Cada nodo C,  $|AC| < sR$  el cual no tenga un vecino F tal que  $|FA| < sR$  y  $|AF| > |CA|$ , comenzará con el proceso de respuesta dentro del círculo de radio  $sR$ . Si el nodo C tiene información más actualizada sobre D que A, entonces enviará dicha información al vecino que se encuentre más cerca de A. Por otro lado, si C no recibe ningún mensaje, y no tiene mejor información, entonces permanece en silencio. Por medio de este proceso, en ocasiones A puede recibir información más actualizada sobre la posición de D.

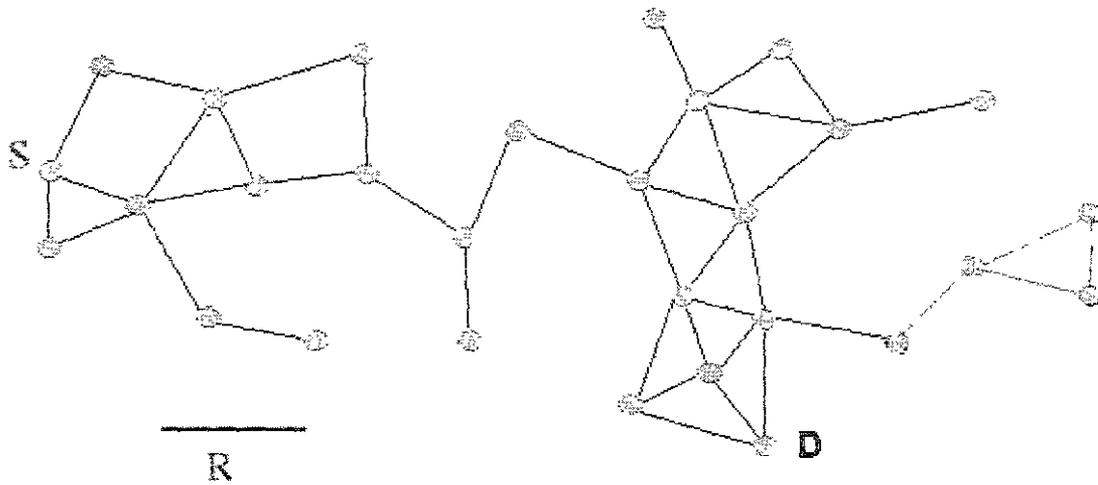
La mejor información es enviada en direcciones este y oeste, al vecino más lejano posible, utilizando un radio de transmisión R, y retransmitiendo de igual manera que en la actualización de posición hasta alcanzar un nodo que, no tenga vecinos en tal dirección y que siga perteneciendo a  $sR$ . Ese vecino repetirá el proceso transmitiendo con un radio  $sR$ . Nótese que la posición del nodo fuente es actualizada en cada nodo que recibe cualquiera de los mensajes de búsqueda de destino.

## **2.3 EJEMPLIFICANDO LA NUEVA ESTRATEGIA**

Antes de realizar la simulación compuesta por los nuevos algoritmos de actualización de posición y de búsqueda de destino, se ejemplificará el desempeño esperado de cada uno de ellos, con la finalidad de esclarecer un poco más su funcionamiento, el cual podría parecer un tanto complejo.

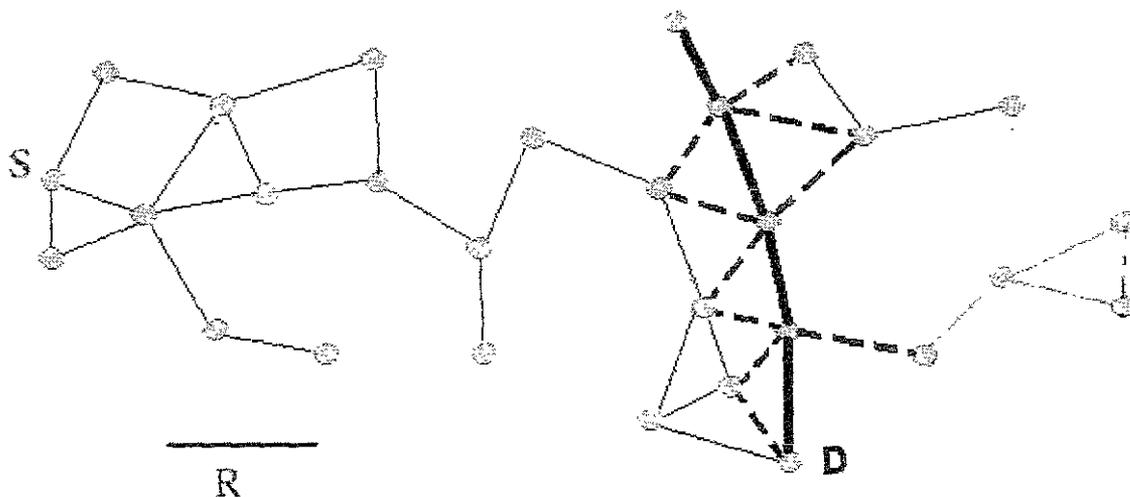
Para ello se utilizará un grafo muy sencillo (Ver Fig.4) sobre el cual se aplicará cada uno de los algoritmos de la nueva estrategia, desde un nodo fuente S y desde un nodo destino D, donde los parámetros  $p, s$  (anteriormente descritos)

toman el valor de 1. Asimismo, se mostrará como se alcanzaría el nodo D utilizando la información obtenida por el algoritmo de búsqueda de destino.



**Figura 7.** Grafo sobre el cual se aplicará la nueva estrategia

En la figura 8 podemos ver que el nodo destino D decide realizar la actualización de posición (en quórum) a lo largo de su "columna" actual, por lo tanto, envía la información de su posición en dirección norte (en este caso no la envía hacia el sur porque no hay vecinos al sur del nodo D). La ruta que sigue la actualización de posición se indica por medio de la línea gruesa (iniciando en D yendo en dirección norte), asimismo, los nodos que escuchan la actualización se indican con líneas interrumpidas del mismo grosor.



**Figura 8.** Resultado realizar la actualización de posición desde D.

Ahora, es el turno del nodo fuente S, en la figura 9 podemos ver como S inicia los mensajes de búsqueda en dirección este y oeste (en este caso sólo hay vecinos en dirección este). La ruta del mensaje de búsqueda se indica por medio de la línea gruesa que inicia en S y atraviesa el grafo en dirección este, asimismo, los nodos que escuchan el mensaje de búsqueda se indican por líneas punteadas. Como podemos ver, la columna sobre la que se realizó la actualización de posición se intersecta con el renglón sobre el que se envió el mensaje de búsqueda en el nodo C, sin embargo, debido al grosor de la columna y del renglón, son 7 los nodos que escucharon ambos procesos.

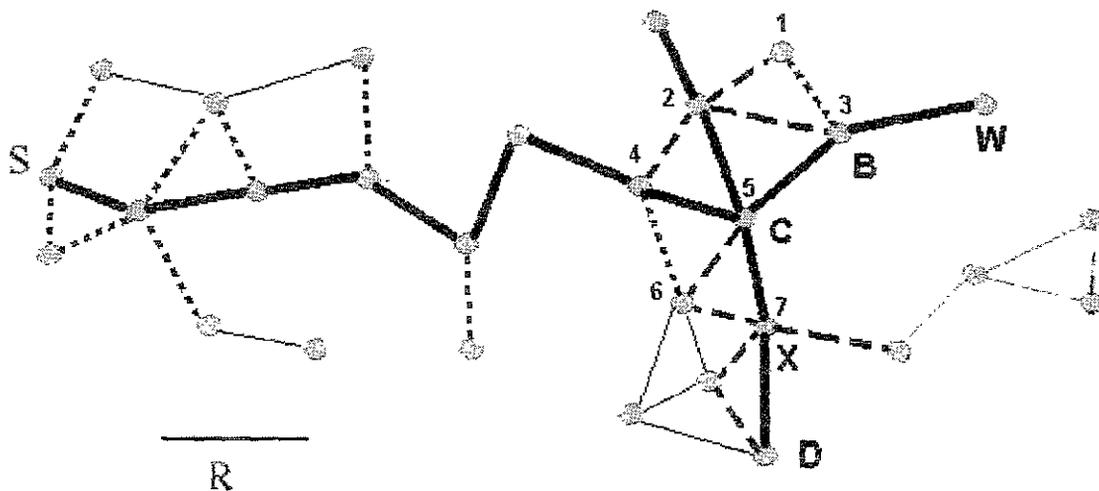


Figura 9. Actualización de posición desde D y búsqueda de destino desde S

Finalmente, para llegar hasta el nodo D, los nodos más al oeste y más al este (en este caso sólo el que está más al este), dirigirían los mensajes de búsqueda hacia la posición más reciente que se obtuvo de D. En la figura 9, el nodo que obtuvo la información más actualizada es el nodo W, el cual podría encontrar al nodo destino aplicando, por ejemplo, el algoritmo localizado de ruteo: GEDIR [SL] (el cual ha demostrado experimentalmente ser el mejor algoritmo de ruteo localizado [SL3]), el cual producirá la ruta W-B-C-A3-D3 hacia el nodo destino.

Una vez que se ha ejemplificado de una manera sencilla el funcionamiento de la nueva estrategia, podremos proceder a realizar la simulación para comprobar su eficiencia.

## **Capítulo III**

### **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

El objetivo es desarrollar una estrategia de actualización de posición basada en quórum para realizar ruteo eficiente en redes inalámbricas, misma que combata el problema de escabilidad. Por lo tanto, la investigación se dividirá en dos partes, en la primera, se tratará de probar la validez de la nueva estrategia, es decir, por medio de la experimentación se evaluará si la nueva estrategia puede ser aplicable. Posteriormente, una vez que la estrategia haya demostrado su aplicabilidad, se evaluará su eficiencia al compararla contra una de las técnicas más utilizadas en la actualidad que es la técnica de la inundación.

La hipótesis central es que la estrategia de Actualización de Posición basada en Quórum es una alternativa eficiente para resolver los problemas de ruteo y de actualización de posición en redes inalámbricas.

#### **3.1 APLICABILIDAD DE LA NUEVA ESTRATEGIA**

Como se mencionó anteriormente, antes de medir la eficiencia de la nueva estrategia, primero se evaluará la aplicabilidad de ésta, es decir, se medirá la tasa de éxitos obtenidos para cada envío de información entre cada par de nodos (S,D) (fuente, destino). Entendiéndose como éxito el caso en el cual, la "columna" de nodos que escuchan la actualización de posición, se intersecta en al menos un nodo con el "renglón" de nodos que escucha la búsqueda de destino.

Asimismo, siguiendo con la evaluación de la aplicabilidad de la estrategia, se probarán otras estrategias tanto de actualización de posición como de búsqueda de destino que no se limitan a enviar su respectiva información a lo

largo de una sola columna o de un solo renglón. Para ello, la experimentación se llevará a cabo de la siguiente manera:

- Los experimentos se realizarán sobre redes estáticas modeladas por grafos unitarios de mínima energía.
- Se seleccionarán pares  $(n,k)$ =(número de nodos, grado promedio de los nodos), los cuales hacen referencia al tamaño de la red, y se generarán 30 grafos para cada par. Los tamaños de red serán  $n=20$ , 50 y 100. Para  $n=20$ , los grados serán  $k=2,3,4$  y 5; para  $n=50$ , a  $k$  se le asignarán valores de 4 a 8; y finalmente para  $n=100$ ,  $k$  tomará los valores de 4 a 14.
- Se utilizarán indistintamente grafos conexos y no conexos.
- Para cada grafo, los  $n$  nodos seleccionarán aleatoriamente sus coordenadas  $x,y$  de un rango entre 0 y 100.
- El radio de transmisión  $R$  se calculará ordenando de manera ascendente, y de acuerdo a su distancia, a todas las posibles ligas entre nodos, seleccionando  $R$  de tal manera que permita la existencia de  $(nk)/2$  ligas entre nodos.
- Para cada categoría  $(n,k)$ , se realizará la actualización de posición desde  $D$ , así como se realizará la búsqueda de destino desde  $S$ . Considerando 100 pares aleatorios  $(S,D)$  para cada grafo.
- Se realizará esta experimentación de forma separada, para cada una de las 9 combinaciones originadas al combinar los valores de los parámetros  $p$  y  $s$  entre 1 y 3.
- La tarea consiste en encontrar la tasa de éxitos para cada par  $(n,k)$  de acuerdo con los valores de  $p$  y  $s$ .
- Finalmente esta experimentación se repetirá para varios pares de estrategias de actualización de posición y búsqueda de destino  $(LU,DS)$ =(Actualización de posición, Búsqueda de destino, por sus siglas en inglés). Las combinaciones de estas estrategias serán:
  1. LU= Columna desde D, DS= Renglón desde S
  2. LU= Renglón y columna desde D, DS= Renglón y columna desde S

3. LU= Línea desde D en dirección aleatoria (cada vez), DS= Línea desde S en dirección aleatoria (cada vez).
4. LU= Línea desde D en dirección aleatoria (cada vez) junto con su línea ortogonal, DS= Línea desde S en dirección aleatoria (cada vez) junto con su línea ortogonal.
5. LU= Cuatro líneas desde S: Renglón. Columna y sus dos líneas simétricas (45 grados), DS= la misma selección.
6. LU= 2 líneas desde D en dirección aleatoria (cada vez), DS= Dos líneas desde S en dirección aleatoria(cada vez).
7. LU= Línea desde D en dirección aleatoria (cada vez) junto con su línea ortogonal, DS= Línea desde S en dirección aleatoria (cada vez).
8. LU= Línea desde D en dirección aleatoria (cada vez), DS= Línea desde S en dirección aleatoria (cada vez) junto con su línea ortogonal.

### **3.2 EFICIENCIA DE LA NUEVA ESTRATEGIA**

Una vez evaluada la aplicabilidad de la estrategia, se medirá su eficiencia comparándola con la técnica de la inundación por medio de la tasa de inundación. Donde la tasa de inundación se mide de la siguiente manera: sea una red de  $n$  nodos, sobre la cual se haya enviado un mensaje desde un nodo S hasta un nodo D utilizando  $k$  transmisiones, la tasa de inundación será igual a  $k/n$ .

Para realizar esta experimentación se tomará como base la anterior, con las siguientes modificaciones:

- Se seleccionarán tamaños de red  $n=20, 50$  y  $100$ , con grados promedio  $k=6,7$  y  $8$ .
- Se utilizarán únicamente grafos conexos, ya que únicamente en ellos se puede rutear información.

- La tarea ahora es medir la tasa de inundación al realizar la actualización de posición, para poder evaluar la eficiencia de la estrategia sobre diferentes tamaños de red.
- Finalmente esta experimentación se repetirá para los pares de estrategias de actualización de posición y búsqueda de destino que mostraron las tasas de éxito mayores. Es decir, para las estrategias 2,4,5 (del experimento anterior).

### **3.3 IMPLEMENTACIÓN**

En las secciones anteriores se han descrito tanto los parámetros, como la forma en la que se llevará a cabo la experimentación para comprobar tanto la aplicabilidad, como la eficiencia de la nueva estrategia propuesta, sin embargo, falta especificar que herramienta será utilizada.

Para realizar la experimentación se desarrollará un simulador el cual trabaje de acuerdo a la estrategia propuesta. Este simulador deberá mostrar de manera gráfica su funcionamiento, así también, deberá mostrar por medio de alguna codificación, la forma en que evoluciona la nueva estrategia de actualización de posición en cada simulación, esto último con la finalidad de comprobar que realmente se esté simulando como las imágenes gráficas lo muestran.

## Capítulo IV

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

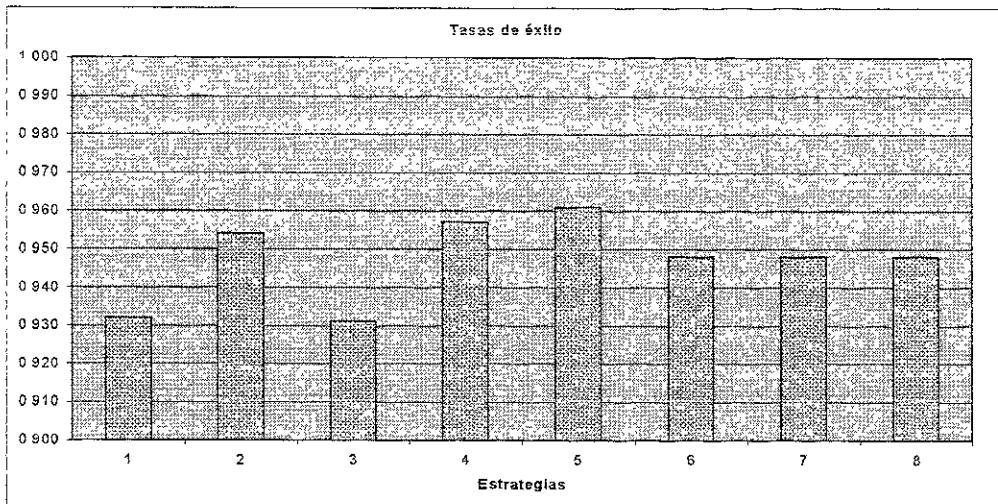
Una vez realizada la experimentación tal como se define en la sección 3.1, para evaluar la aplicabilidad de la nueva estrategia, obtuvimos los resultados mostrados en la Tabla 1.

| Estrategia | n=20  | n=50  | n=100 | Promedio |
|------------|-------|-------|-------|----------|
| 1          | 0.885 | 0.947 | 0.942 | 0.932    |
| 2          | 0.900 | 0.968 | 0.968 | 0.954    |
| 3          | 0.890 | 0.945 | 0.940 | 0.931    |
| 4          | 0.901 | 0.971 | 0.970 | 0.957    |
| 5          | 0.902 | 0.971 | 0.978 | 0.961    |
| 6          | 0.893 | 0.962 | 0.962 | 0.948    |
| 7          | 0.901 | 0.961 | 0.959 | 0.948    |
| 8          | 0.895 | 0.962 | 0.960 | 0.948    |

Tabla 1 Tasas de éxito promedio obtenidas para cada combinación estrategia-tamaño de red.

En la Tabla 1 se muestran las tasas de éxito obtenidas para cada combinación estrategia-tamaño de red (promediadas de todas las combinaciones de los parámetros  $p, s$  y  $k$ , véase Anexo A), asimismo, se puede observar claramente que las tasas de éxito para todas las estrategias son en promedio mayores a 0.93, lo cual significa que en el 93% de los casos, hubo intersección entre los renglones y columnas tanto de la actualización de posición como de la búsqueda de destino. Sin embargo, para medir su confiabilidad sería conveniente definir en experimentaciones posteriores intervalos de confianza para las tasas de eficiencia. Asimismo, recordando que para esta experimentación se consideraron

tanto grafos conexos como no conexos, se esperaría que al utilizar únicamente grafos conexos, las tasas de éxito aumentarían.



**Gráfica 1** Tasas de éxito obtenidas para cada estrategia.

Asimismo, en la Gráfica 1 podemos ver que la estrategia con la tasa de éxito promedio más alta es la número 5; esta estrategia es la que envía mayor cantidad de mensajes, tanto de actualización de posición como de búsqueda de destino. Por lo tanto, este resultado en cierta manera era de esperarse, sin embargo, las tasas de éxito de las demás estrategias no están muy por debajo de las de la estrategia 5, sobre todo las de las estrategias 2 y 4. En este caso el factor a considerar para seleccionar alguna de estas estrategias es la tasa de inundación (de cada una), la cual mientras menor sea es mejor.

| Estrategias | N=20  | N=50  | N=100 |
|-------------|-------|-------|-------|
| 2           | 3.746 | 1.738 | .990  |
| 4           | 3.764 | 1.756 | 1.023 |
| 5           | 7.463 | 3.531 | 2.039 |

**Tabla 2** Tasas de inundación obtenidas para cada combinación estrategia-tamaño de red.

En la tabla 2 se muestran los resultados más importantes de la investigación. En ésta tabla se observan las tasas de inundación obtenidas para cada combinación estrategia-tamaño de red (promediadas de todas las combinaciones de los parámetros  $p, s$  y  $k$ , véase Anexo B) y claramente se observa que a medida que aumenta el tamaño de la red, disminuye la tasa de inundación, lo cual combate de manera clara y eficiente el problema de la escalabilidad.

## CONCLUSIONES

- La aplicabilidad de la estrategia de actualización de posición basada en quórum es completamente válida, lo cual se justifica al observar sus tasas de éxito
- Es claro que mientras se utilicen más direcciones como parte de las estrategias de actualización de posición y de búsqueda de destino, las tasas de éxito serán mayores, sin embargo, ello también origina que las tasas de inundación sean mayores. Por ejemplo, la estrategia número 5 fue la mejor de todas, sin embargo, la ventaja que muestra en comparación con las estrategias 2 y 4 en términos de la tasa de éxito no se justifica del todo (dependerá de los recursos disponibles) cuando comparamos sus tasas de inundación.
- Al analizar la eficiencia de la nueva estrategia podemos visualizar la mayor ventaja que la técnica ofrece. Es decir, con esta estrategia se ataca de una manera altamente competitiva y eficiente el problema de la escalabilidad ya que a diferencia de las técnicas anteriormente propuestas en las cuales al aumentar el tamaño de la red aumentan las tasas de inundación, con esta estrategia ocurre todo lo contrario, es decir, al aumentar el tamaño de la red, disminuye la tasa de inundación.
- La entrega garantizada de los mensajes esta relacionada con las tasas de éxito las cuales podemos observar que son bastante aceptables, sin embargo, para garantizar la entrega, podrían modificarse la búsqueda de vecinos más al norte y más al sur, en la actualización de posición, así como la búsqueda de vecinos más al este y más al oeste, en la búsqueda de destino, haciendo uso de un algoritmo de ruteo que garantice la entrega en el caso de que no se alcance al nodo destino.

- Por lo tanto, es posible concluir que la estrategia de actualización de posición basada en quórum es la estrategia más competitiva que existe hasta el momento al ser utilizada en redes de gran tamaño, asimismo, es una excelente alternativa para ser utilizada por cualquier estrategia de ruteo que requiera ser eficiente.
- Durante el desarrollo de este trabajo de investigación hice uso de una gran cantidad de herramientas matemáticas y computacionales tales como: Álgebra, Cálculo, Teoría de Gráficas, Geometría, Estructuras de datos, Algoritmos propios de teoría de gráficas, Programación, etc. Con ello, tanto puse en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, como pude apreciar y valorar la solidez, tanto matemática como computacional que adquiere un estudiante de la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación, la cual le permite explorar una gran cantidad de áreas del conocimiento que en primera instancia podrían parecer estar un poco alejadas de su alcance, como lo es en este caso el área de las telecomunicaciones modernas, pero en realidad no lo están. Por ello no me queda más que hacer dos cosas: Primero, exhortar a todos mis compañeros de la carrera a realizar sus trabajos de tesis sin temor a escoger un tema difícil ya que para el interés de cada uno siempre habrá algún tema para el cual sus conocimientos sean lo suficientemente sólidos. Y en segundo lugar, agradecer a todos mis profesores, a mis compañeros y a la ENEP Acatlán, por la formación que me han dado.

## BIBLIOGRAFIA

- [APL] K.N. Amouris, S. Papavassiliou, M. Li, "**A position based multi-zone routing protocol for wide area mobile ad-hoc networks**", Proc. 49<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference, 1999, 1365-1369.
- [BCSW] S. Basagni, I. Chlamtac, V.R. Syrotiuk, B.A. Woodward, "**A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)**", Proc. MOBICOM, 1998, 76-84.
- [BMSU] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic and J. Urrutia, "**Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks**", 3<sup>rd</sup> int. Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, Seattle, Agosto 20, 1999, 48-55.
- [EGHK] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, S. Kumar, "**Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks**", Proceeding MOBICOM, 1999, Seattle, 263-270.
- [HL] T.C. Hou and V.O.K. Li, "**Transmission range control in multihop packet radio networks**", IEEE Transactions on Communications, 34, 1, 1986, 38-44.
- [HL1] Z.J. Haas y B. Liang, "**Ad hoc mobility management with uniform quorum systems**", ACM/IEEE Transactions on Networks, 7, 2, Abril 1999, 228-240.
- [HL2] Z.J. Haas y B. Liang, "**Ad hoc mobility management with randomized database groups**", Proceedings of IEEE ICC, Vancouver, Junio 1999.
- [KMP] G. Karumanchi, S. Muralidharan y R. Prakash, "**Information dissemination in partitionable mobile ad hoc networks**", Proc. IEEE Symp. On Reliable Distributed Systems, Lausanne, Octubre 1999.
- [JM] D. Johnson and D. Maltz, "**Dynamic source routing in ad hoc wireless networks, in Mobile Computing**" (T. Imielinski and H. Korth, eds), Norwell, MA: Kluwer, 1996.
- [KSU] E. Kranakis, H. Singh and J. Urrutia, "**Compass Routing on geometric networks**", Proc. 11<sup>th</sup> Canadian Conference on Computational Geometry, Vancouver, Agosto, 1998.
- [KV] Y. B. Ko y N.H. Vaidya, "**Location-Aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks**", MOBICOM, 1998, 66-75.

- [LH] B. Liang y Z.J. Haas, "**Virtual backbone generation and maintenance in ad hoc network mobility management**", INFOCOM, Israel, 2000.
- [LL] C. R. Lin and J.S. Liu, "**QoS routing in ad hoc wireless networks**", IEEE J. Selected Areas in Communications, 17, 8, Agosto 1999, 1426-1438.
- [MC] J.P. Macker y M.S. Corson, "**Mobile ad hoc networking and the IETF**", Mobile Computing and Communications Review, 2, 1, 1998, 9-14.
- [N] NAVSTAR GPS operations, <http://tycho.usno.navy.mil/gpsinfo.html>, and Iowa State University GPS page, <http://www.cnde.iastate.edu/gps.html>
- [NK] R. Nelson y L. Kleinrock, "**The spatial capacity of a slotted ALOHA multihop packet radio network with capture**", IEEE Transactions on Communications, 32, 6, 1984, 684-694.
- [NTCS] S.Y. Ni, Y.C. Tseng, Y.S. Chen, J.P. Sheu, "**The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network**", Proc. MOBICOM, Seattle, Agosto 1999, 151-162.
- [R] T.S. Rappaport, "**Wireless Communications: Principles and Practice**", Prentice Hall, 1996.
- [RS] S. Ramanathan and M. Steenstrup, "**A survey of Routing Techniques for Mobile Communications Networks**", Advanced Networking Department, Systems and Technologies Division, BBN Corp. Cambridge, MA, USA. 1999.
- [S1] I. Stojmenovic and Bosko Vukojevic, "**A routing strategy and quorum based location update schem for ad hoc wireless networks**", Computer Science, SITE, University of Ottawa, TR-99-09, September 1999.
- [S2] I. Stojmenovic, "**Voronoi diagram and convex hull based geocasting and routing in wireless networks**", SITE, University of Ottawa, TR-99-11, Diciembre, 1999.
- [S3] I. Stojmenovic, "**Home agent based location update and destination search schemes in ad hoc wireless networks**", Computer science, SITE, University of Ottawa, TR-99-10, septiembre 1999.
- [S4] I. Stojmenovic, "**Location Updates for efficient routing in ad hoc networks**", SITE, University of Ottawa. 2001.
- [SL] I. Stojmenovic and X. Lin, "**GEDIR: Loop-free location based routing in wireless networks**", IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, Noviembre 3-6, 1999, Boston, MA, USA.

[SL2] I. Stojmenovic and X. Lin, "**Loop-free hybrid single-path/flooding routing algorithms with guaranteed delivery for wireless networks**", Computer Science, SITE, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada. 1999

[SL3] I. Stojmenovic and X. Lin, "**GPS based distributed routing algorithms for wireless networks**", Computer Science, SITE, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada. 1999

[TK] H. Takagi and L. Kleinrock, "**Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals**", IEEE Tans. on Communications, 32, 3, 1984, 246-257.

## **ANEXO A**

### **Resultados obtenidos al evaluar la Aplicabilidad de la nueva estrategia**

**Tablas de Resultados de las estrategias de actualización de posición basadas en Quórum.**  
**Tasas de Éxito**

**Estrategia 1) LU=Columna desde D, DS=Renglón desde S**  
**Tasas de Éxito**

| 30 Grafos       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cualquier grafo |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | n=20  |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| p               | s | k=2   | k=3   | k=4   | k=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14  |
| 1               | 1 | 0.275 | 0.462 | 0.751 | 0.886 | 0.509 | 0.731 | 0.808 | 0.919 | 0.949 | 0.307 | 0.542 | 0.700 | 0.739 | 0.881 | 0.955 | 0.962 | 0.989 | 0.988 | 0.986 | 0.992 |
| 1               | 2 | 0.576 | 0.896 | 0.919 | 0.965 | 0.788 | 0.894 | 0.949 | 0.989 | 0.994 | 0.585 | 0.762 | 0.881 | 0.944 | 0.969 | 0.979 | 0.992 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     |
| 1               | 3 | 0.735 | 0.9   | 0.963 | 0.98  | 0.875 | 0.948 | 0.981 | 0.992 | 0.996 | 0.754 | 0.85  | 0.947 | 0.978 | 0.987 | 0.996 | 0.997 | 1     | 0.999 | 1     | 1     |
| 2               | 1 | 0.563 | 0.857 | 0.938 | 0.992 | 0.772 | 0.909 | 0.953 | 0.989 | 0.994 | 0.572 | 0.753 | 0.88  | 0.937 | 0.956 | 0.98  | 0.994 | 0.994 | 1     | 1     | 0.999 |
| 2               | 2 | 0.799 | 0.98  | 0.991 | 1     | 0.931 | 0.979 | 0.998 | 0.999 | 1     | 0.741 | 0.905 | 0.958 | 0.987 | 0.991 | 0.996 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 2               | 3 | 0.929 | 0.997 | 1     | 1     | 0.977 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 0.882 | 0.964 | 0.981 | 0.997 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 3               | 1 | 0.722 | 0.894 | 0.973 | 0.986 | 0.908 | 0.961 | 0.984 | 0.994 | 0.997 | 0.727 | 0.866 | 0.927 | 0.978 | 0.985 | 0.994 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     |
| 3               | 2 | 0.947 | 0.999 | 1     | 1     | 0.975 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 0.856 | 0.95  | 0.981 | 0.995 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 3               | 3 | 0.983 | 1     | 1     | 1     | 0.997 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.92  | 0.984 | 0.995 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Promedios       |   | 0.885 |       |       |       | 0.947 |       |       |       |       | 0.942 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | 0.932 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**Estrategia 2) LU=Renglón y columna desde D, DS=Renglón y columna desde S**  
**Tasas de Éxito**

| 30 Grafos       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cualquier grafo |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | n=20  |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| p               | s | k=2   | k=3   | k=4   | k=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14  |
| 1               | 1 | 0.256 | 0.586 | 0.785 | 0.915 | 0.575 | 0.773 | 0.917 | 0.955 | 0.988 | 0.405 | 0.666 | 0.834 | 0.912 | 0.96  | 0.994 | 0.99  | 0.994 | 0.995 | 0.999 | 0.999 |
| 1               | 2 | 0.597 | 0.892 | 0.955 | 0.986 | 0.89  | 0.955 | 0.985 | 0.994 | 0.997 | 0.671 | 0.88  | 0.951 | 0.984 | 0.998 | 1     | 1     | 0.997 | 1     | 0.999 | 1     |
| 1               | 3 | 0.737 | 0.909 | 0.967 | 0.979 | 0.926 | 0.988 | 0.991 | 0.997 | 0.997 | 0.817 | 0.945 | 0.978 | 0.991 | 0.998 | 0.996 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 2               | 1 | 0.644 | 0.883 | 0.967 | 0.982 | 0.86  | 0.96  | 0.991 | 0.99  | 0.994 | 0.743 | 0.888 | 0.952 | 0.993 | 0.996 | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 2               | 2 | 0.857 | 0.989 | 0.995 | 0.993 | 0.972 | 0.99  | 1     | 0.999 | 1     | 0.878 | 0.957 | 0.986 | 0.999 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 2               | 3 | 0.942 | 0.99  | 0.999 | 1     | 0.994 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 0.919 | 0.98  | 0.997 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 3               | 1 | 0.773 | 0.943 | 0.959 | 0.989 | 0.925 | 0.975 | 0.987 | 0.996 | 0.996 | 0.845 | 0.925 | 0.98  | 0.998 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 0.999 | 1     |
| 3               | 2 | 0.94  | 0.989 | 1     | 1     | 0.99  | 0.997 | 1     | 1     | 1     | 0.924 | 0.985 | 0.997 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 3               | 3 | 0.992 | 1     | 1     | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.969 | 0.994 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Promedios       |   | 0.900 |       |       |       | 0.968 |       |       |       |       | 0.968 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | 0.954 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**Tablas de Resultados de las estrategias de actualización de posición basadas en Quórum.**  
**Tasas de Éxito**

**Estrategia 3) LU=Dirección aleatoria desde D y dirección aleatoria desde S (aleatorias cada vez)**

**Tasas de Éxito**

| 30 Grafos       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cualquier grafo |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | n=20  |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| p               | s | k=2   | k=3   | k=4   | k=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14  |
| 1               | 1 | 0.227 | 0.542 | 0.705 | 0.914 | 0.451 | 0.643 | 0.82  | 0.897 | 0.937 | 0.313 | 0.522 | 0.707 | 0.78  | 0.879 | 0.919 | 0.939 | 0.965 | 0.984 | 0.988 | 0.982 |
| 1               | 2 | 0.557 | 0.853 | 0.948 | 0.983 | 0.791 | 0.913 | 0.939 | 0.986 | 0.994 | 0.55  | 0.752 | 0.886 | 0.95  | 0.956 | 0.974 | 0.989 | 0.993 | 0.998 | 0.997 | 0.999 |
| 1               | 3 | 0.774 | 0.913 | 0.966 | 0.984 | 0.924 | 0.951 | 0.983 | 0.995 | 0.998 | 0.735 | 0.858 | 0.938 | 0.959 | 0.988 | 0.994 | 0.996 | 1     | 1     | 0.999 | 1     |
| 2               | 1 | 0.579 | 0.832 | 0.938 | 0.987 | 0.797 | 0.881 | 0.955 | 0.982 | 0.99  | 0.592 | 0.748 | 0.857 | 0.931 | 0.961 | 0.984 | 0.996 | 0.994 | 0.999 | 0.998 | 1     |
| 2               | 2 | 0.82  | 0.965 | 0.998 | 1     | 0.942 | 0.977 | 0.996 | 0.999 | 0.999 | 0.759 | 0.871 | 0.942 | 0.978 | 0.993 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1     | 1     | 1     |
| 2               | 3 | 0.961 | 0.998 | 1     | 1     | 0.981 | 0.996 | 1     | 1     | 1     | 0.862 | 0.956 | 0.975 | 0.997 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 3               | 1 | 0.762 | 0.938 | 0.972 | 0.98  | 0.899 | 0.956 | 0.995 | 0.995 | 0.994 | 0.719 | 0.856 | 0.937 | 0.965 | 0.98  | 0.995 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     |
| 3               | 2 | 0.952 | 0.999 | 1     | 1     | 0.976 | 0.999 | 0.999 | 1     | 1     | 0.883 | 0.939 | 0.984 | 0.997 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 3               | 3 | 0.984 | 1     | 1     | 1     | 0.992 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.922 | 0.978 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Promedios       |   | 0.890 |       |       |       | 0.945 |       |       |       |       | 0.940 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | 0.931 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**Estrategia 4) LU=Dirección aleatoria (cada vez) desde D y su ortogonal, DS=misma selección desde S**

**Tasas de Éxito**

| 30 Grafos       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Cualquier grafo |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|                 |   | n=20  |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| p               | s | k=2   | k=3   | k=4   | k=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14 |
| 1               | 1 | 0.274 | 0.575 | 0.791 | 0.914 | 0.651 | 0.779 | 0.893 | 0.957 | 0.979 | 0.429 | 0.693 | 0.845 | 0.923 | 0.985 | 0.985 | 0.989 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1    |
| 1               | 2 | 0.682 | 0.865 | 0.947 | 0.975 | 0.908 | 0.974 | 0.986 | 0.997 | 0.997 | 0.732 | 0.909 | 0.966 | 0.993 | 0.993 | 0.997 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1    |
| 1               | 3 | 0.725 | 0.928 | 0.977 | 0.973 | 0.933 | 0.98  | 0.993 | 0.996 | 0.998 | 0.855 | 0.952 | 0.982 | 0.992 | 0.997 | 0.996 | 0.999 | 0.999 | 1     | 0.999 | 1    |
| 2               | 1 | 0.622 | 0.911 | 0.962 | 0.979 | 0.911 | 0.942 | 0.992 | 0.995 | 0.995 | 0.683 | 0.903 | 0.962 | 0.988 | 0.996 | 0.998 | 0.997 | 0.999 | 1     | 1     | 1    |
| 2               | 2 | 0.8   | 0.982 | 0.998 | 0.996 | 0.977 | 0.992 | 1     | 1     | 1     | 0.868 | 0.956 | 0.988 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    |
| 2               | 3 | 0.95  | 0.996 | 1     | 1     | 0.988 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 0.918 | 0.981 | 0.995 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    |
| 3               | 1 | 0.782 | 0.905 | 0.968 | 0.982 | 0.931 | 0.983 | 0.99  | 0.993 | 0.999 | 0.821 | 0.949 | 0.983 | 0.995 | 0.998 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 1     | 1     | 1    |
| 3               | 2 | 0.981 | 0.999 | 0.997 | 1     | 0.991 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 0.948 | 0.978 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    |
| 3               | 3 | 0.993 | 1     | 1     | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.978 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    |
| Promedios       |   | 0.901 |       |       |       | 0.971 |       |       |       |       | 0.970 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|                 |   | 0.957 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

**Tablas de Resultados de las estrategias de actualización de posición basadas en Quórum.**  
**Tasas de Éxito**

**Estrategia 5) LU=Cuatro líneas: renglón, columna, y sus dos simetrías (45 grados) desde D, DS=misma selección desde S**  
**Tasas de Éxito**

|           |   | 30 Grupos       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|---|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |   | Cualquier grupo |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|           |   | n=20            |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| p         | s | k=2             | k=3   | k=4   | k=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14  |       |
| 1         | 1 | 0.269           | 0.56  | 0.841 | 0.895 | 0.609 | 0.813 | 0.878 | 0.94  | 0.959 | 0.503 | 0.687 | 0.933 | 0.956 | 0.966 | 0.993 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 0.998 |       |
| 1         | 2 | 0.617           | 0.891 | 0.955 | 0.978 | 0.896 | 0.966 | 0.992 | 0.992 | 0.998 | 0.802 | 0.93  | 0.984 | 0.994 | 0.996 | 0.999 | 1     | 0.998 | 0.998 | 1     | 1     |       |
| 1         | 3 | 0.757           | 0.933 | 0.964 | 0.987 | 0.946 | 0.982 | 0.992 | 0.996 | 0.997 | 0.891 | 0.958 | 0.987 | 0.994 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 2         | 1 | 0.618           | 0.876 | 0.965 | 0.986 | 0.921 | 0.973 | 0.981 | 0.995 | 0.999 | 0.802 | 0.931 | 0.983 | 0.994 | 0.997 | 1     | 0.998 | 1     | 0.999 | 1     | 1     |       |
| 2         | 2 | 0.879           | 0.987 | 0.999 | 1     | 0.979 | 0.996 | 0.999 | 1     | 1     | 0.927 | 0.982 | 0.993 | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 2         | 3 | 0.953           | 0.99  | 1     | 1     | 0.996 | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 0.955 | 0.992 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3         | 1 | 0.754           | 0.929 | 0.975 | 0.989 | 0.94  | 0.972 | 0.989 | 0.998 | 0.997 | 0.827 | 0.957 | 0.993 | 0.999 | 0.998 | 1     | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 0.999 |       |
| 3         | 2 | 0.922           | 1     | 0.999 | 1     | 0.988 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 0.95  | 0.992 | 0.997 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3         | 3 | 0.991           | 0.997 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.976 | 0.995 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| Promedios |   | 0.902           |       |       |       | 0.971 |       |       |       |       | 0.978 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.961 |

**Estrategia 6) LU=Dos direcciones aleatorias (cada vez) desde D, DS=misma selección desde S**  
**Tasas de Éxito**

|           |   | 30 Grupos       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|---|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |   | Cualquier grupo |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|           |   | n=20            |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| p         | s | k=2             | k=3   | k=4   | k=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14  |       |
| 1         | 1 | 0.271           | 0.531 | 0.755 | 0.933 | 0.552 | 0.779 | 0.81  | 0.952 | 0.991 | 0.417 | 0.621 | 0.818 | 0.906 | 0.959 | 0.966 | 0.985 | 0.996 | 0.997 | 0.997 | 0.998 |       |
| 1         | 2 | 0.56            | 0.878 | 0.957 | 0.978 | 0.874 | 0.951 | 0.989 | 0.991 | 0.998 | 0.659 | 0.853 | 0.943 | 0.972 | 0.988 | 0.992 | 0.999 | 0.998 | 1     | 1     | 1     |       |
| 1         | 3 | 0.742           | 0.922 | 0.956 | 0.974 | 0.932 | 0.974 | 0.986 | 0.994 | 0.997 | 0.794 | 0.882 | 0.974 | 0.989 | 0.994 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 0.998 | 1     | 1     |       |
| 2         | 1 | 0.64            | 0.88  | 0.963 | 0.987 | 0.827 | 0.95  | 0.982 | 0.985 | 0.994 | 0.699 | 0.855 | 0.95  | 0.975 | 0.993 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1     | 0.999 | 0.999 |       |
| 2         | 2 | 0.83            | 0.958 | 0.993 | 1     | 0.959 | 0.995 | 0.999 | 1     | 1     | 0.833 | 0.952 | 0.987 | 0.994 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 2         | 3 | 0.936           | 0.993 | 1     | 1     | 0.992 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 0.914 | 0.977 | 0.996 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3         | 1 | 0.75            | 0.919 | 0.955 | 0.984 | 0.906 | 0.971 | 0.98  | 0.999 | 0.996 | 0.787 | 0.905 | 0.97  | 0.988 | 0.998 | 0.998 | 0.999 | 0.998 | 1     | 1     | 0.999 |       |
| 3         | 2 | 0.916           | 0.991 | 1     | 1     | 0.986 | 1     | 0.998 | 1     | 1     | 0.911 | 0.964 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3         | 3 | 0.988           | 1     | 1     | 1     | 0.996 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.956 | 0.988 | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| Promedios |   | 0.893           |       |       |       | 0.962 |       |       |       |       | 0.962 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.948 |

**Tablas de Resultados de las estrategias de actualización de posición basadas en Quórum.**  
**Tasas de Éxito**

**Estrategia 7) LU=Dirección aleatoria (cada vez) desde D y su ortogonal, DS=dirección aleatoria (cada vez) desde S**  
**Tasas de Éxito**

| 30 Gratos       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cualquier grato |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | n=20  |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| p               | s | k=2   | k=3   | k=4   | K=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14  |       |
| 1               | 1 | 0.236 | 0.608 | 0.776 | 0.926 | 0.589 | 0.749 | 0.897 | 0.925 | 0.963 | 0.361 | 0.621 | 0.74  | 0.916 | 0.947 | 0.977 | 0.98  | 0.988 | 0.996 | 0.992 | 0.999 |       |
| 1               | 2 | 0.632 | 0.871 | 0.969 | 0.979 | 0.853 | 0.936 | 0.973 | 0.987 | 0.993 | 0.661 | 0.848 | 0.935 | 0.972 | 0.989 | 0.996 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 1     |       |
| 1               | 3 | 0.772 | 0.937 | 0.968 | 0.981 | 0.92  | 0.969 | 0.987 | 0.996 | 0.999 | 0.808 | 0.9   | 0.96  | 0.991 | 0.996 | 0.996 | 1     | 0.998 | 1     | 0.999 | 1     |       |
| 2               | 1 | 0.617 | 0.909 | 0.981 | 0.983 | 0.836 | 0.93  | 0.974 | 0.995 | 0.995 | 0.648 | 0.827 | 0.943 | 0.976 | 0.989 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 0.999 |       |
| 2               | 2 | 0.886 | 0.978 | 0.998 | 1     | 0.945 | 0.988 | 0.998 | 0.997 | 1     | 0.807 | 0.943 | 0.982 | 0.993 | 0.995 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 2               | 3 | 0.934 | 0.991 | 1     | 0.999 | 0.984 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 0.904 | 0.977 | 0.993 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3               | 1 | 0.731 | 0.924 | 0.946 | 0.974 | 0.92  | 0.977 | 0.988 | 0.999 | 0.999 | 0.772 | 0.913 | 0.969 | 0.978 | 0.994 | 0.997 | 1     | 0.999 | 1     | 1     | 1     |       |
| 3               | 2 | 0.939 | 1     | 1     | 0.999 | 0.992 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0.912 | 0.974 | 0.994 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3               | 3 | 0.981 | 0.999 | 1     | 1     | 0.998 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 0.94  | 0.987 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| Promedios       |   |       |       |       |       | 0.901 |       |       |       |       | 0.961 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.959 |
|                 |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.948 |

**Estrategia 8) LU=Dirección aleatoria (cada vez) desde D, DS=Dirección aleatoria (cada vez) desde S y su ortogonal**  
**Tasas de Éxito**

| 30 Gratos       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cualquier grato |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 |   | n=20  |       |       |       | n=50  |       |       |       |       | n=100 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| p               | s | k=2   | k=3   | k=4   | K=5   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=4   | k=5   | k=6   | k=7   | k=8   | k=9   | k=10  | k=11  | k=12  | k=13  | k=14  |       |
| 1               | 1 | 0.284 | 0.5   | 0.768 | 0.952 | 0.582 | 0.77  | 0.889 | 0.953 | 0.975 | 0.416 | 0.597 | 0.785 | 0.865 | 0.951 | 0.979 | 0.984 | 0.989 | 0.997 | 0.999 | 0.997 |       |
| 1               | 2 | 0.6   | 0.881 | 0.964 | 0.971 | 0.824 | 0.947 | 0.975 | 0.991 | 0.997 | 0.644 | 0.839 | 0.941 | 0.978 | 0.992 | 0.997 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 1               | 3 | 0.702 | 0.912 | 0.969 | 0.975 | 0.941 | 0.977 | 0.993 | 0.997 | 0.997 | 0.8   | 0.911 | 0.976 | 0.989 | 0.997 | 0.999 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 2               | 1 | 0.618 | 0.872 | 0.946 | 0.988 | 0.817 | 0.924 | 0.979 | 0.996 | 0.996 | 0.636 | 0.862 | 0.922 | 0.972 | 0.994 | 0.997 | 0.997 | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 2               | 2 | 0.869 | 0.951 | 0.996 | 1     | 0.954 | 0.987 | 0.995 | 0.999 | 1     | 0.815 | 0.937 | 0.984 | 0.993 | 0.998 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 2               | 3 | 0.958 | 0.998 | 1     | 1     | 0.989 | 0.999 | 0.999 | 1     | 1     | 0.911 | 0.965 | 0.993 | 0.995 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3               | 1 | 0.757 | 0.909 | 0.954 | 0.99  | 0.925 | 0.979 | 0.992 | 0.991 | 0.997 | 0.777 | 0.907 | 0.964 | 0.994 | 0.993 | 0.997 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3               | 2 | 0.954 | 0.999 | 1     | 1     | 0.989 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 0.913 | 0.971 | 0.99  | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 3               | 3 | 0.993 | 0.999 | 1     | 1     | 0.996 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 0.948 | 0.991 | 0.998 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| Promedios       |   |       |       |       |       | 0.895 |       |       |       |       | 0.962 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.960 |
|                 |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.948 |

## **ANEXO B**

### **Resultados obtenidos al evaluar la eficiencia de la nueva estrategia**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS  
CARRERA DE ECONOMÍA

**Tablas de Resultados de las estrategias de actualización de posición basadas en Quórum.**  
**Tasas de Exito**

**Estrategia 2**  
**Tasas de Inundación**

| p                | s | n=20  |       |       | n=50  |       |       | n=100          |       |       |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|
|                  |   | k=6   | k=7   | k=8   | K=6   | K=7   | k=8   | K=6            | K=7   | k=8   |
| 1                | 1 | 1.454 | 1.415 | 1.357 | 0.772 | 0.732 | 0.726 | 0.433          | 0.436 | 0.445 |
| 1                | 2 | 1.462 | 1.434 | 1.395 | 0.778 | 0.754 | 0.730 | 0.457          | 0.473 | 0.459 |
| 1                | 3 | 1.469 | 1.415 | 1.380 | 0.765 | 0.745 | 0.732 | 0.485          | 0.474 | 0.459 |
| 2                | 1 | 3.571 | 3.498 | 3.484 | 1.698 | 1.648 | 1.685 | 0.952          | 0.989 | 0.990 |
| 2                | 2 | 3.585 | 3.619 | 3.599 | 1.718 | 1.695 | 1.693 | 0.972          | 0.987 | 0.975 |
| 2                | 3 | 3.578 | 3.499 | 3.485 | 1.695 | 1.714 | 1.678 | 0.975          | 1.002 | 0.989 |
| 3                | 1 | 6.250 | 6.242 | 6.472 | 2.773 | 2.833 | 2.841 | 1.536          | 1.533 | 1.527 |
| 3                | 2 | 6.159 | 6.310 | 6.342 | 2.784 | 2.768 | 2.777 | 1.529          | 1.553 | 1.536 |
| 3                | 3 | 6.093 | 6.266 | 6.301 | 2.719 | 2.732 | 2.744 | 1.509          | 1.564 | 1.503 |
| <b>Promedios</b> |   | 3.746 |       |       | 1.738 |       |       | 0.990<br>2.158 |       |       |

**Estrategia 4**  
**Tasas de Inundación**

| p                | s | n=20  |       |       | n=50  |       |       | n=100          |       |       |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|
|                  |   | k=6   | k=7   | k=8   | K=6   | K=7   | k=8   | K=6            | K=7   | k=8   |
| 1                | 1 | 1.498 | 1.431 | 1.389 | 0.776 | 0.793 | 0.765 | 0.450          | 0.487 | 0.479 |
| 1                | 2 | 1.475 | 1.421 | 1.396 | 0.798 | 0.791 | 0.767 | 0.491          | 0.491 | 0.492 |
| 1                | 3 | 1.493 | 1.420 | 1.390 | 0.812 | 0.794 | 0.775 | 0.496          | 0.499 | 0.488 |
| 2                | 1 | 3.598 | 3.517 | 3.607 | 1.722 | 1.721 | 1.702 | 0.990          | 1.018 | 1.030 |
| 2                | 2 | 3.608 | 3.552 | 3.589 | 1.738 | 1.743 | 1.721 | 0.993          | 1.024 | 1.029 |
| 2                | 3 | 3.616 | 3.485 | 3.507 | 1.172 | 1.740 | 1.717 | 1.032          | 1.028 | 1.007 |
| 3                | 1 | 6.147 | 6.313 | 6.414 | 2.813 | 2.812 | 2.832 | 1.544          | 1.595 | 1.582 |
| 3                | 2 | 6.301 | 6.180 | 6.423 | 2.788 | 2.831 | 2.846 | 1.558          | 1.559 | 1.586 |
| 3                | 3 | 6.145 | 6.354 | 6.357 | 2.793 | 2.808 | 2.844 | 1.536          | 1.589 | 1.553 |
| <b>Promedios</b> |   | 3.764 |       |       | 1.756 |       |       | 1.023<br>2.181 |       |       |

**Estrategia 5**  
**Tasas de Inundación**

| p                | s | n=20   |        |        | n=50  |       |       | n=100          |       |       |
|------------------|---|--------|--------|--------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|
|                  |   | k=6    | k=7    | k=8    | K=6   | K=7   | k=8   | K=6            | K=7   | k=8   |
| 1                | 1 | 2.952  | 2.824  | 2.740  | 1.587 | 1.560 | 1.506 | 0.967          | 0.988 | 0.957 |
| 1                | 2 | 2.925  | 2.861  | 2.756  | 1.621 | 1.562 | 1.536 | 0.988          | 0.995 | 0.973 |
| 1                | 3 | 2.950  | 2.869  | 2.775  | 1.595 | 1.557 | 1.542 | 0.987          | 0.993 | 0.969 |
| 2                | 1 | 7.203  | 7.040  | 7.195  | 3.471 | 3.452 | 3.403 | 1.963          | 2.022 | 2.062 |
| 2                | 2 | 7.125  | 7.227  | 6.985  | 3.514 | 3.431 | 3.397 | 2.021          | 2.035 | 2.055 |
| 2                | 3 | 7.110  | 6.971  | 6.961  | 3.436 | 3.424 | 3.370 | 1.983          | 2.031 | 2.065 |
| 3                | 1 | 12.391 | 12.789 | 12.618 | 5.575 | 5.468 | 5.594 | 3.103          | 3.125 | 3.113 |
| 3                | 2 | 11.925 | 12.586 | 12.571 | 5.594 | 5.672 | 5.562 | 3.083          | 3.149 | 3.135 |
| 3                | 3 | 12.198 | 12.355 | 12.597 | 5.680 | 5.565 | 5.653 | 3.046          | 3.100 | 3.136 |
| <b>Promedios</b> |   | 7.463  |        |        | 3.531 |       |       | 2.039<br>4.344 |       |       |