



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

**DISEÑO Y DESEMPEÑO DE UN ALGORITMO DE PRIVACIDAD
GEOGRÁFICA EN REDES INALÁMBRICAS**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA:
Julio Cesar Castor Díaz

TUTOR
Dr. Javier Gómez Castellanos Facultad de Ingeniería

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., DIC 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Sinodales:

Dr. Javier Gómez Castellanos

Dra. María Elena Lárraga Ramírez

Dr. Víctor Rangel Licea

Dr. Jorge Luis Ortega Arjona

Dr. Michael Pascoe Chalke

Agradecimientos

Agradezco el apoyo brindado a cada una de las personas que laboran en el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En particular al Dr. Javier Gómez Castellanos por su constante apoyo para realizar este trabajo.

Por último, agradezco el apoyo económico brindado por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el apoyo recibido dentro del proyecto PAPIIT IN-117017.

Resumen

En los últimos años se han realizado varios trabajos para ubicar nodos móviles dentro de una topología de red. Generalmente, hay dos formas de obtener la ubicación de un nodo móvil, la primera es que el mismo nodo móvil envíe su posición como sucede cuando se consulta a los sistemas de información basados en la localización, y la segunda forma es cuando la red estima la ubicación del nodo móvil empleando para ello un conjunto de nodos de red que escuchan las transmisiones del nodo móvil. En este último escenario la privacidad geográfica del nodo móvil puede estar comprometida pues puede estar siendo localizado sin su autorización. Para dicho escenario se realiza la pregunta en esta tesis, ¿Es posible que un nodo móvil atraviese un campo sensado por varios nodos de red siendo localizado con el mayor error posible?

En esta tesis se propone un algoritmo de privacidad geográfica que incrementa el error de localización estimado por la red cuando el nodo móvil se desplaza de un lugar a otro. El algoritmo propuesto calcula la trayectoria del nodo móvil de tal forma que se eviten regiones de alta concentración de nodos de red, lo cual se traduce en un mayor error de localización. El algoritmo propuesto se ejecuta exclusivamente en el nodo móvil (sin intervención de los nodos de red). Primeramente, el nodo móvil estima el número y posición de los nodos de red a su alcance de transmisión. Posteriormente, similar que en [1], el algoritmo hace uso de nodos virtuales alrededor de cada nodo de red. Una vez detectados los nodos virtuales, se calcula el cierre convexo de los puntos para después obtener el centroide de cada polígono resultante. Dichos centroides se integran al conjunto de nodos de red para crear un diagrama de Voronoi cuyas aristas representan posibles rutas del nodo móvil. Por último, y al igual que en [9], el nodo móvil atraviesa el campo sensado por los nodos de red utilizando el algoritmo de ruteo Greedy-Compass para llegar a la posición destino.

El algoritmo de privacidad geográfica se programó en MATLAB con el fin de evaluar su desempeño bajo diferentes parámetros de operación. Para ello se utilizaron 3 escenarios diferentes con distintas condiciones de la topología de red. Los resultados obtenidos mostraron que el algoritmo de privacidad geográfica es capaz de evitar regiones donde el nodo móvil está expuesto a 2 o más nodos de red, incrementando de esta manera el error de posición estimado por la red.

	Pág.
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Lista de figuras	VII
Lista de algoritmos	VIII
Lista de tablas	IX
Lista de gráficas	X
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Hipótesis.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Contribución	2
1.5 Estado del Arte	3
1.6 Descripción del Contenido	5
1.6.1 Capítulo 1.....	5
1.6.2 Capítulo 2.....	5
1.6.3 Capítulo 3.....	6
1.6.4 Capítulo 4.....	6
1.6.5 Capítulo 5.....	6
CAPITULO 2 ALGORITMOS CON APLICACIONES EN REDES INALÁMBRICAS. .	8
2.1 Algoritmo Graham para Cierre Convexo	9
2.2 Algoritmo de Agrupamiento Espacial Basado en Densidad en Aplicaciones con Ruido	10
2.3 Diagramas de Voronoi	12
2.4 Algoritmos de Ruteo Online Greedy-Compass	14
2.4.1 Algoritmo Greedy	14
2.4.2 Algoritmo Compass.....	15
2.4.3 Algoritmo Greedy-Compass	15
CAPITULO 3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE ALGORITMO DE PRIVACIDAD GEOGRÁFICA. 18	
3.1 Nodos Virtuales	18

3.2	Detección de áreas con exposición de dos o más nodos de red	19
3.3	División de espacio Euclidiano	22
3.4	Trayectoria del nodo móvil	23
CAPITULO 4 PRUEBAS Y RESULTADOS.....		26
4.1	Poca Densidad de Nodos de Red	27
4.2	Densidad Media de Nodos de Red.....	28
4.3	Alta densidad de Nodos de Red	39
CAPITULO 5 CONCLUSIONES		49
5.1	Trabajo futuro.....	50
REFERENCIAS		51

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1. Pre-ordenamiento de conjunto de puntos, sentido de giro y cálculo de ángulo entre tres puntos para cálculo de cierre convexo mostrados. (Figuras provenientes de [13]).....</i>	9
<i>Figura 2. Puntos del algoritmo DBSCAN. Si $6 \geq \text{MinPts} \geq 4$, el punto A es un nodo central, B es un punto borde y C es un punto ruido. (Figura proveniente de [15])</i>	11
<i>Figura 3. Diagrama de Voronoi y sus propiedades. (Figura obtenida de [12])</i>	13
<i>Figura 4. Línea de barrido, línea de playa, evento nodo nuevo y evento vértice o evento círculo. (Figura obtenida de [12])</i>	13
<i>Figura 5. Triangulación que vence el algoritmo de ruteo Greedy. (Figura obtenida de [2]).....</i>	15
<i>Figura 6. Triangulación que vence al algoritmo de ruteo Compass. (Figura obtenida de [2]).....</i>	15
<i>Figura 7. Algoritmo híbrido de ruteo Greedy-Compass. (Figura obtenida de [2])</i>	15
<i>Figura 8. Proceso del algoritmo de privacidad geográfica.</i>	18
<i>Figura 9. Dos nodos de red localizados por un nodo móvil. Cada nodo de red tiene un círculo que representa el rango de cobertura con 5 nodos virtuales cada uno.....</i>	19
<i>Figura 10. Entrada del algoritmo de agrupamiento por densidad de 5 nodos virtuales (círculos negros y círculos de colores) por cada nodo de red (círculos grises). Los nodos virtuales de colores representan la salida del algoritmo de agrupamiento.</i>	20
<i>Figura 11. Entrada del algoritmo de agrupamiento por densidad de 7 nodos virtuales (círculos negros y círculos de colores) por cada nodo de red (círculos grises). Los nodos virtuales de colores representan la salida del algoritmo de agrupamiento.</i>	20
<i>Figura 12. Resultado del algoritmo de agrupamiento por densidad con 9 nodos virtuales por nodo de red. .</i>	21
<i>Figura 13. Calculo de centroide y cierre convexo de cada uno de los clústeres identificados por el algoritmo DBSCAN.....</i>	22
<i>Figura 14. Algoritmo de ruteo en línea sobre diagrama de Voronoi de los nodos de red y nodos fantasma. .</i>	23
<i>Figura 15. Primer escenario con 3 nodos de red.....</i>	27
<i>Figura 16. Trayectoria de móvil en una topología de 50 nodos de red con alta densidad</i>	40

Lista de algoritmos

Pág.

<i>Algoritmo 1. Algoritmo Graham de Cierre Convexo.</i>	<i>10</i>
<i>Algoritmo 2. Algoritmo de Agrupamiento Espacial Basado en Densidad en Aplicaciones con Ruido.</i>	<i>11</i>
<i>Algoritmo 3. Algoritmo de Diagrama de Voronoi.</i>	<i>13</i>
<i>Algoritmo 4. Algoritmo Greedy-Compass.</i>	<i>16</i>
<i>Algoritmo 5. Algoritmo para detección de coberturas en una red inalámbrica.</i>	<i>24</i>

Lista de tablas

Pág.

<i>Tabla 1. Resumen de resultados obtenidos en la prueba de la topología de red con poca densidad.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2. Bosquejo de pruebas de la topología de red con densidad moderada variando los nodos virtuales.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3. Continuación del bosquejo de topología de red con densidad moderada variando nodos virtuales.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4. Resumen de resultados obtenidos con topología de red moderadamente densa (Topología de 8 nodos de red).</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5. Bosquejo de pruebas de la topología de red con densidad moderada variando los nodos virtuales.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6. Continuación del bosquejo de topología de red con densidad moderada variando nodos virtuales.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7. Resumen de resultados obtenidos con topología de red moderadamente densa (Topología de 35 nodos de red).</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 8. Bosquejo de pruebas de la topología de red con alta densidad variando los nodos virtuales.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 9. Continuación del bosquejo de topología de red con densidad moderada variando nodos virtuales.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10. Resumen de resultados obtenidos con topología de red moderadamente densa (Topología de 20 nodos).</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11. Bosquejo de pruebas de la topología de red con alta densidad variando los nodos virtuales.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 12. Continuación del bosquejo de topología de red con densidad moderada variando nodos virtuales.</i>	<i>46</i>

Lista de gráficas

Pág.

<i>Gráfica 1. Gráfica de comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales.</i>	<i>31</i>
<i>Gráfica 2. Tasa de detección de regiones con cobertura durante la trayectoria del nodo móvil.</i>	<i>34</i>
<i>Gráfica 3. Gráfica de comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales.</i>	<i>37</i>
<i>Gráfica 4. Tasa de detección de regiones con cobertura durante la trayectoria del nodo móvil.</i>	<i>39</i>
<i>Gráfica 5. Gráfica del comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales.</i>	<i>42</i>
<i>Gráfica 6. Tasa de detección de regiones con cobertura durante la trayectoria del nodo móvil.</i>	<i>45</i>
<i>Gráfica 7. Gráfica de comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales</i>	<i>48</i>

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

El presente proyecto de tesis pretende responder a la pregunta ¿Es posible que un nodo móvil atraviese un campo sensado inalámbricamente sin ser detectado por la red? La respuesta a esta pregunta relaciona dos puntos que aparentemente no están relacionados, pero para fines del presente trabajo serán vinculados.

El primer punto a considerar es la localización de un nodo móvil cuando la cobertura en redes inalámbricas es de por lo menos 3 nodos de red. El algoritmo llamado Ghost, el cual es un método basado en diagramas de Voronoi, es capaz de seguir a un nodo móvil aun cuando éste es detectado por menos de tres nodos de red[1]. En el mismo trabajo se presenta el algoritmo *Estimated Self Location* (ESL, por sus siglas en inglés), que es capaz de emular desde la perspectiva del nodo móvil, como la red estima la posición del nodo móvil dentro de un campo sensado inalámbricamente, incluso cuando el nodo móvil es detectado por 1 o 2 nodos de red. Cabe señalar que ESL solo calcula la localización del móvil, pero no evita pasar por regiones donde la red calcula la ubicación del nodo móvil de manera muy precisa, es decir, donde el nodo móvil es detectado por 3 o más nodos de red.

Por otro lado, está el aspecto de elegir la mejor ruta sobre un campo sensado inalámbricamente donde no necesariamente se tiene información acerca de la topología de red. Para este tipo de problemas los algoritmos de ruteo online están basados en nociones como distancia y dirección para llegar de un origen a un destino. Con el propósito de atravesar dicha región monitoreada se tienen 2 consideraciones, que, a menor exposición, el camino es mejor y que a menor longitud del camino, la ruta es mejor. Algoritmos como Compass, Greedy y el híbrido Compass-Greedy son algunos ejemplos que se describen en [2].

En este trabajo de tesis se propone implementar un algoritmo híbrido, combinando un algoritmo de ruteo y un algoritmo de localización, en el cual un nodo móvil sea capaz de estimar la mejor ruta para atravesar un área sensada por nodos de red, evitando pasar

por áreas donde la exposición está dada por 3 o más nodos de red. De esta manera, el nodo móvil evitará que, algoritmos de localización como Ghost, detecte con mayor exactitud su ubicación. Durante su recorrido, el nodo móvil puede estimar el error de localización calculada por la red con el algoritmo ESL considerando áreas con mayor error como los lugares para poder transmitir sin ser localizado. Implementado ambos algoritmos, el nodo móvil podrá tomar la mejor decisión para transmitir o no transmitir datos con el fin de aumentar el error con el que la red lo está ubicando.

1.2 Hipótesis

La hipótesis principal de esta tesis es que: “Dado un nodo móvil con receptor GPS y una red monitoreada inalámbricamente capaz de calcular la posición del nodo móvil, es posible que el nodo móvil atraviese dicha región estimando y detectando regiones cuya cobertura es de 2 o más nodos de red con el fin de evitar dichas regiones, de tal manera que la red calcule su ubicación actual con mayor error”. Suponemos que tanto los nodos de red como el nodo móvil son capaces de medir la potencia de una señal recibida, y por ende estimar la distancia entre su posición geográfica y el origen de dicha señal.

1.3 Objetivos

Diseñar un algoritmo que estime y detecte regiones dentro de un campo sensado (red inalámbrica) donde hay cobertura de 2 o más nodos de red. Evitando que un nodo móvil sea detectado con mayor exactitud. Para incrementar el error de localización geográfica calculado por la red inalámbrica se consideran el siguiente principio:

- Modificar la trayectoria del nodo móvil con el propósito de evitar la detección de 3 o más nodos de red con una topología de red previamente conocida.

1.4 Contribución

- En este trabajo de tesis se introduce el concepto de anti-detección en redes inalámbricas o campos sensados. Se considera que un nodo móvil no es detectado por la red, si su error de localización estimado por un algoritmo de estimación geográfica (Ghost/ESL) es muy superior comparado con el escenario cuando el nodo móvil atraviesa regiones donde la cobertura es de 3 nodos de red.

- Se propone un algoritmo capaz de atravesar una red inalámbrica, donde la mejor ruta es considerada por dos criterios. Primero, evitar el mayor número de regiones donde la exposición del nodo móvil es de 3 o más nodos de red y segundo, que la longitud del camino sea la más corta.
- Se presenta una nueva técnica para dividir el espacio Euclidiano con el uso de nodos virtuales y el uso de un algoritmo de agrupamiento por densidad (algoritmo DBSCAN) con el fin de crear diagramas de Voronoi cuyas aristas son los caminos para evitar regiones con cobertura de más de 2 nodos de red.
- Se expone una aplicación para los algoritmos de ruteo online en redes inalámbricas sobre diagramas de Voronoi.

1.5 Estado del Arte

Existen algoritmos que explotan las estructuras geométricas para la operación y diseño de redes inalámbricas. Vale la pena mencionar que las técnicas geométricas clásicas asumen información geométrica precisa como, por ejemplo, la localización de nodos que normalmente carece en las implementaciones u operaciones, entre otras aplicaciones.

Existe 4 tipos de algoritmos geométricos para su operación en redes inalámbricas: localización de nodos, ruteo geométrico, descubrimiento de información y ruteo para la concentración de datos, y descubrimiento de topología de red. Por la naturaleza de la tesis, solo se describirán trabajos relacionados correspondientes a la localización de nodos y ruteo geométrico.

- Localización de nodos:

El problema que encaran estos algoritmos, es el descubrir la posición de nodos de red o nodos sensores. Un método tradicional para obtener información de la localización de un nodo es el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning Systems)[3]. Pero el GPS no es apropiado a gran escala debido a su costo, y los factores ambientales, además que no funciona en ambientes indoor, es decir, ambientes dentro de alguna estructura, lugares subterráneos o bajo del agua. Moore en [4] propuso el uso de cuadriláteros robustos (robust quadrilaterals), como componentes principales para la estimación de la localización de nodos dentro de la red, seleccionando 3 de 4 nodos que componen el grafo que sean casi co-lineales para localizar el nodo eliminando la ambigüedad mediante giros (flip ambiguous). Otro método similar para localización de

nodos dentro de la red se describe en [5], Doherty utiliza las intersecciones de las regiones donde hay cobertura de 2 y 3 nodos de red para generar un convexo. El rectángulo que se genera es la posible ubicación del nodo objetivo y el centro de dicho rectángulo es la posición del nodo objetivo. Por lo tanto, mientras más estrecho sea el rectángulo menor es el error de localización. García en [1], desarrolla un algoritmo para la detección de nodos de red desde dos perspectivas, la de la red y la del móvil. Este trabajo lo desarrolla basándose en nodos virtuales alrededor de los nodos de red, usando diagramas de Voronoi para reducir el error de localización del nodo móvil.

Por otra parte, para los algoritmos de ruteo geométrico se describen los siguientes trabajos relacionados.

- Ruteo Geométrico:

Uno de los inconvenientes en el ruteo geométrico es la elección de la ruta, ya que se debe tener información acerca del camino que el paquete debe tomar para llegar a su destino. En [6], se describe un método de ruteo en el cual el nodo o paquete avanza a partir de la comparación de la distancia euclidiana desde su ubicación actual y el destino, considerando la información de sus vecinos inmediatos. Además, en [2][7][8] se describe un algoritmo llamado compass routing el cual utiliza ángulos entre aristas dentro de un grafo para poder llegar a su destino. En [2], Morin realiza una clasificación de algoritmos de ruteo en vivo (Online routing algorithm) utilizando dividiendo el espacio euclidiano mediante triangulaciones y regiones convexas. Los algoritmos en vivo o en línea comparten la característica de no tener información acerca de la topología y realizan pruebas sobre todo tipo de triangulaciones y convexos.

Aunado a los algoritmos de ruteo y la localización de nodos, en [9][10] se presentan una recopilación de los algoritmos de ruteo (greedy, compass, random compass, most forwarding y greedy-compass) sobre un campo sensado. Dicho campo se caracteriza por construir un diagrama de Voronoi utilizando los nodos de red, dividiendo el espacio euclidiano en polígonos de modo que utiliza sus aristas como una posible ruta.

Por último en [11], se clasifican los algoritmos geométricos por medio del tipo de aplicación en redes inalámbricas.

1.6 Descripción del Contenido

Para alcanzar los objetivos anteriores, se utilizan conceptos de geometría computacional, como el algoritmo de cierre convexo y el algoritmo de diagramas de Voronoi para la división del espacio euclidiano con el fin de obtener los “caminos o rutas” para que un nodo móvil pueda desplazarse. Además, se incluye el algoritmo de agrupamiento por densidad DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) con uso en la minería de datos para localizar las regiones con cobertura de 2 o más nodos. Con lo anterior, se hará uso de algoritmos de ruteo online sobre graficas geométricas. Los algoritmos de ruteo online están basados en nociones de distancia y dirección para llegar de un lugar a otro. Estos algoritmos conjuntados forman parte del algoritmo de privacidad geográfica y son implementados en el lenguaje de programación MATLAB. Este trabajo se presenta de la siguiente manera:

1.6.1 Capítulo 1

En el presente capítulo se introdujo el problema de anti detección el cual es estudiado en esta tesis. Asimismo, se introdujeron los objetivos para resolver el problema de atravesar un campo monitoreado inalámbricamente sin ser detectado un nodo móvil mediante algoritmos de ruteo en graficas planas, algoritmos de agrupamiento por densidad en minería de datos y conceptos de geometría computacional.

1.6.2 Capítulo 2

En el capítulo 2 se describen los principales algoritmos usados en el trabajo de tesis. Algoritmos de cierre convexo y diagramas de Voronoi son conceptos del área de Geometría Computacional. Otro algoritmo utilizado que es descrito en este capítulo es el algoritmo DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*), el cual ayuda a la división del espacio Euclidiano. Por último, se introduce los algoritmos de ruteo basados en las nociones de distancia y dirección. Algunos de estos algoritmos ya han sido estudiados previamente, por lo cual se hace un análisis para saber los límites de dichos algoritmos sobre graficas geométricas como los Diagramas de Voronoi o en la Triangulación de Delaunay. Esto permite que las aristas del diagrama de Voronoi sirvan como posibles rutas evitando coberturas de más de 3 nodos de red.

1.6.3 Capítulo 3

En el tercer capítulo, se introduce el algoritmo propuesto de tal forma que un nodo móvil atraviesa un campo sensado que pueda detectar y evitar regiones donde el error de ubicación es bajo en presencia de muchos nodos de red. En este capítulo se describe la técnica de nodos virtuales y la implementación del algoritmo de agrupamiento de puntos por densidad DBSCAN. Estas dos técnicas permitirán crear un diagrama de Voronoi con el fin de utilizar las aristas obtenidas como los posibles caminos para llegar al lugar objetivo. El algoritmo obtiene una ruta considerando la menor distancia Euclidiana y menos número de vértices del diagrama de Voronoi visitados.

1.6.4 Capítulo 4

En este capítulo se describirán los resultados experimentales que se realizaron con el algoritmo híbrido descrito en este trabajo de tesis. Se considerarán 3 distintas topologías para evaluar el desempeño del algoritmo. Estos escenarios son con poca, moderada y mucha saturación de nodos de red en el campo sensado.

1.6.5 Capítulo 5

En el último capítulo se presentan las conclusiones generales y el trabajo a futuro.

CAPITULO 2

ALGORITMOS CON APLICACIONES EN REDES INALÁMBRICAS.

En este apartado se introduce los algoritmos utilizados para el desarrollo del algoritmo de privacidad geográfica, con el fin de obtener información de red para alcanzar el objetivo de investigación. Dicha información por sí sola no tiene sentido para el nodo móvil, lo cual requiere de algoritmos de 3 áreas distintas para operar. Una de las áreas es la Geometría Computacional, que es una rama de las ciencias de la computación que se encarga del diseño y análisis de algoritmos que implican como entrada y salida objetos geométricos. La investigación en esta área ha encontrado diversas aplicaciones, como en robótica, reconocimiento de patrones, diseño gráfico, sistemas de información geográfica y redes inalámbricas. Además de los algoritmos geométricos, se utiliza un algoritmo de clustering, este tipo de técnicas pertenecen al de Minería de Datos que son usados para encontrar segmentaciones e información de los datos. Por último, los algoritmos de ruteo en línea son utilizados en problemas donde el conocimiento del camino está incompleto y el vehículo, robot, paquete o móvil debe encontrar la forma de aprender el camino.

A partir de un conjunto de N nodos de red esparcidos en R^2 , situados en algún punto p con coordenadas (x, y) . Se asume que el rango de transmisión es uniforme, es decir, los nodos de red radian de forma omni-dimensional. Un nodo móvil m puede recibir la señal de un nodo de red r si y solo si el nodo m se encuentra dentro del rango del nodo emisor r . Además, se asume que los nodos móviles son capaces de detectar los nodos de red vecinos al escuchar los paquetes que son transmitidos, así como de estimar la distancia entre su posición actual con la de cada nodo de red (mediante el uso de métodos de estimación de distancia basados en la potencia de la señal recibida). El algoritmo asume que los nodos móviles pueden estimar la distancia de la posición actual v_{act} a la posición que desea llegar v_{dst} .

Los nodos móviles requieren conocer la ubicación de los nodos de red, por lo cual la interfaz inalámbrica del nodo móvil debe operar en modo escucha para localizar a los nodos de red vecinos. A continuación, se detallan los componentes que son utilizados por el algoritmo propuesto.

2.1 Algoritmo Graham para Cierre Convexo

El algoritmo Graham para cierre convexo calcula una envolvente convexa a partir de un conjunto puntos P previamente ordenados. Existen convexos que no son poligonales, pero la envolvente convexa de una nube de puntos siempre es un polígono. El algoritmo de Graham construye una lista que serán, los puntos que constituyen el cierre convexo, eliminando los que no pertenecen a la envolvente convexa[12].

El algoritmo de cierre convexo analiza el conjunto en tripletas de tres puntos, p_{i-1}, p_i, p_{i+1} , empezando por el punto con menor valor en el eje y . Graham analiza los puntos mediante giros (Figura 1), esto se obtiene mediante una operación de producto cruz[13].

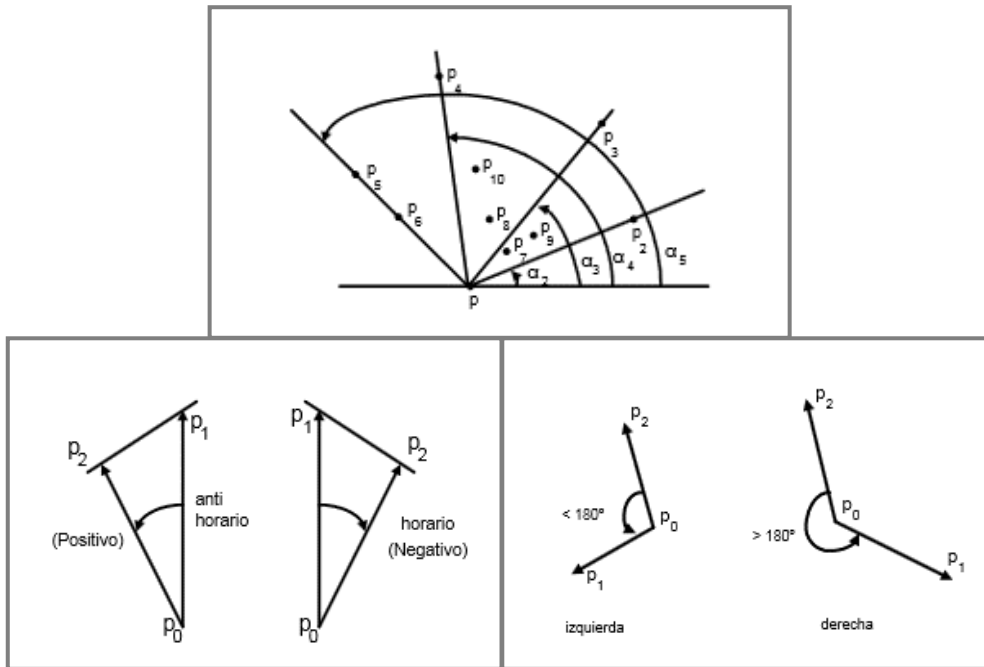


Figura 1. Pre-ordenamiento de conjunto de puntos, sentido de giro y cálculo de ángulo entre tres puntos para cálculo de cierre convexo mostrados. (Figuras provenientes de [13])

El costo computacional del algoritmo Graham para el cierre convexo es de $O(n \log n)$ debido al pre-ordenamiento. A continuación, se describe el algoritmo.

ALGORITMO GRAHAM – CIERRE CONVEXO(P)

1. Se selecciona el punto más bajo en la coordenada y como punto inicial.
 2. Ordenar todos puntos del conjunto P de acuerdo al ángulo desde la horizontal.
 3. Examinar los puntos por tripleta p_{i-1}, p_i, p_{i+1} y descartar aquellos que no están en el cerco convexo hasta llegar al punto de inicio.
 4. Si la tripleta da giro a la izquierda se avanza un vértice y se comprueba p_{i-1}, p_i, p_{i+2} .
 5. Si la tripleta no es un giro a la izquierda, el punto se elimina y se avanza un vértice.
-
-

Algoritmo 1. Algoritmo Graham de Cierre Convexo.

2.2 Algoritmo de Agrupamiento Espacial Basado en Densidad en Aplicaciones con Ruido

El algoritmo de agrupamiento DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) es una forma general de dividir conjuntos de objetos en grupos de objetos similares llamados clústeres[14], de tal modo que los objetos pertenecientes a un mismo cluster son más similares que objetos de otros clusters. Para realizar el agrupamiento de objetos, es necesario determinar cuándo dos objetos del espacio son “parecidos” y cuando no. Para el caso del algoritmo DBSCAN la característica común es la densidad de puntos, por lo que el algoritmo de agrupamiento localiza zonas de alta densidad separadas por regiones de baja densidad. DBSCAN clasifica de tres formas un conjunto de puntos que a continuación se describen.

Se comienza seleccionando un punto arbitrario t , si t es un punto central, se comienza a construir un clúster alrededor de él. Este proceso se realiza descubriendo componentes densamente conectados, si no es un punto central, se visita otro punto del conjunto de puntos P . Un punto central (*core point*) debe cumplir la propiedad de que, en su vecindad, con radio épsilon (Eps), debe contener un número de puntos mayor o igual al umbral $MinPts$. Un punto borde (*border point*), tiene menos puntos que $MinPts$ en su vecindad, pero pertenece a la vecindad de un punto central. El punto ruido (*noise point*) es aquel que no es central ni borde.

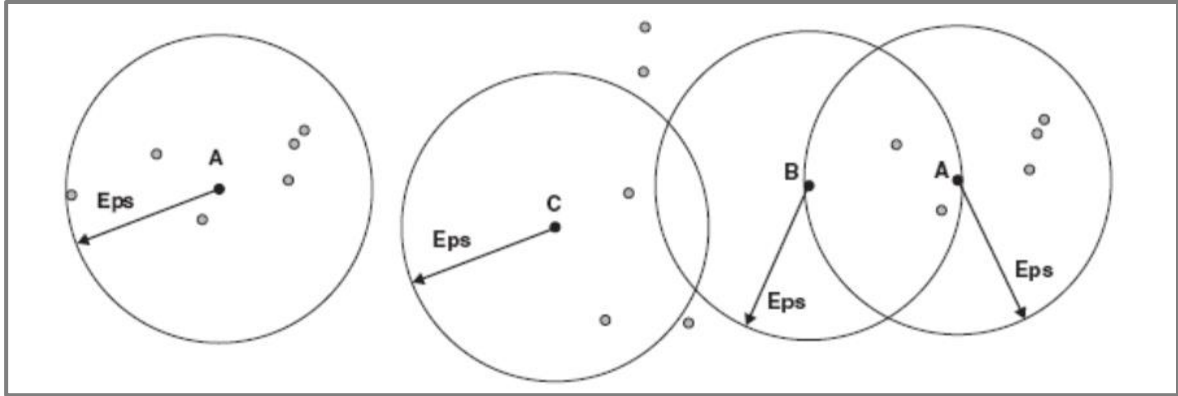


Figura 2. Puntos del algoritmo DBSCAN. Si $6 \geq \text{MinPts} \geq 4$, el punto A es un nodo central, B es un punto borde y C es un punto ruido. (Figura proveniente de [15])

Un punto q es densamente alcanzable desde un punto central t si q pertenece a la vecindad de t y existe una cadena de puntos t_0, t_1, \dots, t_n , de tal forma que t_{i-1} es densamente alcanzable desde t_i , para toda $1 \leq i \leq n$ donde $t_0 = q$ y $t_n = t$.

En consecuencia, los puntos centrales se localizan en regiones donde la densidad de puntos es alta, los puntos bordes en la frontera de regiones densas y los puntos ruido en regiones poco densas. El tiempo de procesamiento del algoritmo DBSCAN es de $O(n \log n)$ para el mejor de los casos y de $O(n^2)$ en el peor de los casos[15]. A continuación, se describe el pseudocódigo del algoritmo DBSCAN.

ALGORITMO DBSCAN (P, Eps, MinPts)

1. Selecciona aleatoriamente un punto t .
2. Si t es un punto central, empieza a construir una agrupación alrededor de t con los puntos que son densamente alcanzables desde t .
3. Si t es un punto borde o ruido, se revisa el siguiente punto.
4. Si todos los puntos han sido revisados, termina; si no, vuelve al paso 1.

Algoritmo 2. Algoritmo de Agrupamiento Espacial Basado en Densidad en Aplicaciones con Ruido.

2.3 Diagramas de Voronoi

El diagrama de Voronoi de un conjunto de objetos P consiste en la subdivisión del plano en regiones tales que todos los puntos de cada región están más cerca del nodo al que está asociado[12]. El diagrama de Voronoi permite dividir una región en polígonos que dependen de la configuración de los puntos muestreados. Si los datos son esparcidos de forma regular, entonces el diagrama se constituirá de polígonos cuadrados. Si los puntos están espaciados irregularmente se produce un arreglo de áreas poligonales irregulares. La complejidad computacional del diagrama de Voronoi es de $O(n \log n)$ usando un método óptimo de línea de barrido llamado Fortune. El diagrama de Voronoi tiene propiedades para su construcción que, a continuación, se mencionan.

1. Las regiones del diagrama de Voronoi son convexas o infinitas. (Figura 3)
2. La unión de las regiones de Voronoi es el plano.
3. Cualquier circunferencia con centro en un punto p dentro una región de Voronoi y un radio de p al nodo de dicha región, el punto p yace en el interior de la región.
4. Si se toma un punto p como punto del plano y se traza una circunferencia y toca dos nodos del diagrama de Voronoi, el punto p es un punto de una arista de Voronoi, dicha arista es equidistante los nodos de dos regiones de Voronoi. (Figura 3).
5. Si se toma un punto p como punto del plano y se traza una circunferencia y toca tres nodos del diagrama de Voronoi, el punto p es un vértice del Diagrama de Voronoi, es decir, la intersección de tres o más aristas del diagrama. El vértice tiene la propiedad de ser equidistante. (Figura 3)
6. Si n representa el número de sitios, entonces el Diagrama de Voronoi es un grafo plano con exactamente n caras.

El algoritmo Fortune utiliza una línea de playa, un evento nodo y un evento vértice. La línea de barrido (Figura 4) consiste en recorrer todos los nodos de arriba hacia abajo, y la línea de playa es el conjunto de parábolas formadas por los nodos encontrados y la línea de barrido. Las parábolas que se forman se hacen menos anchas cuando el nodo está más cerca de la línea de barrido y más anchas conforme la línea de barrido se aleja.

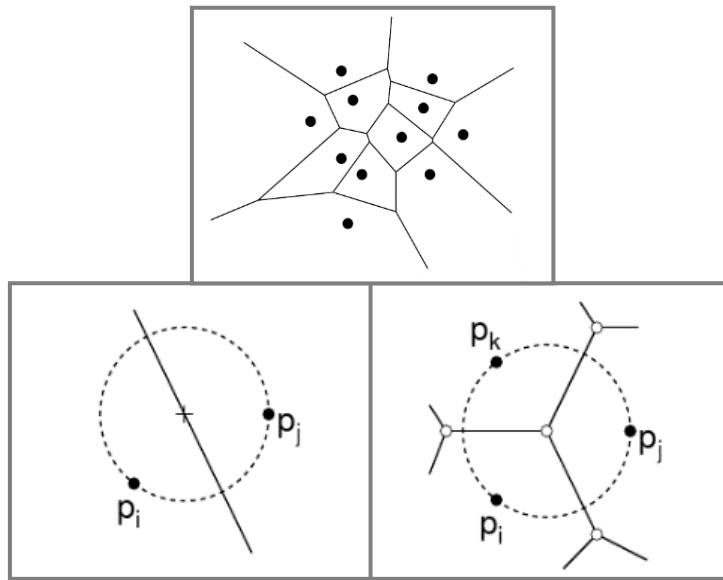
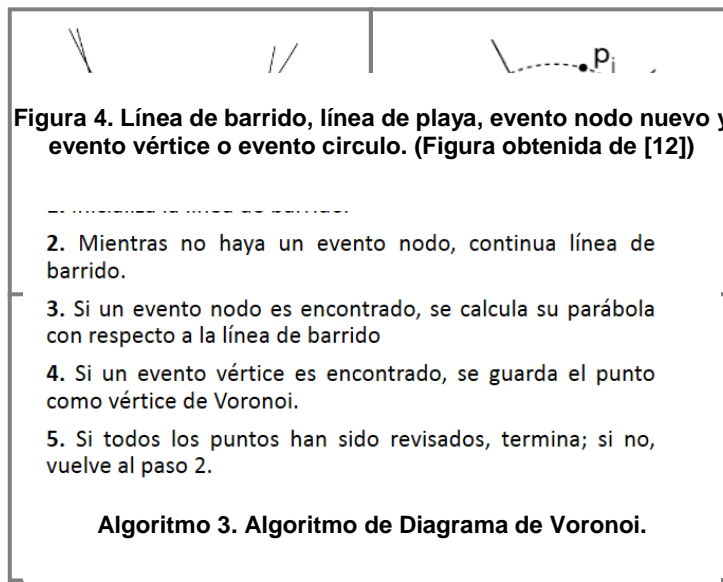


Figura 3. Diagrama de Voronoi y sus propiedades. (Figura obtenida de [12])



Un punto
arcos o

donde dos
parábolas de

la línea de playa se intersectan se llama punto de corte. Este punto es equidistante de dos nodos y de la línea de barrido, por lo tanto, este punto de intersección pertenece a alguna arista del diagrama de Voronoi. En cuanto al evento nodo (Figura 4), quiere decir que la línea de barrido pasa sobre un nuevo nodo, lo que hará que se forme una nueva parábola. El evento vértice (Figura 4), también llamados eventos círculo, se presentan cuando una de las parábolas se desvanece. Esto quiere decir que la propiedad 5 listada anteriormente se presenta, por lo que un nuevo vértice de Voronoi es creado en el mismo punto. A continuación, se muestra el pseudocódigo del algoritmo.

2.4 Algoritmos de Ruteo Online Greedy-Compass

Existen dos aspectos usados frecuentemente en el estudio de algoritmos de ruteo, la distancia y la dirección. Además, se da una clasificación de algoritmos de ruteo online basados en el uso de memoria y aleatoriedad[2]. Los algoritmos de ruteo usados en esta tesis entran dentro de la clasificación de ser determinista y sin memoria, es decir, que el nodo que va a ser visitado desde el vértice v actual depende solo de v y de su vecindad $N(v)$. La característica distintiva del algoritmo sin memoria es que si se visita el mismo vértice dos veces entonces han fallado ya que están atrapados en un bucle. En un sentido intuitivo, las triangulaciones son la forma más estructurada de un gráfico plano por lo tanto es natural representar entradas más sencillas para los algoritmos de ruteo.

El algoritmo Greedy-Compass, es un algoritmo híbrido de ruteo que describe el movimiento o desplazamiento de un objeto (para el presente trabajo un nodo móvil) desde un punto s (source) a un punto t (target) entre vértices con el propósito de alcanzar su objetivo.

2.4.1 Algoritmo Greedy

El algoritmo Greedy siempre mueve el objeto o nodo móvil situado en el nodo v con destino t al vecino u que minimice la distancia $dist(u, t)$. En caso de empate, se selecciona el vértice vecino de forma arbitraria[2]. El algoritmo se define con la siguiente ecuación:

$$gdy(v, N(v), t) = u_i \in N(v) : dist(u_1, t) \leq dist(u_2, t) \text{ para toda } u_i \in N(v)$$

El algoritmo greedy puede no funcionar en triangulaciones que se muestran en la Figura 5.

2.4.2 Algoritmo Compass

El algoritmo Compass siempre mueve el objeto o nodo móvil situado en el nodo v con destino t al vecino u que minimice el ángulo $\sphericalangle u, v, t$. En caso de empate, se selecciona el vértice vecino de forma arbitraria [7]. El algoritmo se define con la siguiente ecuación:

$$cmp(v, N(v), t) = u_i \in N(v) \sphericalangle u_1, v, t. \leq \sphericalangle u_2, v, t. \text{ para toda } u_i \in N(v)$$

Inicialmente, se cree que el algoritmo Compass siempre se puede usar para encontrar la ruta entre dos puntos en una triangulación, aunque la Figura 6 muestra una triangulación que anula el algoritmo Compass.

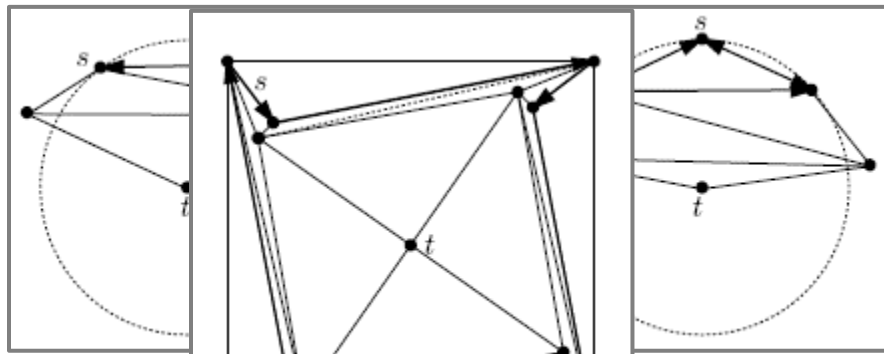


Figura 5. Triangulación que vence el algoritmo de ruteo Greedy. (Figura obtenida de [2])



Figura 6. Triangulación que vence al algoritmo de ruteo Compass. (Figura obtenida de [2])

2.4.3 Algoritmo Greedy-Compass

Al existir triangulaciones que anulen el funcionamiento de algoritmos Greedy y Compass, se tiene la necesidad de combinar ambos algoritmos resultando un híbrido llamado

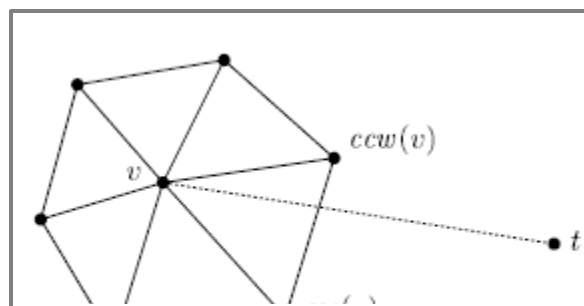


Figura 7. Algoritmo híbrido de ruteo Greedy-Compass. (Figura obtenida de [2])

Greedy-Compass que se basa en la distancia y la dirección. El algoritmo Greedy-Compass entra en la clasificación de algoritmo de ruteo sin memoria que no es anulado por ninguna triangulación.

Denotamos $CN(v)$ (compass neighbor) como la vecindad de v , se compone del vértice que minimiza el ángulo $cw(v) = \angle(t, v, u_1)$ en sentido de las manecillas del reloj y el vértice que minimiza el ángulo $ccw(v) = \angle(t, v, u_2)$ en sentido contrario a las manecillas del reloj. Por lo cual $CN(v) = \{cw(v), ccw(v)\}$.

El algoritmo Greedy-Compass mueve el objeto o el nodo móvil situado en el vértice v al conjunto $CN(v)$, considerando que la $dist(v, u)$ es mínima como se muestran en la Figura 7. El algoritmo Greedy-Compass se define con la siguiente función de transición:

$$gc(v, N(v), t) = u \in CN(v): dist(u_1, t) \leq dist(u_2, t)$$

ALGORITMO GREEDY-COMPASS(P)

1. Se calcula el $cw(v)$ y el $ccw(v)$ del vértice donde esta localizado el objeto o nodo móvil.
 2. Se calcula la distancia de $cw(v)$ y el $ccw(v)$ con respecto al punto objetivo t .
 3. El objeto o nodo móvil se desplaza al $CN(v)$ cuya distancia es mínima al vértice t .
 4. Si el punto al que se desplaza es el punto t , termina; si no, vuelve al paso 1.
-
-

Algoritmo 4. Algoritmo Greedy-Compass.

Una vez que se han introducido los conceptos de los algoritmos utilizados para alcanzar el algoritmo híbrido propuesto, en el siguiente capítulo se describe a detalle el algoritmo de privacidad geográfica para su comprensión.

CAPITULO 3

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE ALGORITMO DE PRIVACIDAD GEOGRÁFICA.

Existen técnicas para la localización de nodos móviles en un campo sensado por medio de 3 o más nodos de red. El presente capítulo se introduce el algoritmo de privacidad geográfica basado en los diagramas de Voronoi y el algoritmo DBSCAN, el cual, detecta clúster por densidad de puntos. DBSCAN estima posibles áreas o polígonos donde un nodo móvil es detectado por más de 3 nodos de red. Una vez que el algoritmo propuesto identifica dichas regiones, calcula el diagrama de Voronoi, cuyas aristas son empleadas para construir una ruta mediante el algoritmo Greedy-Compass. De tal manera que la contribución que se busca es atravesar un campo sensado por nodos de red evitando lugares cuya cobertura es de 3 o más nodos de red. En la Figura 8 se muestra un diagrama del proceso que el algoritmo de privacidad geográfica en forma general. A continuación, se detalla el funcionamiento del algoritmo propuesto.

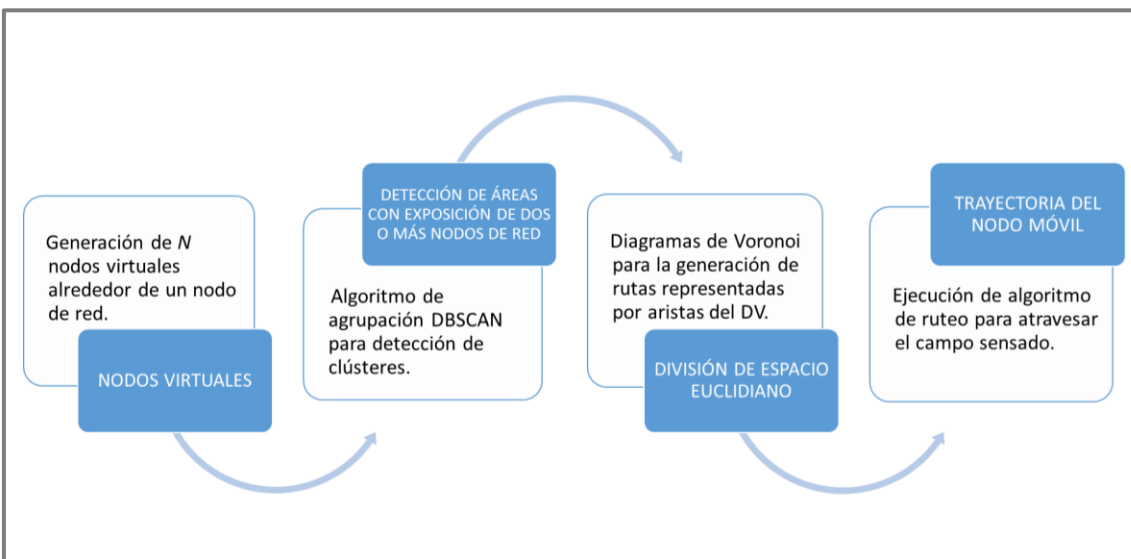


Figura 8. Proceso del algoritmo de privacidad geográfica.

3.1 Nodos Virtuales

En este punto, el nodo móvil es capaz de calcular la ubicación de cada nodo de red que se encuentra dentro del rango de transmisión. Una vez identificada la posición de los nodos de red, coloca un círculo con centro en las coordenadas de cada nodo de red cuyo radio es igual a un rango de transmisión constante k . Estos círculos se dividen en m arcos iguales, donde dos arcos comparten un punto llamado nodo virtual como se muestra en

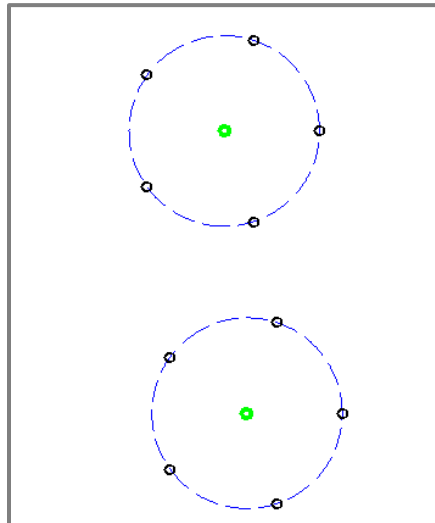


Figura 9. Dos nodos de red localizados por un nodo móvil. Cada nodo de red tiene un círculo que representa el rango de cobertura con 5 nodos virtuales cada uno.

la siguiente ilustración (Figura9).

3.2 Detección de áreas con exposición de dos o más nodos de red

El algoritmo de agrupamiento basado en densidad localiza zonas de alta densidad de puntos. Una vez que el nodo móvil localiza un nodo o más nodos de red, calcula n nodos virtuales. El conjunto de nodos virtuales calculados se utiliza como parámetros de entrada al algoritmo de agrupamiento por densidad DBSCAN con el fin de localizar regiones con alta densidad de nodos virtuales. Estas regiones representan lugares donde hay cobertura de 2 o más nodos de red debido a la alta densidad de nodos virtuales. Como salida del algoritmo se obtiene k número de clústeres de formas y tamaños diferentes. En las Figuras 10 y 9 se muestra la entrada y salida del algoritmo DBSCAN.

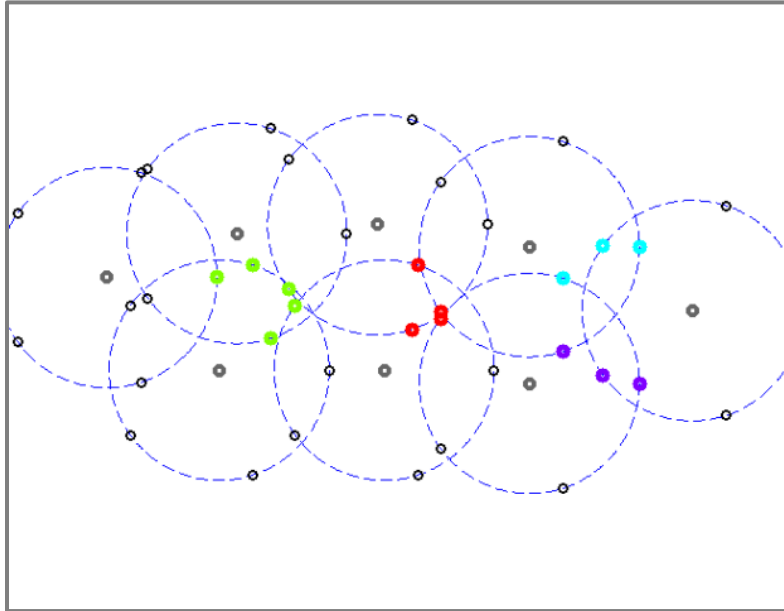


Figura 10. Entrada del algoritmo de agrupamiento por densidad de 5 nodos virtuales (círculos negros y círculos de colores) por cada nodo de red (círculos grises). Los nodos virtuales de colores representan la salida del algoritmo de agrupamiento.

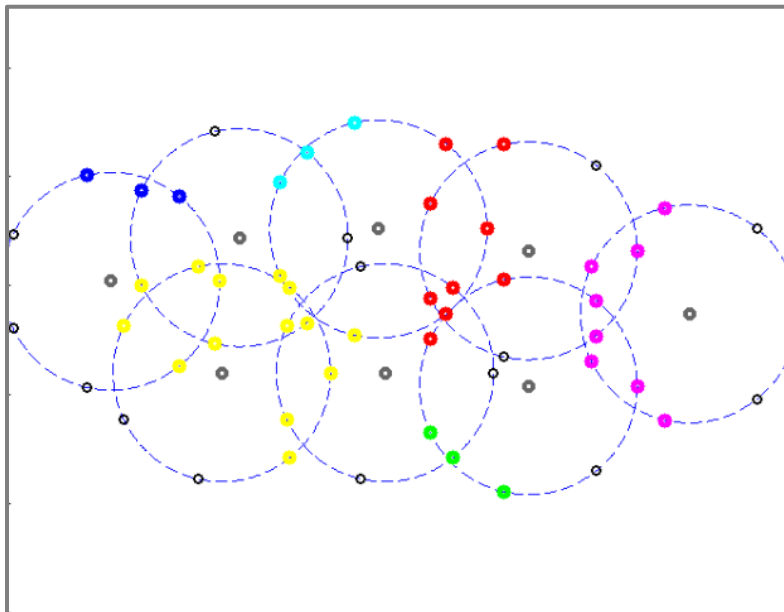


Figura 11. Entrada del algoritmo de agrupamiento por densidad de 7 nodos virtuales (círculos negros y círculos de colores) por cada nodo de red (círculos grises). Los nodos virtuales de colores representan la salida del algoritmo de agrupamiento.

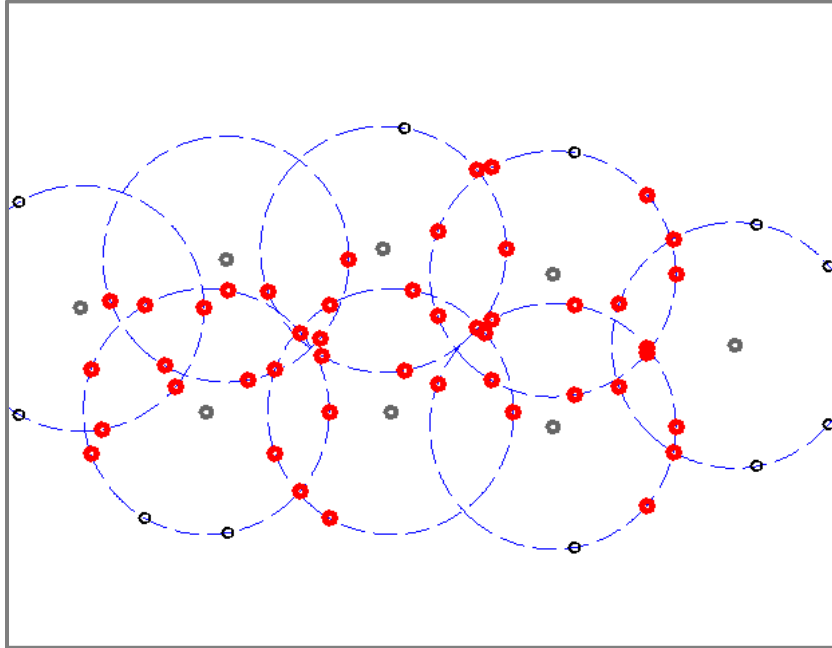


Figura 12. Resultado del algoritmo de agrupamiento por densidad con 9 nodos virtuales por nodo de red.

Como se puede observar en las Figuras anteriores, mientras más nodos virtuales se tengan por nodo de red, los clústeres que se generan abarcan mayor área. Es importante mencionar que, a mayor número de nodos virtuales utilizados en cada nodo de red, mayor será el área de los clústeres. En la Figura 12 se muestra un el resultado del algoritmo DBSCAN con 9 nodos virtuales por nodo de red.

Las agrupaciones que se dan como resultado del algoritmo DBSCAN representan los lugares donde de cobertura es de más de un nodo de red. Una vez identificados los nodos virtuales que conforman un clúster, se utiliza el algoritmo de cierre convexo para reducir la representación de la agrupación para posteriormente calcular un centroide $c(x, y)$. El centroide de cada agrupación se le denomina “nodo de red fantasma”. El nodo fantasma representa el centro de una región cuya cobertura es de 2 o más nodos de red, la Figura 12 muestra los nodos fantasmas calculados dentro de cada clúster.

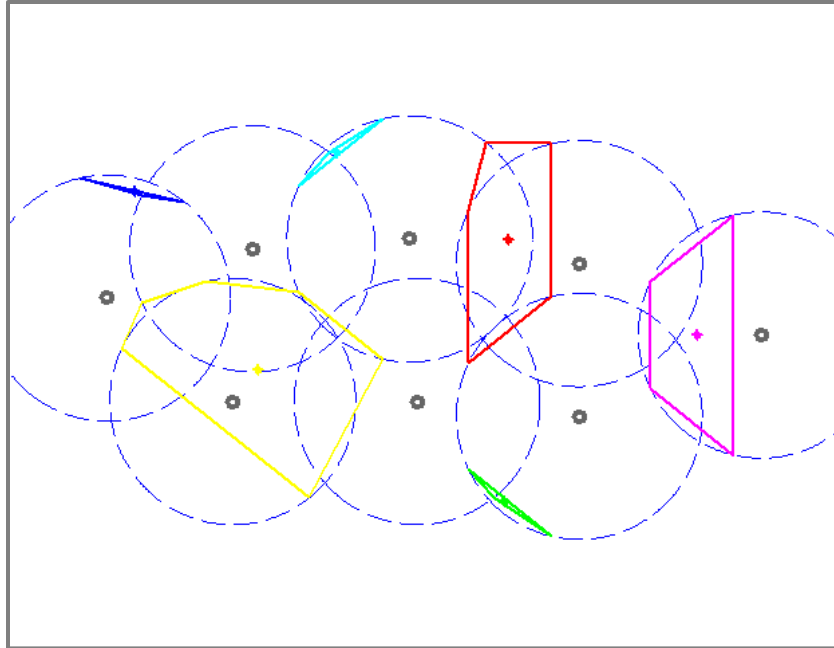


Figura 13. Calculo de centroide y cierre convexo de cada uno de los clústeres identificados por el algoritmo DBSCAN.

3.3 División de espacio Euclidiano

Una vez que el nodo móvil detecte todos los nodos de red fantasmas, estos se utilizan como argumentos de entrada junto a los nodos de red “reales” al algoritmo de Voronoi con el fin de dividir el espacio euclidiano en regiones convexas.

El resultado es un conjunto de aristas equidistantes entre los puntos de entrada que forman polígonos y los vértices que unen a las aristas formando un diagrama de Voronoi, este proceso se muestra en la Figura 14. Las aristas fungirán como “caminos” que el nodo móvil puede utilizar para desplazarse y los vértices son los puntos donde el nodo móvil “decidirá” que camino toma con el fin de atravesar un campo sensado por lugares donde la exposición del nodo móvil sea menor. El diagrama de Voronoi tiene la propiedad de ser representado como un grafo, por lo que los algoritmos de ruteo en línea pueden desempeñarse adecuadamente sobre el diagrama.

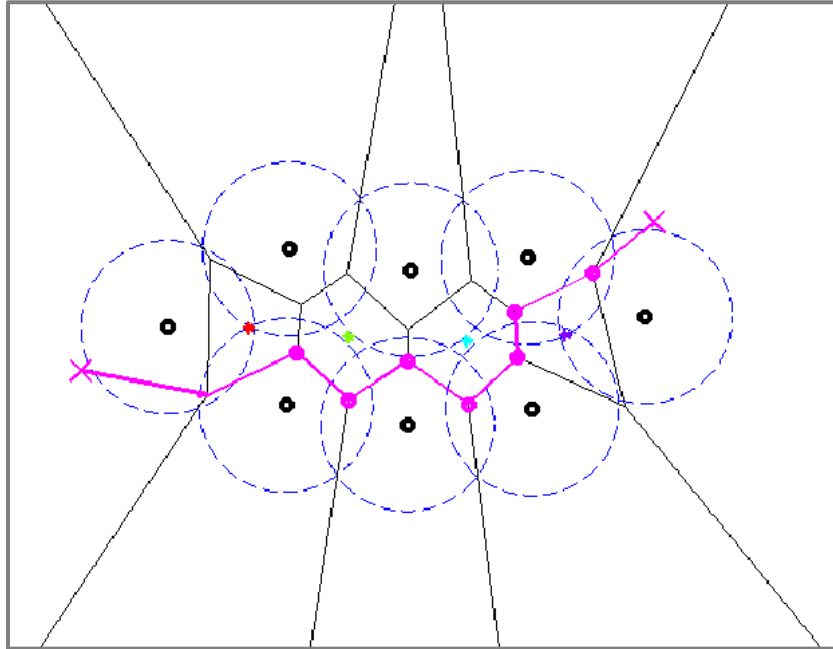


Figura 14. Algoritmo de ruteo en línea sobre diagrama de Voronoi de los nodos de red y nodos fantasma.

3.4 Trayectoria del nodo móvil

Para que el nodo móvil conozca qué camino seguir para llegar a su destino, se hace uso de un algoritmo de ruteo en vivo (Online routing algorithm). Como se mencionó en el capítulo anterior, el algoritmo Greedy y el algoritmo Compass pueden quedarse en un “loop” infinito en algunos grafos especiales, desventaja que el algoritmo híbrido Greedy-Compass mejora. El algoritmo Greedy-Compass utiliza aspectos como la orientación y la distancia para llegar al vértice destino v_{dst} por medio del desplazamiento en las aristas del diagrama de Voronoi. Recordemos que el nodo móvil sabe cuál es su ubicación actual y las coordenadas de punto destino. Una vez que el nodo móvil detecta los nodos de red y el espacio euclidiano, busca el vértice del diagrama Voronoi más cercano, dando como resultado el punto inicial al cual se tiene que desplazar el nodo móvil para ejecutar el algoritmo de ruteo en línea Greedy-Compass sobre los vértices de Voronoi.

Mediante las aristas de Voronoi, el nodo móvil sabe que vértices son candidatos para poder desplazarse. Esto se calcula tomando en cuenta la distancia y la orientación del vértice actual v_{act} y el vértice destino v_{dst} . Después de que el nodo móvil se ha desplazado al nuevo vértice, actualiza su ubicación y mediante las aristas de Voronoi

vuelve a evaluar los vértices vecinos de su ubicación actual para una nueva ubicación. Este proceso termina hasta que el nodo móvil llega al nodo destino.

En la Figura 14 se muestra un ejemplo del desplazamiento del nodo móvil a través de las aristas del diagrama de Voronoi usando Greedy-Compass. A continuación, se describe el

ALGORITMO PARA DETECTAR MULTICOBERTURAS (P)

1. El nodo móvil busca los nodos de red que se localicen en su rango de transmisión.
 2. El nodo móvil estima n nodos virtuales en la periferia de cada nodo de red.
 3. Se utilizan como entrada todos los nodos virtuales al algoritmo DBSCAN.
 4. Se calcula el cierre convexo de cada uno de los clústers para posteriormente estimar el centroide de cada convexo, estos se llaman ***nodos fantasmas***.
 5. Se ejecuta el algoritmo de Voronoi con los ***nodos fantasmas*** y ***nodos de red*** que da como resultado las aristas y vértices del diagrama que serán utilizadas como "caminos".
 6. Las aristas y vértices de Voronoi serán utilizados para ejecutar el algoritmo de ruteo online, desplazándose al siguiente vértice. El nodo móvil siempre sabe su ubicación actual y la ubicación destino.
 7. Si el nodo móvil llega al punto destino, termina, sino regresa al paso 1.
-
-

Algoritmo 5. Algoritmo para detección de coberturas en una red inalámbrica.

algoritmo:

En este capítulo se describió el procedimiento del algoritmo propuesto que tiene como objetivo atravesar un campo sensado por nodos de red, evitando regiones donde la cobertura es de más de 2 nodos de red. En el siguiente capítulo se mostrarán los resultados del desempeño de algoritmo de privacidad geográfica en escenarios con diferente densidad de nodos de red.

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el capítulo anterior se presentó el procedimiento para detectar regiones, dentro de una topología de red, donde la cobertura es de 2 o más nodos de red. Estas áreas son localizadas con la ayuda del algoritmo de agrupamiento por densidad de puntos DBSCAN, y con la ayuda del algoritmo de cierre convexo se calcula el centroide del polígono formado por el cierre convexo para así obtener un nodo de red “**fantasma**”. Los nodos de red fantasma y los nodos de red “**reales**” son utilizados como argumentos de entrada al algoritmo de Voronoicon el fin de obtener los posibles “camino” para que el nodo móvil se desplace al punto destino v_{dst} . El algoritmo de ruteo con detección de coberturas fue desarrollado en el lenguaje de programación MATLAB.

Se plantean tres escenarios para evaluar el desempeño del algoritmo, estos se mencionan a continuación:

- Topología de red con poca densidad. (Cobertura de máximo 1 nodo de red)
En este escenario se considera un campo sensado con poca densidad de nodos de red, es decir el área de cobertura de nodos de red del campo a atravesar es reducida y dispersa.
- Topología de red con moderada densidad. (Cobertura de máximo 2 nodo de red)
En el segundo escenario, se considera un campo sensado cuya cobertura es buena, hay moderada densidad de nodos de red para detectar al nodo móvil en su trayectoria para llegar al destino.
- Topología de red con mucha densidad. (Cobertura de máximo 3 nodo de red)
En el tercer y último escenario se consideran una densidad de nodos de red demasiada alta, esto con el fin de probar que el algoritmo de detección de coberturas para así, concluir sus ventajas y desventajas.

Tome en cuenta que una topología con alta densidad de nodos de red que se encuentren muy cerca entre ellos pueden causar alta interferencia, por lo que es muy poco probable que se presenten estas topologías en un caso real. La forma de evaluar el algoritmo será por medio de la distancia total recorrida durante la trayectoria del móvil para atravesar el

campo sensado y la tasa de detección. La tasa de detección se calcula con el número de puntos donde el nodo móvil está dentro de un área con cobertura de 1, 2, 3, o más nodos de red y el número de vértices visitados. A continuación, se presenta la ecuación:

$$tasa\ de\ detección = \frac{no.de\ puntos\ con\ cobertura\ de\ n\ nodos\ de\ red}{no.de\ vértices\ visitados} \quad (1)$$

4.1 Poca Densidad de Nodos de Red

En el primer escenario se consideraron 3 nodos de red, n_1 con coordenadas $(x, y) = (203.0, 235.0)$, el nodo de red n_2 con coordenadas $(x, y) = (100.0, 95.0)$ y un nodo de red n_3 con coordenadas $(x, y) = (296.0, 62.0)$. El punto de partida $s(x, y)$ del nodo móvil inicializará en $(25.0, 150.0)$ para trasladarse al punto de destino $s(x, y) = (344.0, 148.0)$. Los puntos se eligieron de modo que el nodo móvil atravesase el campo sensado por los nodos de red n_1, n_2 y n_3 . La Figura 15 muestra la trayectoria del nodo móvil que atraviesa un campo sensado por tres nodos de red. Dado que en el primer escenario no se generaron clústeres debido a la distancia entre nodos de red, la ecuación de tasa de detección no aplicará para la evaluación del algoritmo (Tabla 1). Las coberturas de los nodos de red se representan por un círculo con diámetro de 80 metros, que es el rango

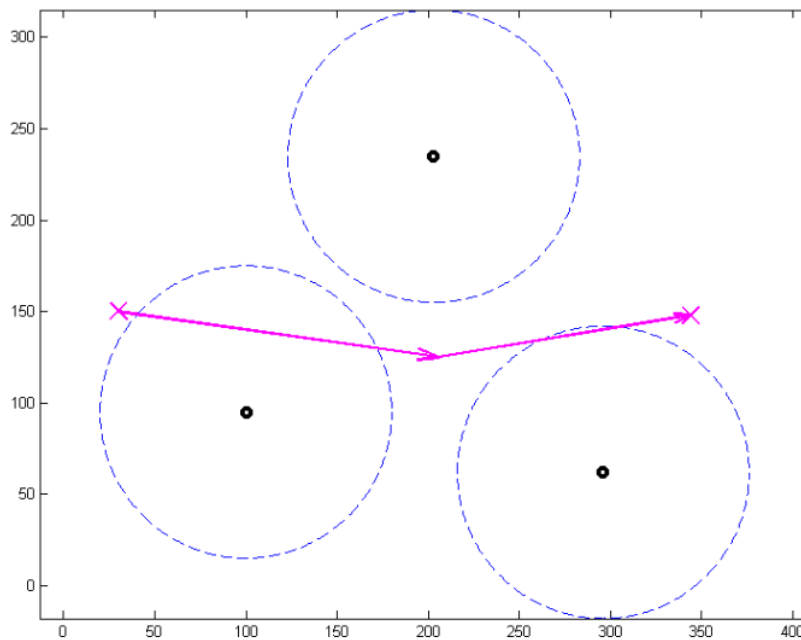


Figura 15. Primer escenario con 3 nodos de red.

ASPECTOS	PRUEBA 1
Escenario	1
Nodos de Red	3
No. De Nodos Virtuales	12
Distancia Total	320 m
Distancia Recorrida	326.06 m
Nodos Fantasma Generados	NA
Vértices de Voronoi visitados	1
Regiones de cobertura a 1 nodo de red	NA
Regiones de Cobertura a 2 nodos de red	NA
Regiones de Cobertura a 3 nodos de red	NA

apropiado para radios en el estándar 802.11(Wifi) de la IEEE.

Tabla 1. Resumen de resultados obtenidos en la prueba de la topología de red con poca densidad.

4.2 Densidad Media de Nodos de Red

Para el segundo escenario, dos topologías son presentadas. La primera topología se realiza con 8 nodos de red y la segunda topología se considera 35 nodos de red. Como ya se describió, el algoritmo de agrupamiento DBSCAN usa dos parámetros para la generación de clústeres. El primer parámetro *épsilon (EPS)* se fijará en un valor de 30, esto significa que creará clústeres a partir de los nodos virtuales dentro de un diámetro de 30 metros. El segundo parámetro *mínimo de puntos (minpts)* determina el número mínimo de nodos virtuales que están dentro de un diámetro *épsilon* para la generación de un clúster, en las pruebas realizadas se fijó dicho parámetro en 3. Para los nodos de red y nodo móvil, el rango de transmisión se determinó en 80 metros.

En ambas topologías se consideran 5 casos en los cuales cambiará el número de nodos virtuales alrededor de cada nodo de red con el fin de observar los distintos recorridos realizados a partir de la generación de clústeres. Tablas 2 y 3 muestran los casos para 8, 10, 12, 14 y 16 nodos virtuales respectivamente para la topología de 8 nodos de red. Para evaluar el algoritmo con respecto a la ecuación 1, se considera los puntos donde el nodo móvil se encuentra dentro de la cobertura de un 1 nodo de red, dentro de la cobertura de 2 nodos de red y 3 nodos de red, respectivamente; esto durante la ejecución

	4 NODOS VIRTUALES	8 NODOS VIRTUALES
--	--------------------------	--------------------------

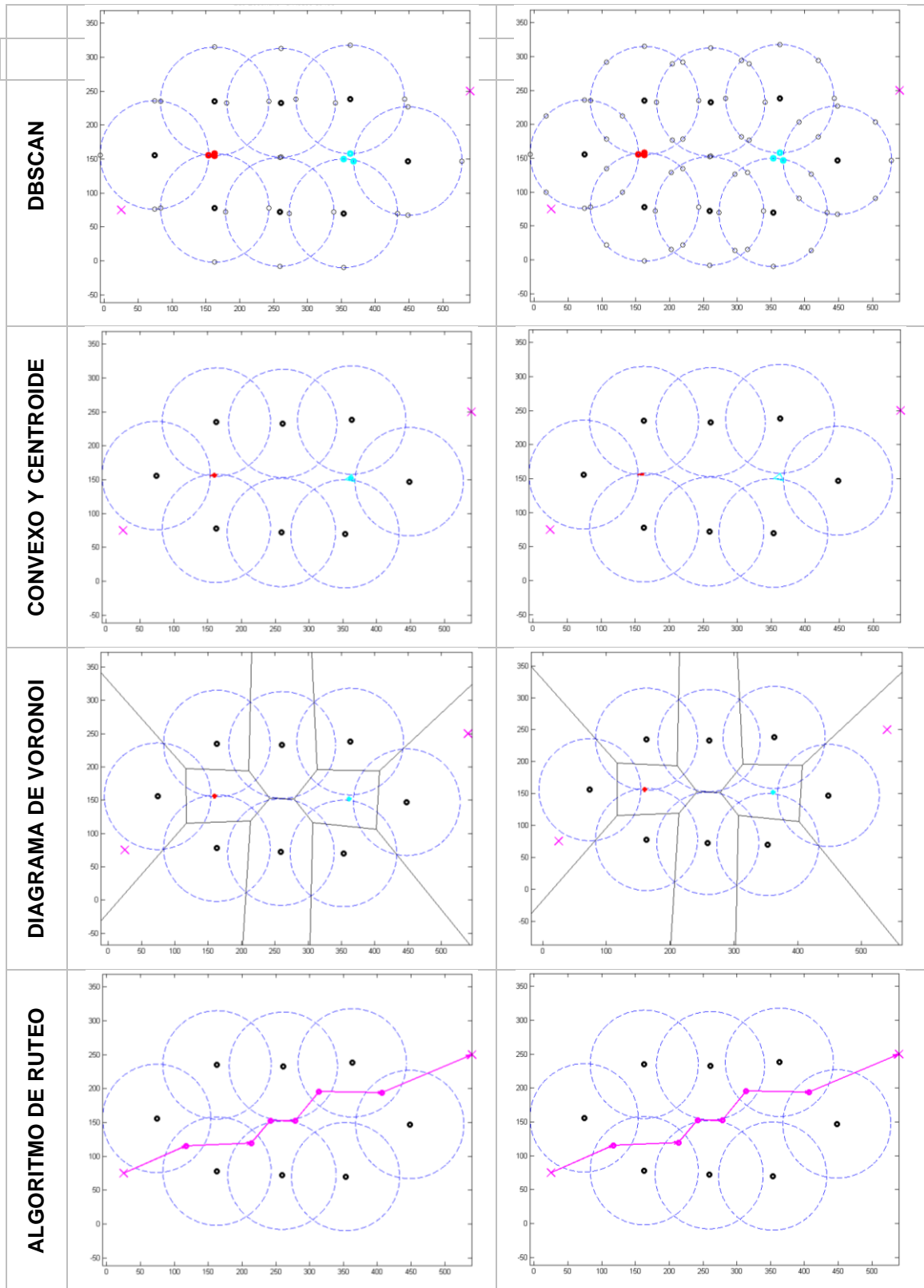
del algoritmo de ruteo online. Para la segunda incógnita de la ecuación 1, se considera el número de nodos fantasma al ser proporcional al número de clúster generados.

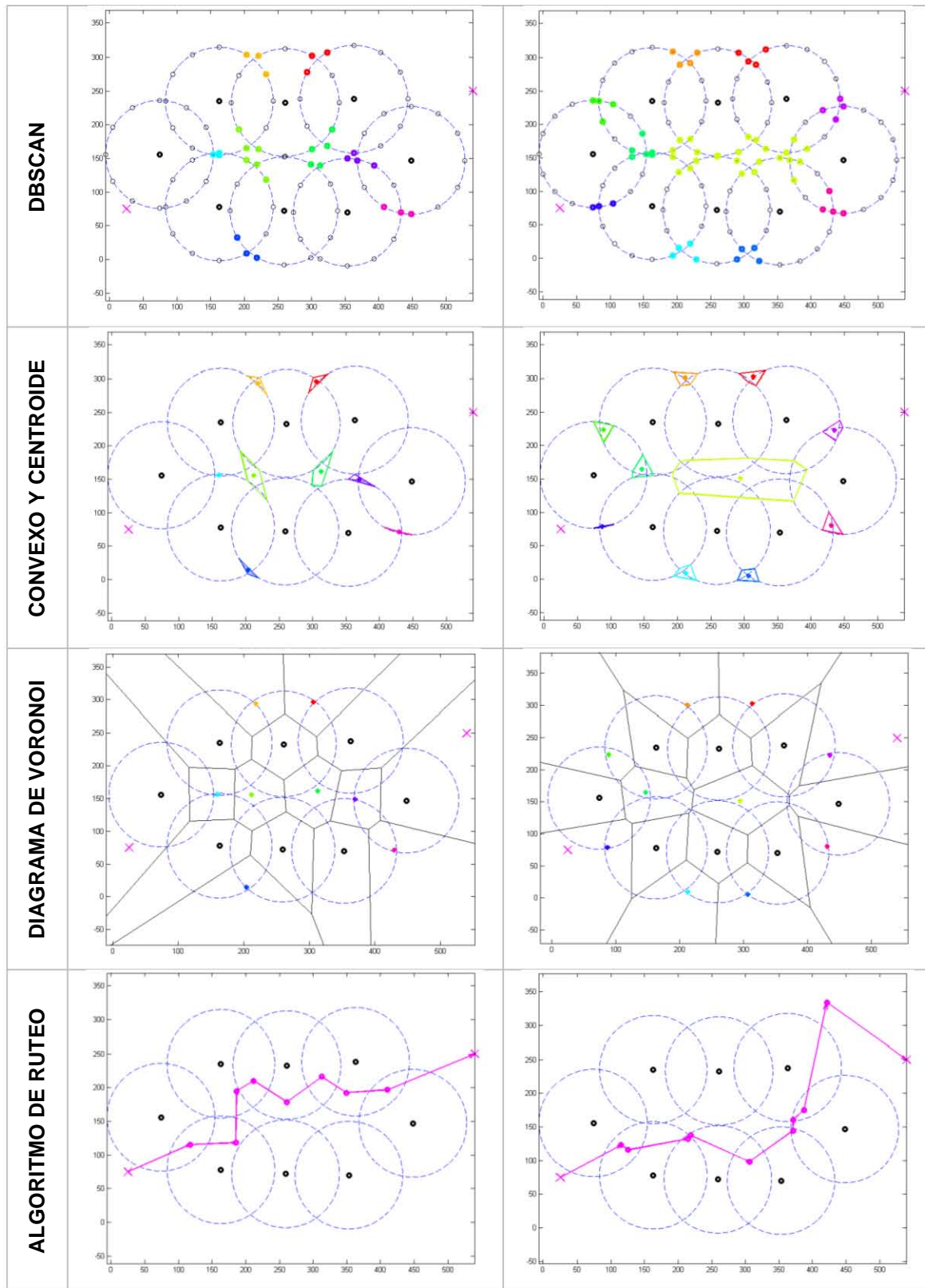
Tabla 2. Bosquejo de pruebas de la topología de red con densidad moderada variando los nodos virtuales.

Tabla

--	--

3. Continuación del bosquejo de topología de red con densidad moderada variando los nodos virtuales.





Gráfica 1. Gráfica de comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales.



Tablas 2 y 3 muestran los resultados

datos de manera gráfica. Las imágenes presentadas en las tablas siguen el siguiente orden:

- Primera Imagen (Clúster): Muestra n nodos virtuales en la orilla de una

ASPECTOS	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
Escenario	2	2	2	2	2
Nodos de Red	8	8	8	8	8
No. De Nodos Virtuales	8	10	12	14	16
Distancia Total	543.92 m	543.92 m	543.92 m	543.92 m	543.92 m

circunferencia que toma como centro un nodo de red. Los nodos virtuales coloreados de un solo color el resultado del algoritmo DBSCAN, es decir cada color es un clúster generado por el algoritmo de agrupación por densidad.

- Segunda Imagen (Cierre Convexo y Centroide): Ilustra el cierre convexo de los puntos pertenecientes a cada clúster. A partir del resultado obtenido por el algoritmo de cierre convexo, se calcula el centroide. Dicho centroide es considerado un nodo de red fantasma.
- Tercera imagen (Diagrama de Voronoi): Los nodos de red “reales” y los nodos de red “fantasma” son los argumentos de entrada del algoritmo de diagrama de Voronoi. La tercera imagen ilustra el diagrama de Voronoi de los nodos de red reales y fantasma. Nótese que si un nodo de red real está dentro de un cierre convexo se elimina de la lista de parámetros de entrada.
- Cuarta imagen (Ruteo): Muestra el recorrido que el nodo móvil realiza a partir del cálculo de los diagramas de Voronoi, el recorrido lo realiza sobre las aristas de los polígonos generados.

Tabla 4. Resumen de resultados obtenidos con topología de red moderadamente densa (Topología de 8 nodos de red).

Distancia Recorrida	796.38 m	813.85m	841.42 m	846.93 m	860.48m
Nodos Fantasma Generados (Clústeres)	2	6	8	8	10
Vértices de Voronoi visitados	6	8	8	8	8
Regiones de cobertura a 1 nodo de red	0	5	4	1	1
Regiones de Cobertura a 2 nodos de red	4	3	4	7	6
Regiones de Cobertura a 3 nodos de red	0	0	0	0	0
Regiones de Cobertura de más de 3 nodos de red	0	0	0	0	0

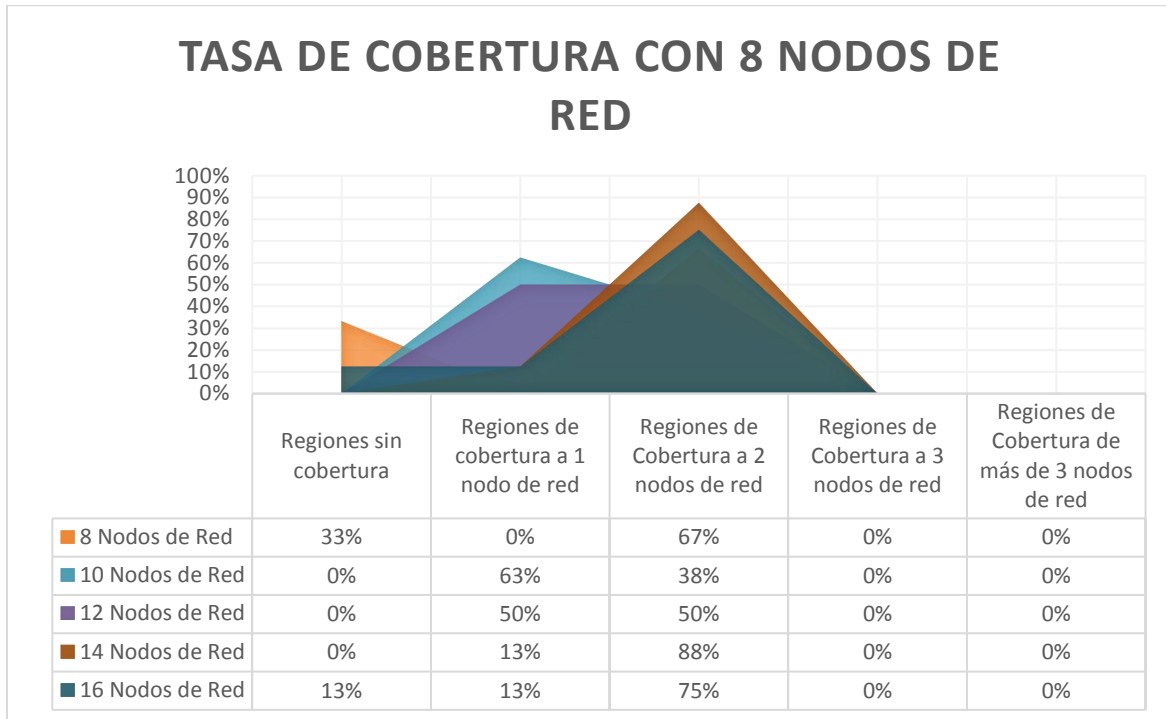
Me
dia
nte
este
expe
ri
me

nto se puede conocer la distancia recorrida por el nodo móvil en un campo sensado por 8 nodos de red. La Tabla 4 sintetiza los resultados conforme la variación de nodos virtuales alrededor de los nodos de red. El error promedio de la distancia total generada por el algoritmo y la distancia euclidiana entre el origen S y el destino T es de 256.19 metros. La distancia media que el nodo móvil recorre, por medio del algoritmo propuesto, es de 800.11 metros en todas las variaciones de nodos virtuales alrededor de cada nodo de red (en un rango de 3-16 nodos virtuales). Estos valores son presentados en la gráfica 1.

A partir de los datos presentados en la Tabla 4, el algoritmo de detección de regiones con cobertura de nodos de red calcula una distancia mayor con respecto a la distancia euclidiana entre el punto de origen y el punto de destino. La media de dichas diferencias es de 32% de la distancia euclidiana real, es decir, durante la trayectoria el nodo móvil se desvía en promedio 163 metros.

En cuanto a la tasa de detección (Ecuación 1), en la tabla 5 se puede observar un resumen que representa el porcentaje de detección en regiones con cobertura de 1, 2, 3 y mayor a 3 nodos de red durante la trayectoria del nodo móvil. El número de muestras tomadas para este cálculo es proporcional al número de aristas generadas por el diagrama de Voronoi, es decir, mientras más clúster se generen, la tasa de detección es más exacta.

Gráfica 2. Tasa de detección de regiones con cobertura durante la trayectoria del nodo móvil.



La Gráfica 2 muestra los porcentajes de las regiones con cobertura que el nodo móvil atraviesa para llegar a su destino. Se puede observar que las regiones cuya cobertura es de 3 o más nodos de redes de 0%, debido a que la topología no presenta regiones con cobertura de 3 nodos.

En el siguiente caso que se muestra una topología de 30 nodos de red, además se describe el desempeño del algoritmo con dicha topología, pero con la misma densidad en los nodos de red.

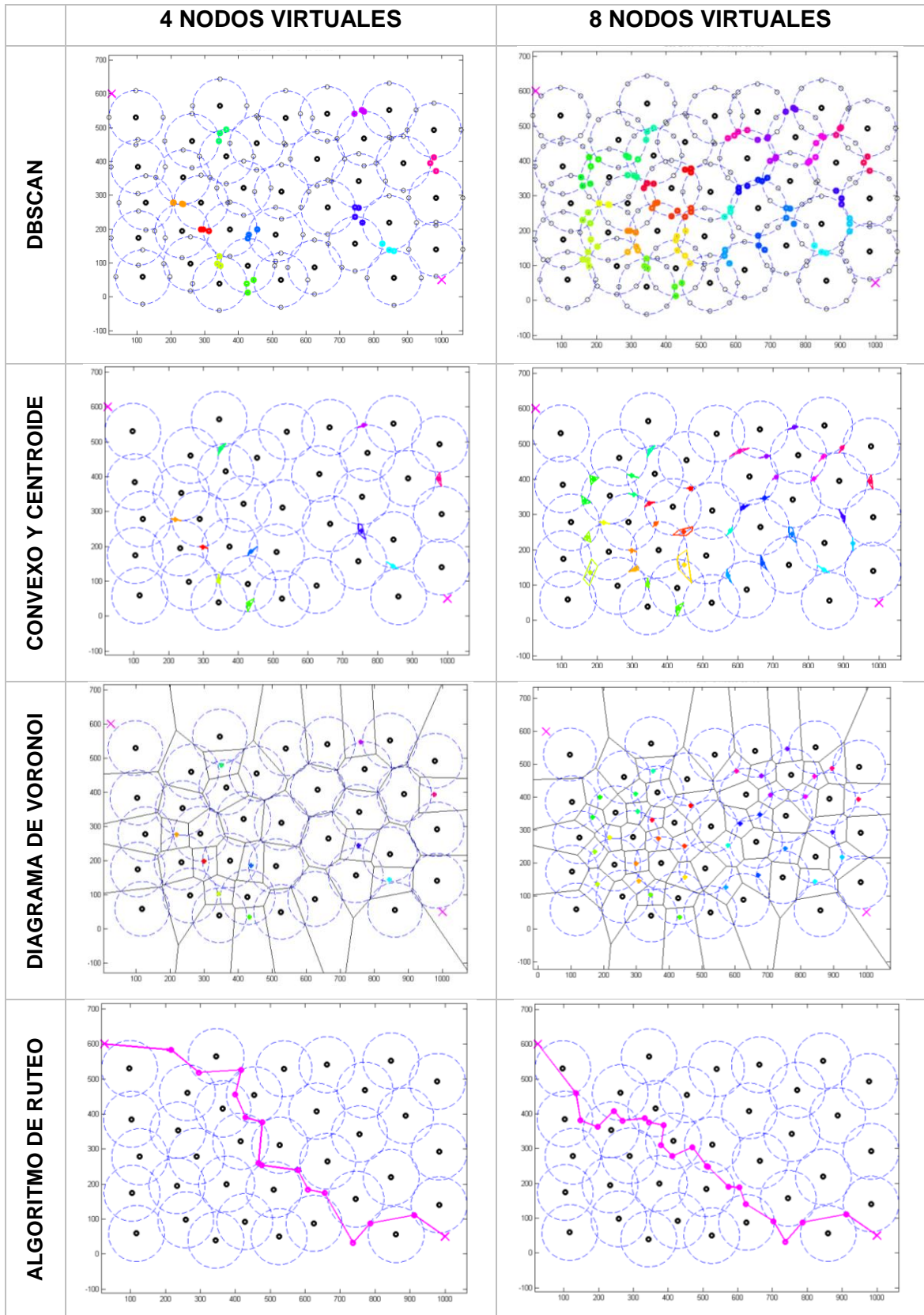


Tabla 5. Bosquejo de pruebas de la topología de red con densidad moderada variando los nodos virtuales.

	12 NODOS VIRTUALES	16 NODOS VIRTUALES
--	---------------------------	---------------------------

Tabla 6. Continuación del bosquejo de topología de red con densidad moderada variando nodos virtuales.

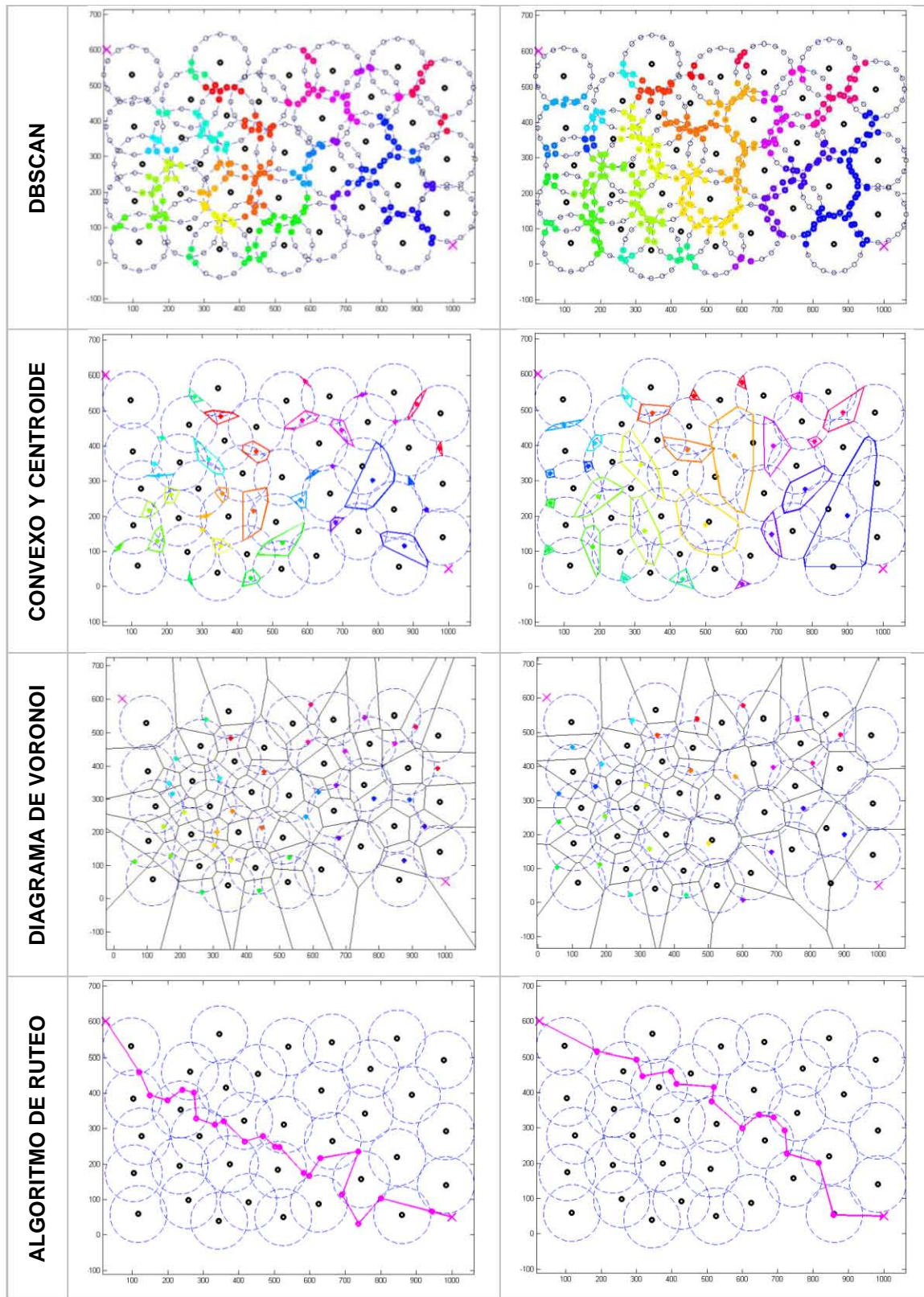
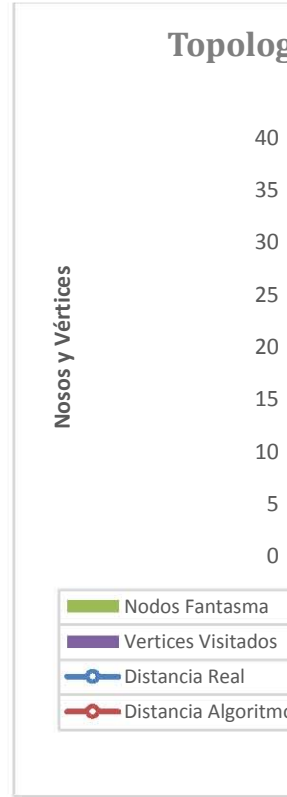


Gráfico a 3. Gráfica de comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales.



Las Tablas 5 y 6 muestran los bosques

ejos de la agrupación de nodos virtuales, la cerradura convexa, el diagrama de Voronoi y el algoritmo de ruteo con variación de 4, 8, 12 y 16 nodos virtuales en la topología de 30

ASPECTOS	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
Escenario	2	2	2	2	2
Nodos de Red	30	30	30	30	30
No. De Nodos Virtuales	8	10	12	14	16
Distancia Total	1119.43 m	1119.43 m	1119.43 m	1119.43 m	1119.43 m
Distancia Recorrida	1415.73 m	1556.68 m	1537.57 m	1576.38 m	1337.44 m

nodos de red. En la gráfica 3, se puede observar la variación en cuanto a la distancia euclidiana real (1119.41 metros, línea azul) y la distancia recorrida por el nodo móvil mediante el uso del algoritmo propuesto. La distancia calculada por el algoritmo propuesto tiene un promedio de 1484.4 metros (línea roja) con una diferencia promedio de 365.5 metros con respecto a la distancia euclidiana real, es decir el nodo móvil se desvía de su camino 365.5 metros promedio variando el número de nodos virtuales (de 3 a 16 nodos virtuales) ejecutando el algoritmo propuesto. La Tabla 7 muestra un resumen del recorrido del nodo móvil.

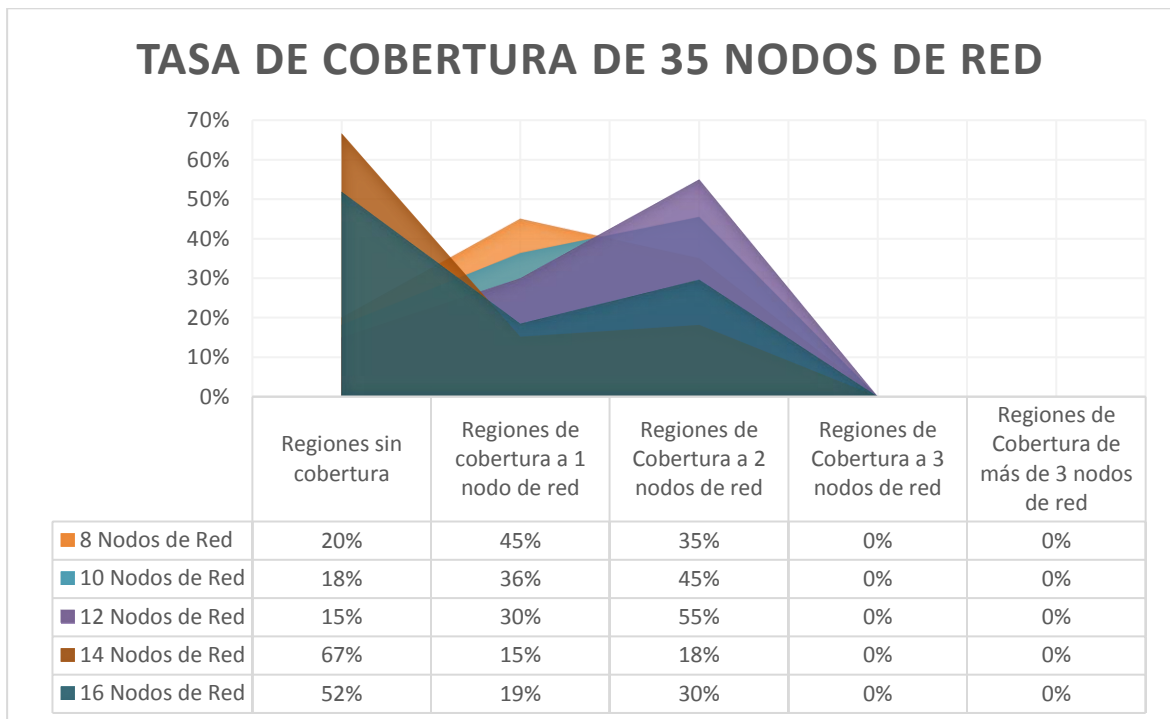
Cabe mencionar que el algoritmo propuesto solo reconoce un rango de 3 a 16 nodos virtuales, debido a que el algoritmo de agrupamiento DBSCAN calcula un clúster del tamaño de la topología por la alta concentración de nodos virtuales alrededor de cada nodo de red. La tabla 9 ilustra el caso para una topología con alta densidad de nodos de red donde se presenta este caso, el cual, el tamaño del clúster tiende a ser del mismo tamaño a la de la topología, esto se muestra en la siguiente sección.

Tabla 7. Resumen de resultados obtenidos con topología de red moderadamente densa (Topología de 35 nodos de red).

Nodos Fantasma Generados (Clústeres)	34	36	34	33	27
Vértices de Voronoi visitados	20	22	20	33	14
Regiones de cobertura a 1 nodo de red	9	8	6	5	5
Regiones de Cobertura a 2 nodos de red	7	10	11	6	8
Regiones de Cobertura a 3 nodos de red	0	0	0	0	0
Regiones de Cobertura de más de 3 nodos de red	0	0	0	0	0

Gráfica 4. Tasa de detección de regiones con cobertura durante

te la trayectoria del nodo móvil.



La Gráfica 4 muestra la tasa de detección para pruebas de 8, 10, 12, 14 y 16 nodos virtuales alrededor de cada nodo de red. Se puede observar que en la que la tasa de detección de regiones con cobertura de 3 y más nodos de red es de 0%, esto significa que el algoritmo cumple el objetivo principal propuesto para esta tesis.

4.3 Alta densidad de Nodos de Red

Para el tercer y último escenario, se presenta dos topologías con alta densidad de nodos de red. La primera topología se constituye de 20 nodos de red cuya cobertura es demasiado densa, es decir, los nodos de red se encuentran muy cerca unos de otros. Se bosquejan 4 variaciones de nodos de red (4, 8, 12 y 16 nodos de red), los cuales, cuando

se aumentan los nodos virtuales alrededor de cada nodo de red se genera un clúster

	4 NODOS VIRTUALES	8 NODOS VIRTUALES
--	--------------------------	--------------------------

donde hay mayor concentración de nodos de red del tamaño de la topología. Esto es debido a que el algoritmo DBSCAN genera clústeres por densidad, además de los parámetros (EPS y MinPts) en especial el parámetro ϵ . Para esta topología, se considera un valor constante para los parámetros de entrada, EPS y minpts, del algoritmo de agrupación DBSCAN, además tanto los nodos de red como el nodo móvil, su rango de transmisión se determinó en 80 metros.

En la segunda topología se trazó una trayectoria a través de un campo sensado conformado por 50 nodos de red, de tal forma que predominan regiones cuya cobertura es de 3 o más nodos de red. Por otra parte, en esta topología se establece un número máximo de 502 nodos virtuales. La Figura 16 muestra la topología y el desplazamiento para el escenario con alta densidad 50 nodos de red.

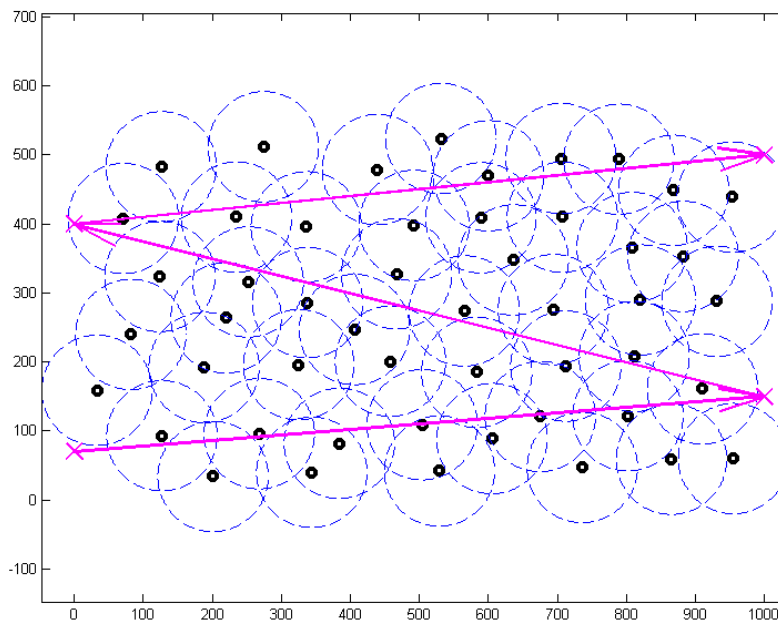
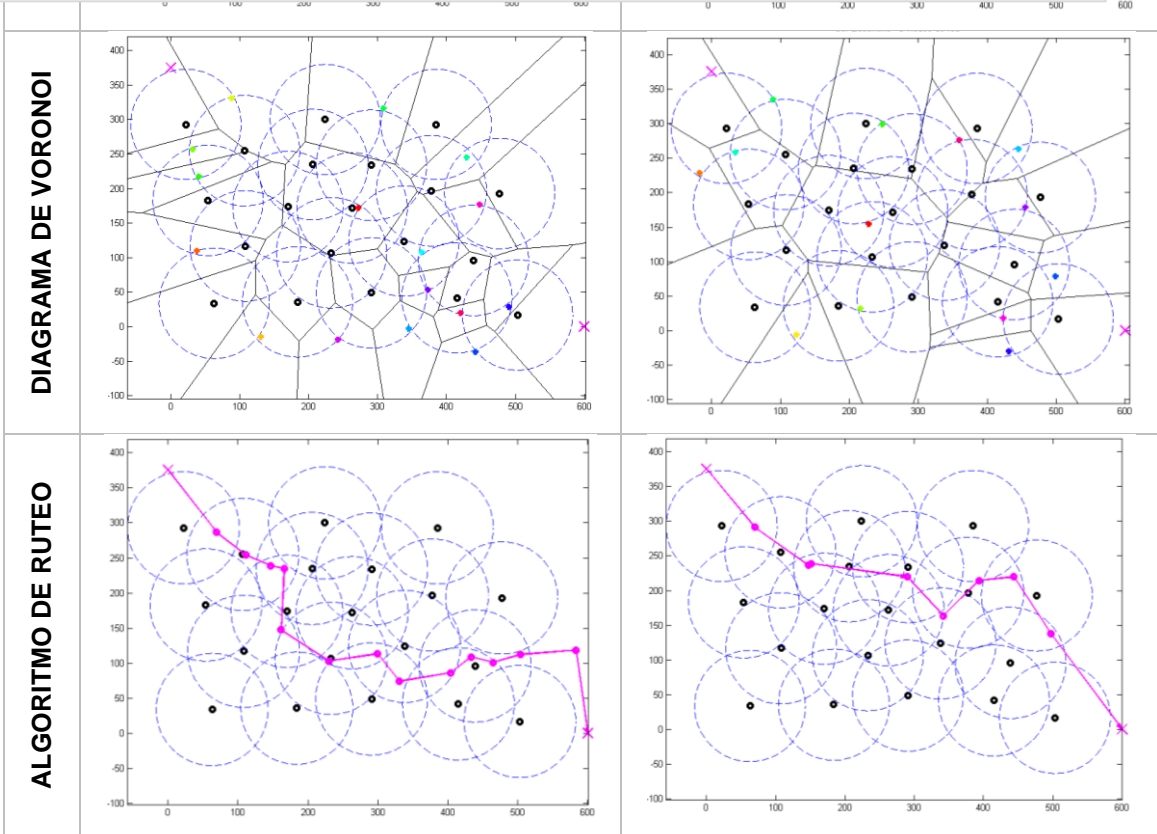
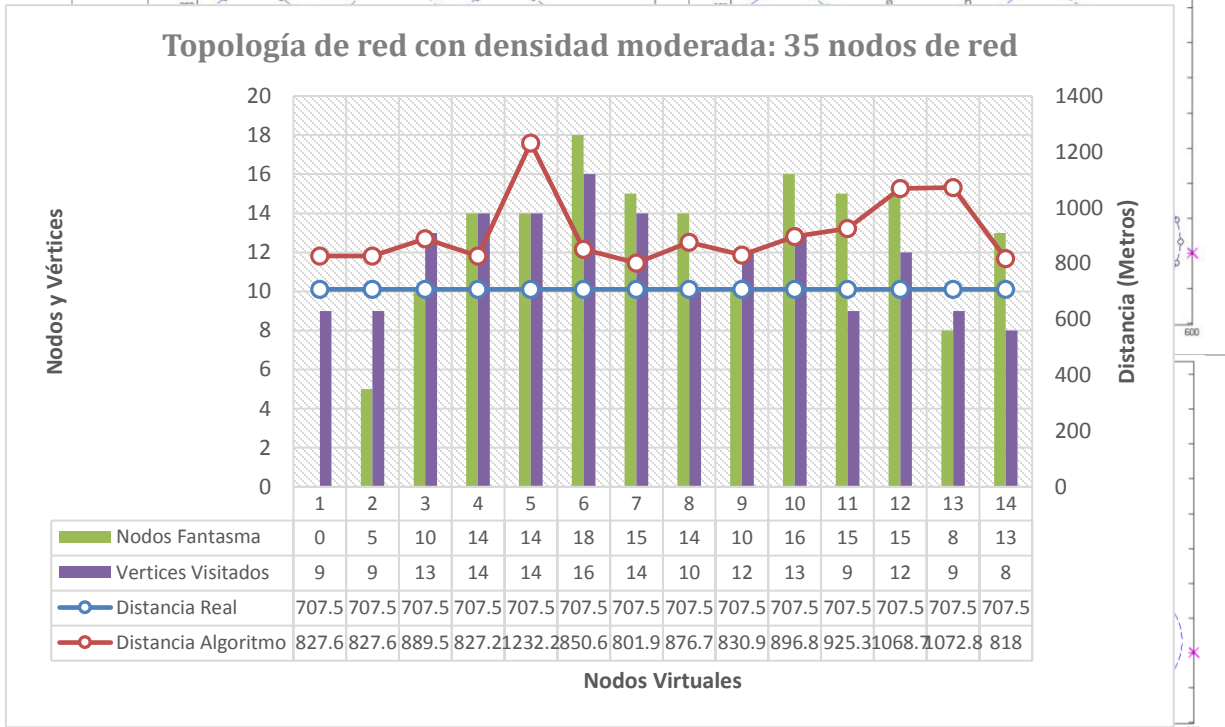


Figura 16. Trayectoria de móvil en una topología de 50 nodos de red con alta densidad

Tabla 8. Bosquejo de pruebas de la topología de red con alta densidad variando los nodos virtuales.

Gráfica 5. Gráfica del comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales.



ASPECTOS	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
Escenario	3	3	3	3	2

Las Tablas 8 y 9 presentan de forma gráfica el comportamiento del algoritmo con alta densidad. Para la ejecución del algoritmo con una variación de 2 a 8 nodos virtuales en cada nodo de red, los resultados presentan una baja de nodos fantasma generados a partir de los 14 nodos virtuales. En las Tablas 8 y 9, para 12 y 16 nodos virtuales, se observa que el algoritmo tiende a generar un clúster del tamaño de la topología debido a que el algoritmo DBSCAN busca clústeres comprobando la vecindad de cada nodo, y va añadiendo nodos al clúster si son denso-alcanzables desde un punto central[15]. Esto es causado por la densidad de nodos de red (en los casos de 12 a 16 nodos virtuales), ya que la mayoría de los nodos virtuales son denso-alcanzables por nodos centrales. Para controlar si un nodo es denso-alcanzable o no desde un punto central, el parámetro de entrada ϵ del algoritmo DBSCAN es el que define este comportamiento de generación de clústeres. Además, para el siguiente escenario, el parámetro $minpts$ no es importante debido a que el valor ϵ es adecuado para asegurar la generación de clústeres. En la siguiente prueba se realizó una trayectoria variando el valor de ϵ para analizar el comportamiento del algoritmo variando dicho parámetro.

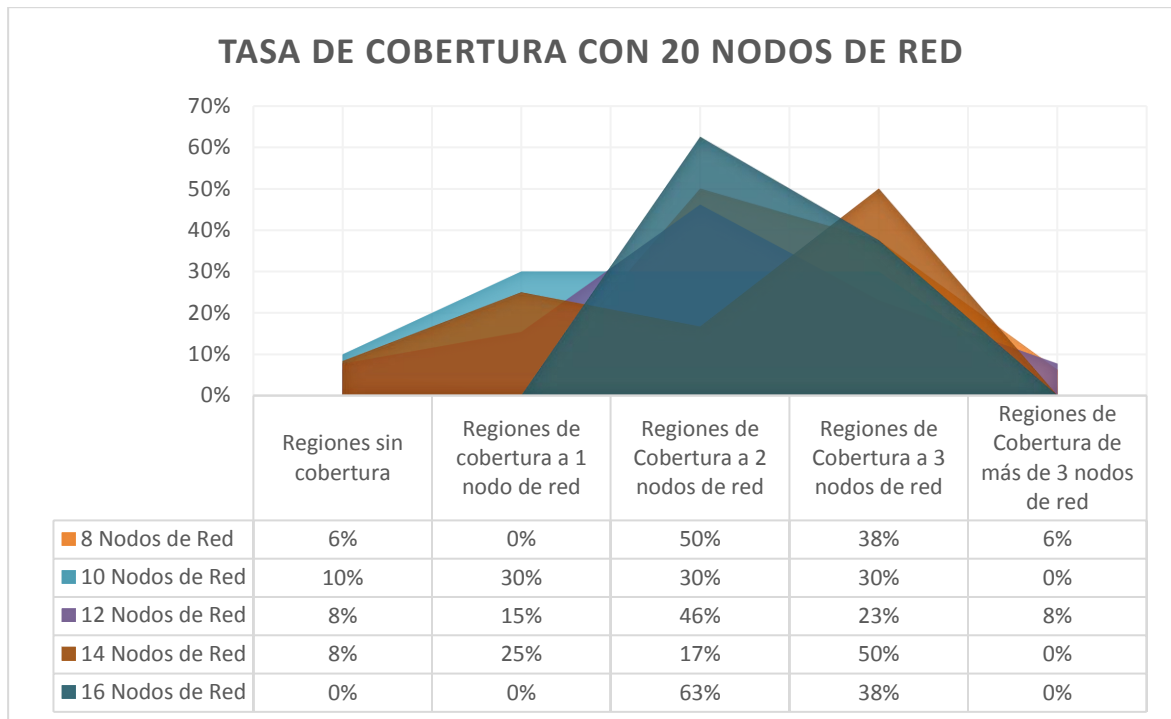
Tabla 10. Resumen de resultados obtenidos con topología de red moderadamente densa (Topología de 20 nodos).

Retomando el análisis de la primera a top	Nodos de Red	20	20	20	20	20
	No. De Nodos Virtuales	8	10	12	14	16
	Distancia Total	707.54 m	707.54 m	707.54 m	707.54 m	707.54 m
	Distancia Recorrida	850.66 m	876.75 m	896.86 m	1068.73 m	818 m
	Nodos Fantasma Generados (Clústeres)	18	14	16	15	13
	Vértices de Voronoi visitados	16	10	13	12	8
	Regiones de cobertura a 1 nodo de red	0	3	2	3	0
	Regiones de Cobertura a 2 nodos de red	8	3	6	2	5
	Regiones de Cobertura a 3 nodos de red	6	3	3	6	3
	Regiones de Cobertura de más de 3 nodos de red	1	0	1	0	0

ología, la Gráfica 5 muestra los cambios de distancia recorrida por el nodo móvil, además en la Tabla 10 se aprecian los cambios de número de regiones donde el nodo móvil detecta una cobertura de 1 nodo de red, una cobertura de dos nodos de red y una cobertura de 3 o más nodos de red, esto con base a la variación del número de nodos virtuales. Como se definió al inicio del capítulo, los parámetros *EPSy MinPts* del algoritmo DBSCAN siempre se mantuvieron constantes, por lo que los cambios por la misma trayectoria no tienen mucha variación. La distancia promedio que el nodo móvil se desvía con respecto a la distancia euclidiana variando el número de nodos virtuales de 3 a 16 es de aproximadamente 195 metros.

Por otra parte, la Gráfica 6 muestra el porcentaje de regiones con cobertura de 1, 2, 3 y más de 3 nodos de red. Como se puede observar se cumple el objetivo principal de la tesis, ya que el porcentaje de regiones visitadas de 3 o más nodos de red es muy bajo. En otras palabras, el nodo móvil detecta y evita regiones con dichas características con el fin de generar mayor error al momento de que la red calcula su localización. También se observa que el mayor número de regiones que el nodo móvil visita se encuentran en regiones con cobertura de 2 y 3 nodos.

Gráfica 6. Tasa de detección de regiones con cobertura durante la trayectoria del nodo móvil.



Para este escenario, se muestra los resultados de la trayectoria del nodo móvil sobre una topología densa de 50 nodos de red donde el parámetro que varía son los valores de *EPS*. El número de nodos virtuales utilizados en esta topología de red es de 502 nodos virtuales para un *EPS* igual 1, que es el máximo número que la topología de red soporta para generar más de un clúster ejecutando el algoritmo DBSCAN. Asimismo, el número de nodos virtuales varía conforme al parámetro *EPS*. Cada valor del parámetro *épsilon* tiene un número máximo de nodos virtuales diferente para la generación de al menos un nodo de red.

En las pruebas pasadas, se analizó el comportamiento del algoritmo por medio de la variación de los nodos virtuales, como se pudo observar los nodos virtuales son los que definen parte del comportamiento de generación de clústeres aunque no es el único parámetro determinante. Como se analizó en el escenario anterior, mientras más densa sea la topología, tiende a generar un clúster tan grande capaz de agrupar toda la red en un solo clúster, esto a causa que los nodos virtuales son más densos y alcanzables.

Tabla 11. Bosquejo de pruebas de la topología de red con alta densidad variando los nodos virtuales.

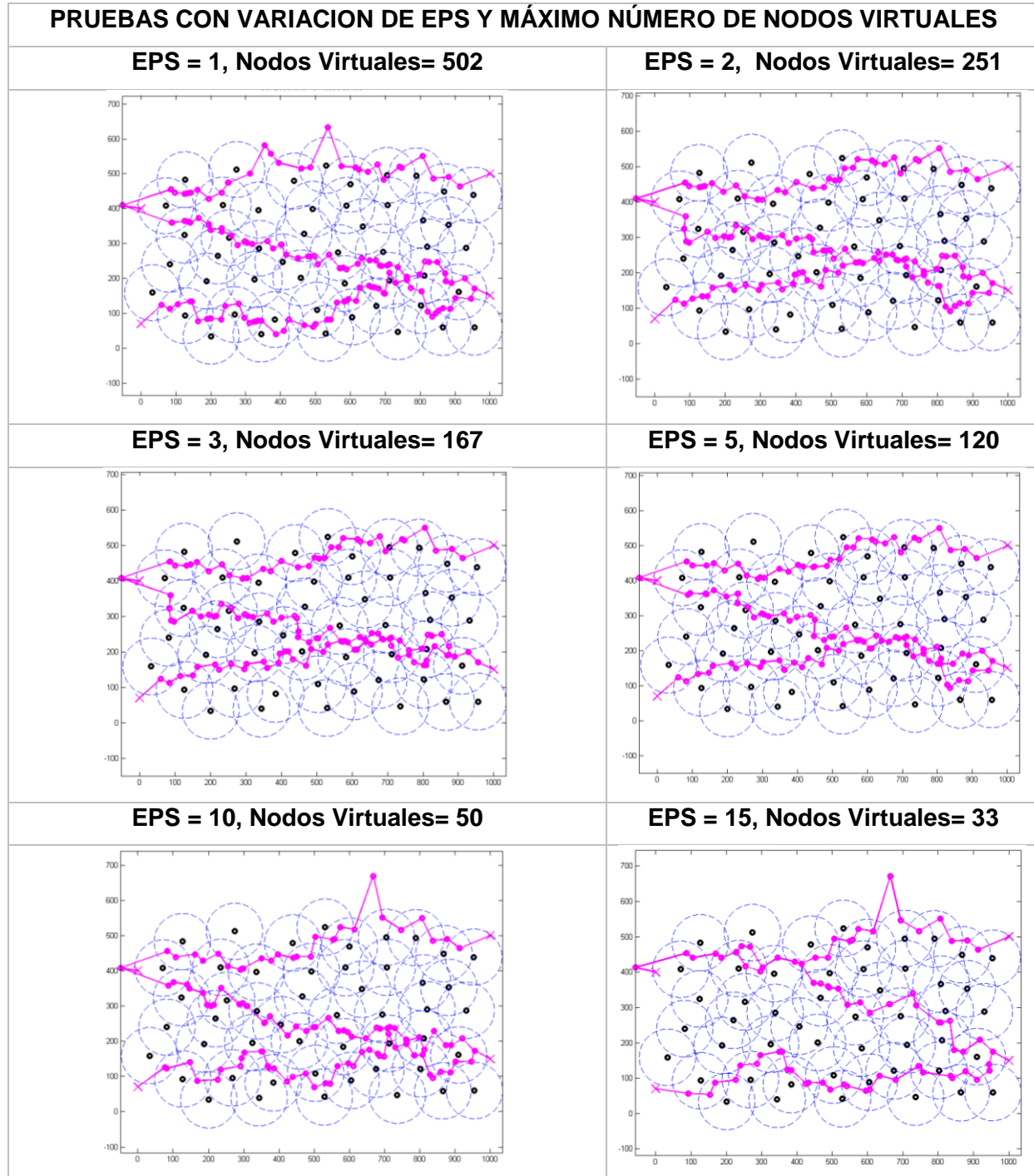
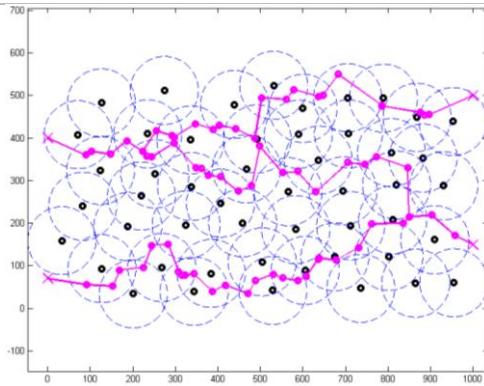


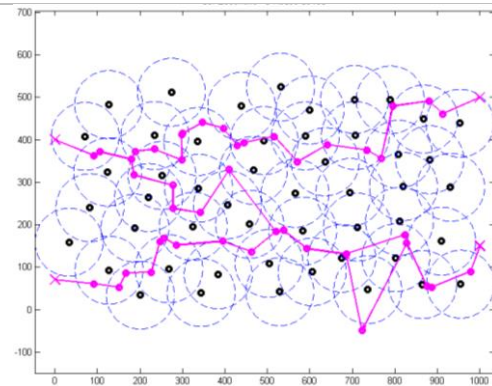
Tabla 12. Continuación del bosquejo de topología de red con densidad moderada variando nodos virtuales.

PRUEBAS CON VARIACION DE EPS Y MÁXIMO NÚMERO DE NODOS VIRTUALES

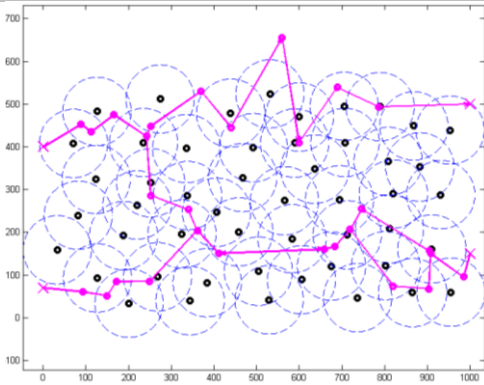
EPS = 20, Nodos Virtuales= 25



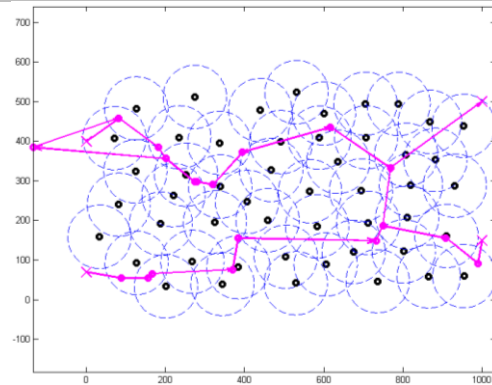
EPS = 25, Nodos Virtuales= 20



EPS = 30, Nodos Virtuales= 16



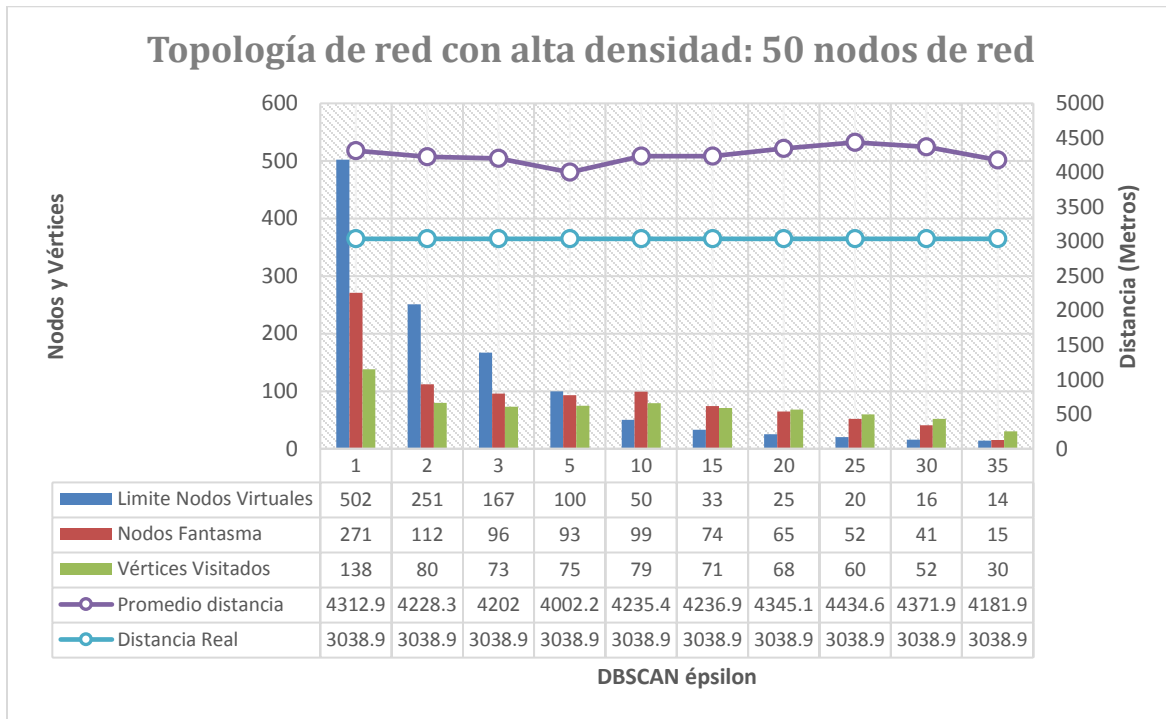
EPS = 35



Las Tablas 11 y 12 muestra graficamente el comportamiento del algoritmo cuando el parametro EPS varia asi como la Gráfica 7, que presenta un resumen de los resultados. Las imagenes muestran la diferencia en la trayectoria; mientras el parametro epsilon sea mas pequeño, las paradas que el nodo movil realiza son menos dispersas. Esto se puede confirmar en la misma grafica donde hay mayor numero de vertices de Voronoi visitados cuando el valor de epsilon es menor.

Otra característica que se observa, es que la distancia promedio que se desvía el nodo movil es de 1218.15 metros donde la mínima desviación es de 963.3 metros y la desviación más grande es de 1395.7 metros.

Gráfica 7. Gráfica de comportamiento del algoritmo con variación de nodos virtuales



Por otro lado, el número de nodos virtuales y el valor de ϵ son determinantes para aumentar el número de paradas que el nodo móvil realiza durante su trayectoria, representados por los vértices de Voronoi. Cabe señalar que mientras más paradas realice el nodo móvil, mayor es la distancia que el móvil se desvía de su destino; por ende, mientras más nodos virtuales y el valor ϵ tiende a 1, la distancia que el nodo móvil recorre es mayor.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

En esta tesis se propuso un algoritmo que permite a un nodo móvil evitar regiones donde la cobertura es de 2, 3, o más de 3 nodos de red y de esta manera tomar la decisión de transmitir o no. Esta medida se considera a causa de la existencia de algoritmos capaces de calcular la ubicación del nodo móvil cuando atraviesa un campo sensado por nodos de red. Sin embargo, los algoritmos de ubicación geográfica calculan la ubicación del nodo móvil con un rango de error que depende de la cobertura de 1 nodo, 2 nodos, 3 nodos de red o más. Esta es una debilidad por parte de los algoritmos de localización geográfica el cual es utilizado para aumentar el error de ubicación por parte del nodo móvil. El algoritmo propuesto aprovecha dicha debilidad evitando dichas regiones por medio de la detección de clústeres con la ayuda de nodos virtuales. Las pruebas realizadas con un programa desarrollado en MATLAB muestran que el algoritmo evita regiones donde la localización sería más exacta.

De acuerdo a la hipótesis establecida al inicio de la tesis:

“Dado un nodo móvil con receptor GPS y una red monitoreada inalámbricamente capaz de calcular la posición del nodo móvil, es posible que el nodo móvil atraviese dicha región monitoreada estimando y detectando regiones cuya cobertura es de 2 o más nodos de red con el fin de evitarlos, y que la red calcule su ubicación actual con un mayor error”. Se supuso que los nodos de red y el nodo móvil son capaces de estimar la potencia recibida, y por ende calcular la distancia de su posición geográfica y la fuente de la potencia recibida. Por último, se supuso que el radio de cobertura del nodo móvil y los nodos de red se fijaron con la misma longitud. En el capítulo anterior se plasman los resultados de las pruebas realizadas, donde se muestran tres escenarios (baja densidad de nodo de red, densidad media y alta densidad). En las gráficas 2, 4 muestran que el porcentaje de cobertura mayor se encuentran en los casos para la cobertura de 1 y 2 nodos de red. Para el tercer escenario, alta densidad de nodos de red, la mayoría de los nodos visitados se encuentran en los casos de cobertura de 2 y 3 nodos de red debido los nodos virtuales son denso-alcanzables a los puntos centrales. Por lo que se concluye que la hipótesis es cierta.

5.1 Trabajo futuro

Como se mencionó en el capítulo de resultados, las regiones se detectan por medio de los clústeres generados por el algoritmo de agrupación DBSCAN. El algoritmo DBSCAN realiza agrupaciones por densidad de puntos. En la literatura se encuentra distintos algoritmos de agrupación para la generación de clústeres. En el trabajo a futuro, se propondrá un análisis en el cual se comparará el porcentaje de cobertura con distintos algoritmos de agrupación de puntos.

REFERENCIAS

- [1] L. F. García Jiménez, «Desarrollo de Algoritmos para Conocer la Ubicación de Terminales Móviles y Fijas para Redes Inalámbricas,» de *Tesis de Doctorado en Ciencias de la Computación*, México D.F., Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, 2015.
- [2] P. Ryan Morin, *Online Routing in Geometric Graphs*, Ottawa, Ontario: Thesis of Doctor of Philosophy of Computer Science School, Carleton University, 2001.
- [3] B. Hofmann-Wellenhof, *Global Positioning Systems: Theory and Practice*, Springer, 2001.
- [4] D. Moore, «Robust distributed network localization with noisy range measurements,» *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 50-61, 2004.
- [5] L. Doherty, «Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks,» *Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings*, vol. 3, pp. 1655-1663, 2001.
- [6] B. Karp, «GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks,» *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 234-254, 2000.
- [7] K. Evangelos, H. Singh y J. Urrutia, «Compass Routing on Geometric Networks,» in *Proc. 11 th Canadian Conference on Computational Geometry*, 1999.
- [8] P. M. Prosenjit Bose, «Online Routing on Triangulations,» *International Symposium on Algorithms and Computation*, pp. 113-122, 1999.
- [9] W. Zhang, «Anti-Detection: How does a Target Traverse a Sensing Field,» *Embedded Software and Systems*, p. 7, 2005.
- [10] S. P.-F. w. L. I. i. a. S. Field, «Wenzhe Zhang,» *International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks*, pp. 119-130, 2006.
- [11] J. Gao, «Geometric Algorithms for Sensor Networks,» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, pp. 27-51, 2012.

- [12] M. de Berg, O. Cheong, M. van Kreveld y M. Overmars, *Computational Geometry, Algorithms and Applications*, Berlin Heidelberg: Springer, 2008.
- [13] E. Ruiz Lizama y E. Raffo Lecca, «Geometria Computacional: El problema del Cerco convexo,» *Revista de la Facultad de Ingeniería*, vol. 8, pp. 69-72, 2005.
- [14] M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander y X. Xu, «A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise,» *In Kdd*, vol. 96, nº 34, pp. 226-231, 1996.
- [15] D. P. González, *Algoritmos de Agrupamiento basados en densidad y Validación de Clusters*, Castellón: Tesis Doctoral de la Universitat Jaume I, 2010.
- [16] Bose, «Online routing in convex subdivisions,» *Algorithms and Computation*, pp. 1-90, 2000.