



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CONECTIVIDAD Y REDES DE ORDENADORES

Proyecto de Investigación y Desarrollo previa la
obtención del Grado Académico de Magíster en
Conectividad y Redes de Ordenadores

TEMA:

**Optimización del proceso de difusión en Redes
Metropolitanas.**

AUTOR:

ING. VINICIO MARCELO AMAYA DÍAZ

TUTOR:

ING. BYRON OVIEDO B. MSc.

QUEVEDO-LOS RÍOS-ECUADOR

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CONECTIVIDAD Y REDES DE ORDENADORES

Proyecto de Investigación y Desarrollo previa la
obtención del Grado Académico de Magíster en
Conectividad y Redes de Ordenadores

TEMA:

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN EN REDES
METROPOLITANAS.**

AUTOR:

ING. VINICIO MARCELO AMAYA DÍAZ

TUTOR:

ING. BYRON OVIEDO B. MSc.

QUEVEDO-LOS RÍOS-ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN

Ing. Byron Oviedo B. MSc., Docente Tutor del Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título Académico de Magíster en Conectividad y Redes de Ordenadores

C E R T I F I C A

Que el Ing. Vinicio Marcelo Amaya Díaz, ha cumplido con la elaboración del Proyecto de Tesis titulado: **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN EN REDES METROPOLITANAS. PROPUESTA ALTERNATIVA”**.

El mismo que está apto para la presentación y sustentación respectiva.

Ing. Byron Oviedo B. MSc.

DOCENTE- ASESOR

AUTORÍA

Los criterios ideas, comentarios, conclusiones y recomendaciones son de mi autoría, excepto aquellos referentes que se encuentran debidamente citados.

Asumo la responsabilidad por el contenido de esta investigación

Ing. Vinicio Marcelo Amaya Díaz

Autor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo a mi madre Inés Díaz Díaz, que con sabiduría, comprensión, deseo y amor, inculco a que continuara con mis estudios superiores. Por ellos le agradezco de corazón que haya confiado en mí sin ese apoyo no hubiese logrado este triunfo.

También dedico este trabajo a quien hizo posible todo esto mi padre Carlos Amaya Lozano que con sus consejos mantuvieron en mí la esperanza en todo.

A mis hermanos Carlos e Inés, que con su estímulo espiritual hicieron que siguiese adelante por eso espero que este trabajo sea una esperanza para su mañana.

Vinicio M. Amaya Díaz.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los profesionales que con mucha paciencia impartieron sus conocimientos en las aulas, durante el tiempo de formación como Magíster, a toda las personas que contribuyeron en la culminación de este proyecto de investigación al Ing Byron Oviedo Bayas, Director de proyecto, al Ing Roque Vivas Director de la Unidad de Posgrado, también quiero extender mis agradecimiento al Dr. Amilkar Puris Cáceres quien con su valiosa colaboración ayudo a la elaboración de este Proyecto de investigación.

El Autor

PRÓLOGO

En el trabajo de investigación “**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN EN REDES METROPOLITANAS**” el investigador tiene como propuesta la optimización del proceso de difusión en redes MANETs, aplicando la meta heurística NSGA-II, que brinda la capacidad de generar múltiples solución para el problema planteado, como lo establecen los algoritmos genéticos, además que muestra un estudio comparativo con otras soluciones.

Presenta un flujo semántico, en concordancia con el problema detectado, tomando como base el estudio previo para poder desarrollar todos los objetivos trazados en la investigación. Con relación a la presentación de resultados, se observa claramente que se tomó como base el Conjunto de soluciones óptimas de Pareto para obtener la mejor solución al problema presentado. Por lo mencionado anteriormente y el aporte científico reflejado en la investigación, considero que debe ser implementado en futuros diseños que requieran la obtención de soluciones múltiples.

Ing. MSc. Johnny Xavier Bazaña Zajia

RESUMEN EJECUTIVO

El avance acelerado de tecnologías que permiten una comunicación inalámbrica, el rápido aumento de dispositivos que son aptos de conectarse a esta tecnología. Las redes MANETs han elevado de manera considerable la oportunidad de investigaciones sobre redes de computadoras, donde los nodos móviles son capaces de ingresar y desaparecer de manera aleatoria, y este tipo de configuraciones deben tener la capacidad de acoplarse a estos usuarios.

La problemática planteada y las principales investigaciones seguidas, para sumarse al desarrollo actual, se describen en función de los algoritmos evolutivos. Seguidamente se expresan objetivos trazados en la presente investigación. Para finalizar se muestra un pequeño resumen de cómo está organizado el mismo.

Se utilizó el algoritmo genético multi-objetivo NSGA-II para obtener información que se expresan los resultados comparativos de la métrica hipervolumen, donde los mejores resultados son alcanzados con el algoritmo seguido por PAES y MOLS.

De acuerdo a la ejecución de múltiples algoritmos y tomando en consideración las pruebas efectuadas con el algoritmo NSGA-II, se considera la difusión para que sea evaluado por las autoridades universitarias.

ABSTRACT

The rapid progress of technologies that enable a wireless communication and the rapid increase in devices those are suitable to connect to this technology. The MANETs networks have raised considerably the opportunity for research on computer networks, where mobile nodes are able to enter and disappear in random, and this type of configurations should have the ability to be attached to these users.

The issues raised and the main investigations followed, to join the current development, are described on the basis of the Evolutionary Algorithms. Then express objectives set out in the present investigation. To finish shows a small summary of how it is organized the same.

Used the multi-objective genetic algorithm NSGA-II for information that are expressed the comparative results of the metric hipervolumen, where the best results are achieved with the algorithm followed by PAES and MOLS.

According to the implementation of multiple algorithms and taking into consideration the tests carried out with the algorithm NSGA-II, is considered the dissemination to be evaluated by the university authorities.

Contenido

CERTIFICACIÓN.....	4
AUTORÍA	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
El Autor	7
PRÓLOGO	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
ABSTRACT	10
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. Ubicación y Contextualización de la Problemática.	17
1.2. Situación actual de la problemática	18
1.3. Problema de investigación.....	19
1.3.1. Problema General.....	19
1.3.2. Problemas Derivados.....	19
1.4. Delimitación del problema.....	19
1.5. Objetivos.....	20
1.5.1. Objetivo General.....	20
1.5.2. Objetivos Específicos.....	20
1.6. Justificación	20
1.7. Cambios esperados con la investigación.....	21
CAPÍTULO II:	22
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1. Fundamentación conceptual.....	23
2.2. Fundamentación Teórica	25
2.2.1. ¿Qué son las MANETs?	25
2.2.1.1. Características de las Redes MANET.....	27
2.2.1.2. MANET en Entornos Militares.....	28
2.2.1.3. Topología.....	32

2.2.1.4.	Optimización del proceso de difusión en MANETs	34
2.2.1.5.	Redes Móviles Ad Hoc Metropolitanas. El Simulador Madhoc	38
2.2.2.	Algoritmos genéticos.....	39
2.2.2.1.	Clases de algoritmos genéticos	41
2.2.2.2.	Algoritmo Genético Simple.....	42
2.3.	Marco legal	49
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....		51
3.1.	Métodos utilizados en la investigación.....	52
3.2.	Construcción metodológica del objeto de Investigación	53
3.3.	Elaboración del Marco Teórico	54
3.4.	Recolección de Información Empírica.....	54
3.5.	Descripción de la Información obtenida.	54
3.6.	Análisis e Interpretación de Resultados.....	54
3.7.	Construcción del Informe de Investigación	54
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		56
4.1.	Definición de las funciones objetivos involucradas en el proceso de optimización.....	57
4.2.	Codificación del problema: Modelo para aplicar el NSGA II	60
4.3.	Comparativa con otros algoritmos	65
CAPÍTULO V:.....		68
CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.....		68
5.1.	Conclusiones Generales.....	69
5.2.	Recomendaciones	70
Bibliografía		71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento General de una Red Mesh.	26
Figura 2. Estados de Operación de una MANET.	28
Figura 3. Restricciones del Ambiente Militar.	31
Figura 4. Arquitectura Plana	33
Figura 5. Forma de llevar a cabo el enrutamiento en una topología jerárquica	34
Figura 6. Ejemplo de MANETs Metropolitana	38
Figura 7: Ejemplo de cruce en un solo punto	43
Figura 8: Ejemplo cruce en dos puntos	43
Figura 9: Ejemplo cruce uniforme	43
Figura 10: Cálculo de crowding distance los puntos son las soluciones que pertenecen al mismo frente no dominado	48
Figura 11: Diagrama de bloque del algoritmo NSGA II	48
Figura 12: Ejemplo de codificación	62
Figura 13. Diagrama de flujo del algoritmo implementad	64
Figura 14: Configuración inicial del sistema	65
Figura 15: Conjunto de soluciones óptimas de Pareto	66
Figura 16: Topología de la solución B	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación entre algoritmos basados en Pareto y no basados.	45
Tabla 2. Resultados de la métrica Hipervolumen	65
Tabla 3. Resultados de la métrica Spread	66

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo tecnológico ha formado parte imprescindible en el vivir de las poblaciones. Las redes inalámbricas van ocupando cada vez más plazas haciendo que su ejecución abarque la mayor área posible. Para estos es ineludible el manejo de protocolos que auxilien a dar un buen y mejor servicio de las redes introducidas.

Constan diferentes tipos de medios con los cuales se puede comunicar, uno de ellos de la misma familia son los celulares, portátiles, Tablet, lo que han dispuesto que las redes se desarrollen de modo acelerado y se necesite de tecnología móvil en el mayor número de plazas e instituciones.

El vertiginoso desarrollo de tecnologías de comunicación inalámbricas, la proliferación de los dispositivos mencionados anteriormente, las redes móviles ad hoc (MANETs¹) han crecido como un importante campo de investigación intrínsecamente en las redes de ordenadores, por un lado, no demandan el soporte de ningún servicio básico previo y, por otro, se pueden extender y utilizar a un valor muy bajo. (Valero, Metaheurísticas avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

Las MANETs están formadas por un conjunto de terminales de comunicación denominados nodos que se mueven y organizan de alguna forma arbitraria. La movilidad de estos dispositivos, en conjunto con las conexiones inalámbricas de capacidad definida, hace que la topología de la red se modifique velozmente y de manera impredecible. Este procedimiento cambiante establece uno de los primeros obstáculos para obtener comunicaciones útiles. (Valero, Metaheurísticas avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

Esta investigación se encamina al manejo de redes metropolitanas que perfeccionen la propagación y enrutamiento a diferentes lugares sin crear

¹ MANETs Mobile ad hoc network

problemas al momento de vincular a este tipo de redes, logrando una mayor sociabilidad y menos conflictos de conexión. Se plantea una propuesta para la optimización del proceso de difusión en redes MANETs.

Con este contexto se han presentado algunas soluciones basadas en metaheurísticas multiobjetivos con la utilización de los pseudocódigos cMOGA y MOCeII

El algoritmo NSGA-II es un modelo multiobjetivo de los que mejor resultados ha presentado en diferentes problemas como es la optimización de procesos de difusión en redes metropolitanas.

De manera que en la presente investigación se estudia cómo aplicar el algoritmo NSGA II en el problema de optimización de las redes MANETs.

En el Capítulo I se detalla de manera general la ubicación de la problemática, los problemas y su delimitación, además de los objetivos de la investigación, los que permitirán delimitar la investigación.

En el Capítulo II se hace referencia a la fundamentación conceptual y teórica necesaria para determinar la viabilidad de la investigación en base a una bibliografía, que hace un aporte científico y que permite determinar el estado del arte.

En el Capítulo III se determinan los métodos y la metodología utilizada en la investigación, para realizar la recolección de la información empírica y elaborar la construcción del informe de investigación.

En el Capítulo IV se muestran las conclusiones y recomendaciones finales de la investigación.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Ubicación y Contextualización de la Problemática.

Las comunicaciones a nivel mundial no son un requerimiento son una necesidad, debido a que la gran mayoría de personas usan sistemas de comunicaciones, desde un simple teléfono celular hasta equipos de comunicaciones los cuales incluyen entre sus funciones GPS, Wi-Fi, conexión a su correo empresarial, los mismo que permiten leer y escribir un correo electrónico desde estos equipos, para lo cual se ha hecho necesario la evolución y la aparición de nuevos estándares de comunicaciones combinada con la convergencia, facilitando la portabilidad de los equipos, su reducido tamaño, a costos más accesibles.²

La situación actual del país ha evolucionado, necesitando de nuevos servicios que generen un avance tecnológico, en atención al crecimiento de la demanda de todos los sectores

Podemos afirmar con certeza que la incorporación de inteligencia a los tradicionales sistemas de telecomunicaciones, representa hoy en día uno de los principales motores de la productividad y del crecimiento económico en el mundo.

El cantón Quevedo perteneció políticamente como parroquia al cantón Pujilí, por decreto dado el 22 de septiembre de 1852 en Guayaquil. La primera vez que figura Quevedo en la cartografía nacional fue en el año 1856 en el croquis que se editó en París por el Ing. Sebastián Wisse.

El 7 de Octubre de 1943, un decreto firmado por el Presidente Constitucional de la República, Dr. Carlos Alberto Arroyo del Río, estableció la categoría de cantón para Quevedo, centro agrícola que por su actividad hacía presagiar un futuro de gran valía.

En efecto, Quevedo había nacido como una población preferida para la actividad agropecuaria, siendo el cacao, banano, y las frutas los productos

² <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/370>

más famosos y extraordinarios por su calidad, los que se han ligado a las condiciones que favorecen la prodigalidad de la naturaleza del cantón, confluyendo con importantes ríos de la zona. Se encuentra ubicada a 1° 20' 30" de Latitud Sur y 79° 28' 30" de Longitud occidental.

Está limitado por:

Norte: Buena Fe y Valencia.
Sur: Mocache.
Este: Ventanas y Quinsaloma.
Oeste: El Empalme.

El desarrollo de este trabajo se lo llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en la ciudad del mismo nombre. Av. Quito, km 1,5 vía Santo Domingo.

1.2. Situación actual de la problemática

Al pasar de los años, las nuevas tendencias tecnológicas van buscando mejorar sus servicios, ampliando las áreas de servicio y expandiéndose en todos los niveles que sea necesario con el afán de copar las necesidades requeridas.

Los centros educativos son una plataforma primordial para la aplicación de los nuevos recursos que brinda la tecnología, es así que con el creciente número de usuarios se da la necesidad de implementar nuevos métodos tecnológicos capaces de satisfacer las inquietudes y necesidades que se presenten.

Los dispositivos móviles son cada vez más comunes, este tipo de tecnología abarca más espacios, en la mayoría de instituciones se cuenta con tecnología inalámbrica que permite a las personas, tener acceso a las redes, pero por la creciente demanda que se da es necesario mejorar los

requerimientos de los usuarios, con el afán de brindar un buen servicio. Las redes metropolitanas además de ser inalámbricas son independientes de cierta infraestructura que se requieren para otro tipo de redes.

Al aumentar el número de usuarios se acrecienta la necesidad de ampliar la cobertura de redes inalámbricas, evitando de esta forma se colapse la red, lo cual generaría problemas entre los beneficiarios de la tecnología que se ofrece. El estudio de nuevas técnicas y aplicaciones inalámbricas en redes metropolitanas y en los diferentes protocolos de enrutamiento que coadyuvan en resultados que benefician los problemas de velocidades de transmisión y en la disminución de costos de implementación.

Este problema se ha estudiado por diferentes autores, presentando soluciones basadas en técnicas metaheurísticas, por la alta complejidad que presenta, tal es el caso del algoritmo genético multiobjetivo celular.

1.3. Problema de investigación

1.3.1. Problema General

¿Cómo optimizar el proceso de difusiones en las redes metropolitanas?

1.3.2. Problemas Derivados

- ¿Cuáles son los objetivos fundamentales para resolver el problema optimización en las redes metropolitanas?
- ¿Se puede encontrar un modelo matemático multiobjetivo para optimizar las Redes Metropolitanas?
- ¿Serán prometedores los resultados obtenidos por el algoritmo NSGA-II en instancias de prueba del problema en comparación con otras metaheuristas aplicadas al mismo problema?

1.4. Delimitación del problema

CAMPO: Ciencias de la Informática

ÁREA: Telecomunicaciones.

ASPECTO: Desarrollo Académico y Tecnológico

TEMA: “**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN EN REDES METROPOLITANAS**”

PROBLEMA: ¿De qué forma la meta-heurística NSGA-II incide en la optimización del proceso de difusión en Redes Metropolitanas?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Aplicar la meta-heurística multiobjetivo NSGA II para la optimización del proceso de difusión en redes metropolitanas (MANETs).

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Determinar los objetivos involucrados en el problema de la optimización de las MANETs
- Obtener un modelo para aplicar el algoritmo NSGA-II al problema
- Realizar un estudio comparativo con otras soluciones presentadas en el estado del arte.

1.6. Justificación

En la actualidad, las redes inalámbricas, abarcan una gran área de expansión tecnológica, dependen en cierta parte de sistemas alámbricos y nodos que dependen entre ellos para su funcionamiento, dado como resultados en determinadas ocasiones que la transmisión de la información

tienda a colapsar por diversos factores que llegan interrumpir el correcto funcionamiento de los equipos.

El crecimiento de la demanda de acceso a las redes y la aparición de nuevos consumidores implica que se deben ampliar las capacidades de las redes, adicionando el ancho de banda y aumentando elementos a la red.

La investigación de las ventajas y beneficios de las redes metropolitanas y las formas de difusión de las mismas sirven de plataforma para su posterior aplicación, dando paso a nuevas tecnologías que pueden ser usadas y estudiadas.

1.7. Cambios esperados con la investigación

- Los problemas en la propagación de información son reducidos con el uso de las MANET's.
- La comunidad empoderada con los cambios innovadores, teniendo nuevas alternativas de redes inalámbricas, que benefician la transmisión de datos.
- Se cuenta con una nueva línea de investigación para desarrollo tecnológico.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Fundamentación conceptual

2.1.1. MANETs

Con el intención de desarrollar una definición para las redes MANET, es obligatorio mencionar en primera instancia al concepto de redes ad hoc. En términos simples, una red ad hoc no requiere una infraestructura preestablecida y debe establecerse sobre una demanda creciente, aún si los nodos que la estableen son estacionarios (Draves, 2004) (Maya, 2009)

2.1.2. Heurística

Es un “procedimiento simple, a menudo basado en el sentido común, que se supone que ofrecerá una buena solución (aunque no necesariamente la óptima) a problemas difíciles, de un modo fácil y rápido”. (Zanakis y Evans, 1981)

2.1.3. Meta heurística

La técnica meta-heurística de los algoritmos genéticos fue ideada por Holland en 1975 y está inspirada en los procesos de adaptación de los seres vivos. Los resultados de los patrones de evolución de los seres vivos han sido sobradamente probados con éxito (a lo largo de la evolución de las especies) y constituyen la base de los algoritmos genéticos. Por un lado, estos patrones permiten que con el transcurso del tiempo se exploren continuamente nuevas posibilidades y, por otro, y en condiciones normales, raramente conducen a la obtención de individuos absolutamente desadaptados e incapaces de sobrevivir (Holland, 1975).

2.1.4. Algoritmos genéticos

Los algoritmos evolutivos (AEs) son procedimientos de búsqueda y optimización que tienen sus orígenes e inspiración en el mundo biológico. Se caracterizan por imitar procesos adaptativos de los sistemas naturales y

se basan en la supervivencia del mejor individuo, siendo un individuo una solución potencial del problema que se implementa como una estructura de datos. Trabajan sobre poblaciones de soluciones que evolucionan de generación en generación mediante operadores genéticos adaptados al problema. En este artículo se explica el algoritmo genético simple que parte de una población de soluciones, y en base al valor de la función de adaptación para cada uno de los individuos (soluciones) de esa población, se seleccionan los mejores individuos (según dicha función) y se combinan para generar otros nuevos. Este proceso se repite cíclicamente hasta que se cumple un criterio de parada. También se muestra una introducción a los algoritmos genéticos paralelos, puesto que un algoritmo genético tiene una estructura que se adapta perfectamente a la paralelización. Por último se hace una breve descripción de algunas aplicaciones reales de los algoritmos evolutivos (Hidalgo Pérez, 2002). (Pérez, 2002)

2.1.1. Algoritmos evolutivos

Este término es empleado para describir sistemas de resolución de problemas de optimización o búsqueda basados en el ordenador empleando modelos computacionales de algún mecanismo de evolución conocido como elemento clave en su diseño e implementación. Los algoritmos evolutivos trabajan con una población de individuos, que representan soluciones candidatas a un problema. Esta población se somete a ciertas transformaciones y después a un proceso de selección, que favorece a los mejores. Cada ciclo de transformación y selección constituye una generación, de forma que después de cierto número de generaciones se espera que el mejor individuo de la población esté cerca de la solución buscada. Los algoritmos evolutivos combinan la búsqueda aleatoria, dada por las transformaciones de la población, con una búsqueda dirigida dada por la selección (Andaluz, <http://www.it.uc3m.es/>, 2012).

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. ¿Qué son las MANETs?

Con el propósito de construir una definición para el concepto de redes MANET, hay que mencionar en inicio el concepto de redes ad hoc. De manera sencilla, una red ad hoc no necesita una infraestructura preestablecida y puede conformarse dependiendo de la demanda de clientes que tenga en un momento determinado, con nodos fijos y móviles (Draves, 2004)

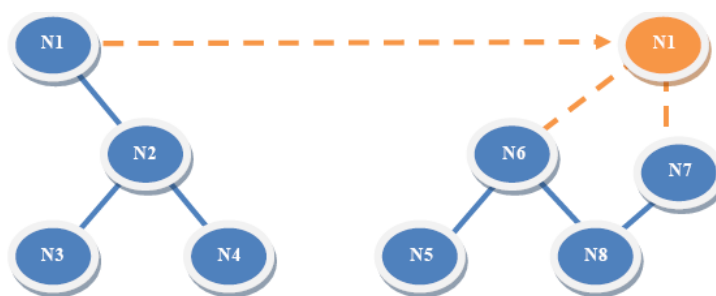
Todo lo expresado nos lleva a la determinación que existen dos perspectivas que pueden ser abordadas desde el punto de vista de configuración de la red: la primera, tiene como referencia que cada uno de los nodos está en el rango de cobertura inalámbrica de los otros; en este sentido, la red ad-hoc está completamente conectada. Sin embargo, una conectividad total puede ser inviable en la práctica, no sólo por la dificultad para lograr una cobertura plena sino por el desperdicio de potencia para los terminales. La segunda perspectiva, un poco más interesante, considera que todos los nodos en la red sin mantenerse necesariamente en el área de cobertura de otros nodos inalámbricos; ante la ausencia de una infraestructura de enrutadores disponible, es evidente la necesidad de un enrutamiento multisalto entre los nodos. Esta característica evoluciona el concepto de redes ad hoc hacia el concepto de redes Mesh, también conocidas como redes de infraestructura instantánea (Draves, 2004)

En las redes Mesh, los nodos no sólo operan como host sino también como enrutadores, reenviando los paquetes en representación de otros nodos que no se encuentran directamente en el rango de transmisión inalámbrica de sus destinos. Esto significa que cada nodo puede estar conectado con otro en la red de forma directa o indirecta, mejorando así la confiabilidad,

ya que pueden existir muchos caminos posibles para conectar dos nodos específicos (Bommer, 2007)

La Figura 1 hace una referencia al desempeño de una red Mesh simple, compuesta por ocho nodos y sus respectivos enlaces. Los nodos pueden moverse entre ellos; mientras esto sucede, varios enlaces se cambian y se y restablecen otros. La Figura 1 establece cómo el nodo N1 se desconecta de N2 y al acercarse a N6 y N7 se activa nuevamente. La mayoría de algoritmos permiten que nuevos nodos móviles y la desaparición de nodos anteriormente establecidos (NIST, 2008)

Figura. 1. Funcionamiento General de una Red Mesh.



Fuente: INTERACTIC
Autor: Ing. Vinicio Amaya

Tomando como base el contexto anterior, una MANET puede ser considerada como auto-configurable de enrutadores móviles y sus hosts asociados, conectados a través de enlaces inalámbricos formando una topología arbitraria (Mobile Ad Hoc Networks (MANET), 2008)

En este caso, los nodos poseen la habilidad para organizarse aleatoriamente y moverse libremente; así, una red MANET puede tener una operación de manera autónoma o ser parte de una red de mayor tamaño. No se advierte en primera instancia una variación importante en relación a las redes Mesh; por este motivo, es imprescindible explicar la relación que existe entre estos dos conceptos que habitualmente deben ser comentados como sinónimos. Las redes Mesh como las redes MANET utilizan las

capacidades de networking ad hoc y las redes MANET utilizan la técnica multisalto definida por las redes Mesh. Las MANET pueden ser consideradas como una especialización de las redes Mesh para ambientes móviles (Eva Maya, 2009).

2.2.1.1. Características de las Redes MANET

Las redes MANET tienen particularidades que las hacen atractivas para desempeñarse en ambientes que requieren una alta movilidad y además una gran flexibilidad en la configuración de la red. En primera instancia, la capacidad multisalto es esencial para que las redes MANET logren dos objetivos importantes: por un lado, extender la cobertura sin sacrificar la capacidad del canal y por otro, proporcionar conectividad sin línea de vista (Srivastava, 2008).

Como resultado, se han incrementado las tasas de transferencia utilizando enlaces de menor distancia, todo esto sin perder la cobertura, ocasionando un descenso de interferencia entre los nodos y concibiendo un re-uso de frecuencia más eficaz.

En este sentido, la creación de la topología y conectividad de la red dependen exclusivamente de las movilidades de los usuarios que la integran, gracias a las capacidades que tienen los nodos finales. Esta característica impone retos importantes en los protocolos de enrutamiento, en la configuración y despliegue de la red (Shweta, 2008)

Por otro lado, gracias al cambiante desempeño de las redes MANET, éstas pueden pasar por diferentes estados de operación que pueden clasificarse de acuerdo con la tasa de conexiones y desconexiones, como se muestra en la Figura 2. Tomando en consideración la figura, una red MANET se considera:

Estable si maneja una tasa baja de conexiones y baja tasa de desconexiones; de alta conexión, si existe una tasa alta de conexiones y una tasa baja de desconexiones; de alta desconexión, si la tasa de desconexiones es alta y la tasa de conexiones es baja; altamente dinámica si existe una tasa elevada de conexiones y desconexiones. Así, este tipo de redes puede funcionar en diferentes estados en diferentes instantes, o un segmento de la red puede funcionar en modos diferentes al mismo tiempo (S. Radhakrishnan, 2003)

Figura 2. Estados de Operación de una MANET.



Fuente: Bommer, 2007
Autor: Ing. Vinicio Amaya

2.2.1.2. MANET en Entornos Militares

En la medida que los requerimientos de movilidad y ubicuidad se hacen más rigurosos, las redes MANET abren un universo de incalculables aplicaciones potenciales. Sin lugar a dudas, uno de los espacios de aplicación más interesante tiene ver con los entornos militares, al punto que el despliegue de redes MANET en las distintas operaciones de este tipo, es materia de investigación por parte del Departamento de Defensa de los

Estados Unidos y otros organismos homólogos en distintos países (L. Stotts, 2008)

A través del uso de MANET, las diferentes fuerzas que participan en una misión pueden utilizar un medio de comunicaciones conjunto que permita a cada uno de los nodos tácticos (helicópteros, aviones, soldados, etc.) comunicarse entre sí, al tiempo que están conectados con los centros de comando y control. Por otro lado, las operaciones militares se ejecutan frecuentemente en lugares donde la infraestructura de comunicaciones es inexistente, escasa o inadecuada; la posibilidad de construir redes bajo demanda a medida que las necesidades así lo exijan, es la característica más atractiva de las redes MANET en este tipo de entornos (J. Burbank, 2006)

Igualmente, las redes de sensores son otro escenario de aplicación interesante que complementa los intereses del entorno militar; la posibilidad de tener a disposición una red de pequeños dispositivos inalámbricos capturando información detallada del terreno o condiciones ambientales que puedan representar una amenaza para el desarrollo de las operaciones, son de especial interés en este campo (J. Burbank, 2006).

Sin embargo, la implementación de MANET en entornos militares afronta retos importantes que deben ser solucionados antes de alcanzar una aplicación práctica. Para comprender desafíos como estos, se hace necesario analizar principalmente el contexto ideal de aplicación de redes MANET en este tipo de entornos: En una MANET militar ideal, el principal inconveniente es la seguridad, porque pueden ser dinámicos pero debe delimitarse a terminales de usuarios autorizados (J. Burbank, 2006).

De acuerdo con los requerimientos de la misión, la red puede operar de forma autónoma o ser parte de una red de mayor alcance, sin perder su rendimiento y capacidades funcionales. Los router que establecen la interfaz con la red principal son descubiertas de forma automática, si están disponibles (J. Burbank, 2006).

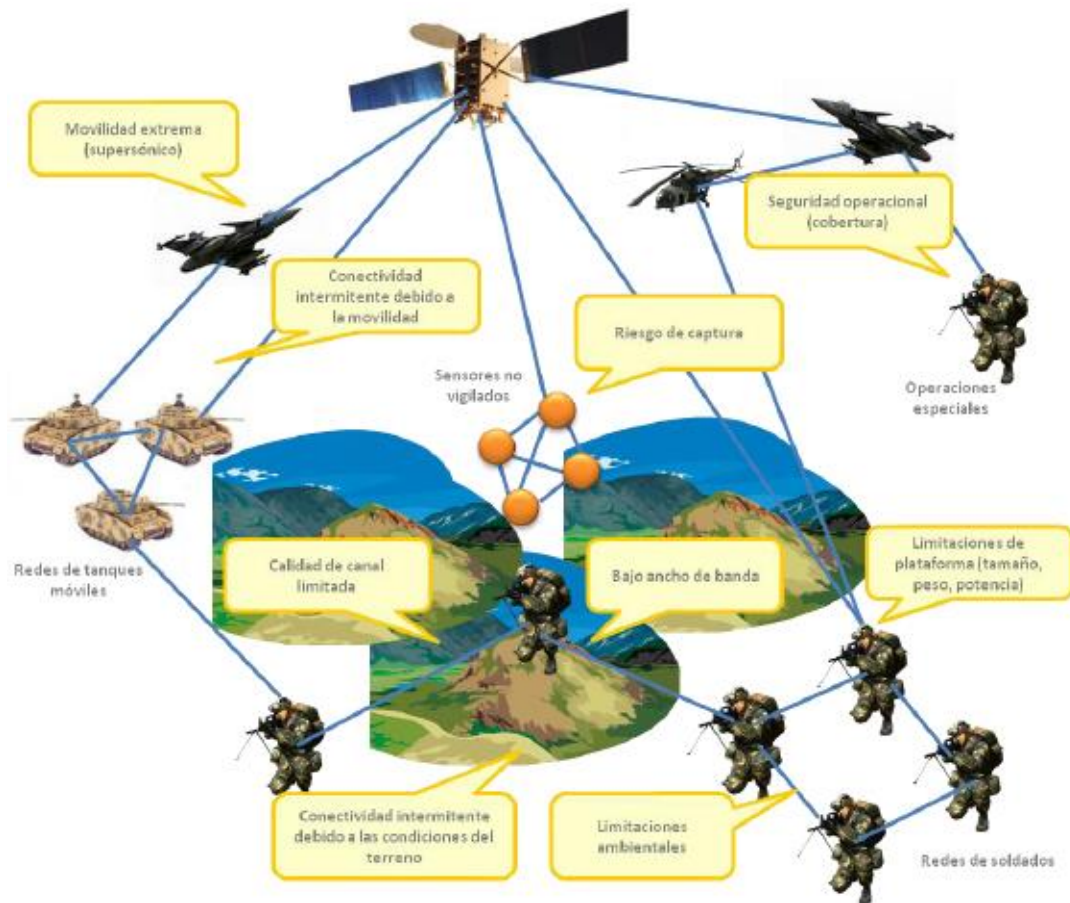
Las unidades amigas tienen acceso a los servicios de comunicación de la MANET (dentro de los límites de autorización) y los parámetros de autenticación, autorización, integridad y privacidad son configurados de forma automática y negociados en cada caso (J. Burbank, 2006).

Las comunicaciones se establecen de manera segura al interior red MANET, en modos de poca probabilidad de detección e interceptación. La red es completamente autónoma, lo cual significa que las unidades autorizadas pueden unirse, abandonar o reingresar a la MANET sin intervención manual; múltiples caminos están disponibles para enrutar la información de forma segura sin que se requiera una planeación previa. De esta manera, la cantidad de participantes puede escalar desde una pequeña escuadra hasta una brigada (J. Burbank, 2006).

Como se puede observar, este escenario es bastante ambicioso y requiere procesos de innovación tecnológica importantes antes de ser llevado completamente a la práctica. Se describen algunas dificultades que enfrenta la implementación de redes MANET en entornos militares (J. Burbank, 2006).

En primera instancia, varios tipos de sistemas aéreos, naves no tripuladas o aviones supersónicos se encuentran en el espacio de combate, lo cual implica varios grados de movilidad que deben ser manipulados por el stack de protocolos. Además, las condiciones ambientales pueden ser variables, desde selvas hasta desiertos, lo cual afecta las condiciones de propagación de las señales; debido a la necesidad de cobertura, estas condiciones se traducen en anchos de banda limitados y conexiones intermitentes con alta probabilidad de ruido.

Figura 3. Restricciones del Ambiente Militar.



Autor: Burbank, Chimento, Haberman, Kash, & Hopkins, 2006

Por otro lado, los equipos utilizados deben ser livianos, eficientes en el consumo de energía y adaptables fácilmente a las diferentes plataformas tácticas (desde aviones hasta morrales); igualmente, deben soportar condiciones adversas como polvo, arena, humedad, altas temperaturas o temperaturas extremadamente bajas en grandes alturas. Finalmente, a los desafíos planteados anteriormente se suma el alto grado de seguridad que se requiere en las comunicaciones y que puede verse comprometido por el riesgo de captura de los equipos. Aunque la aplicación práctica de MANET en entornos tan complejos como el analizado será una realidad en el corto o mediano plazo gracias a los resultados de las diversas investigaciones en curso, la piedra angular de este importante desarrollo y

los beneficios derivados de sus cualidades inherentes, ya conviven con nosotros (J. Burbank, 2006).

2.2.1.3. Topología

La topología de una red móvil ad hoc juega un papel muy importante en el desempeño de los algoritmos de control empleados en la red para los propósitos de sincronización de las transmisiones, el enrutamiento y para realizar broadcasting.

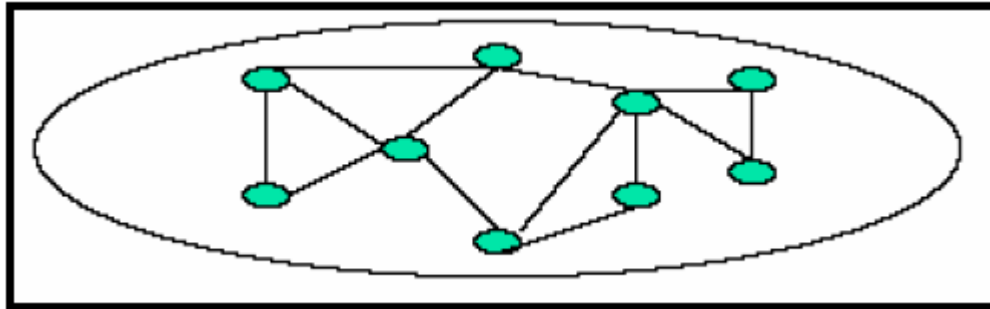
En las MANET se pueden distinguir dos tipos de topologías fundamentales: la topología plana y la topología jerárquica.

- **Topología plana.**

En este tipo de topología la red no presenta jerarquías y todos los nodos presentan funciones iguales en cuanto al enrutamiento. Las topologías planas en las redes ad hoc funcionan adecuadamente cuando las redes son de un tamaño relativamente pequeño. En este caso el enrutamiento se puede llevar a cabo de una manera óptima y el consumo de potencia es bajo. Sin embargo, una topología plana no es escalable a medida que las redes se hacen más grandes. En este tipo de topologías la tabla de enrutamiento es proporcional al número total de nodos presentes en la red.

Por lo tanto, si las redes se hacen más grandes las transmisiones requerirán un mayor ancho de banda y las tablas de enrutamiento se tendrán que intercambiar con mayor frecuencia entre los nodos, con el fin de mantener la información sobre el enrutamiento actualizada a medida que ocurren cambios topológicos en la red.

Figura 4. Arquitectura Plana



Autor: Felipe Muñoz, Informe de Redes de Computadoras I

- **Topología jerárquica.**

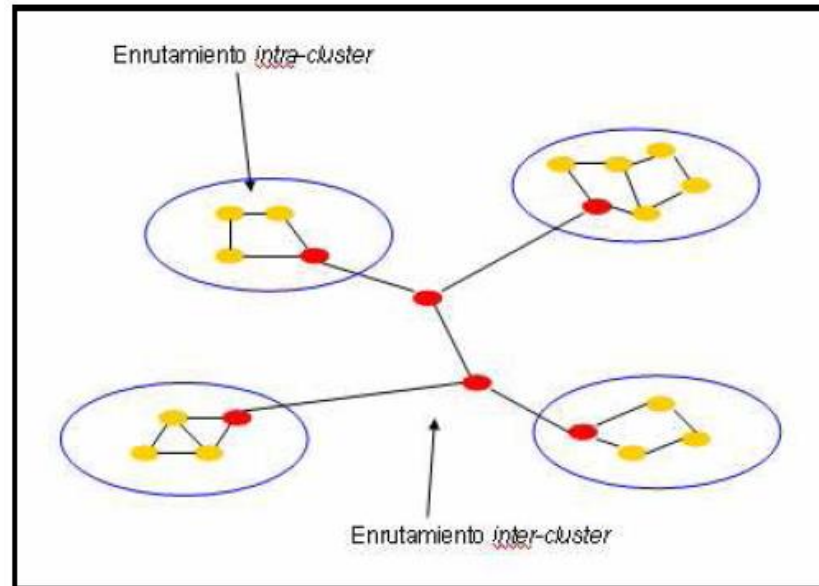
Debido a que el propósito de las MANET es el de manejar un gran número de nodos, una topología plana no resulta tan optima a la hora de crear esquemas de enrutamiento apropiados y asegurar la escalabilidad.

Por esta razón se implementa una arquitectura jerárquica la cual divide la red en conjuntos de nodos en los cuales cada nodo tiene conocimiento de sus vecinos. A estos conjuntos de nodos se les conoce como clúster. El establecimiento de una topología jerárquica en MANET reduce significativamente las tablas de enrutamiento ya que un nodo solo necesita tener conocimiento de la información sobre el enrutamiento de su propio clúster y no de la red completa. Es decir, este tipo de topología facilita el manejo del tráfico de la red ya que permite el enrutamiento al nivel interior del clúster (intracluster) y al nivel exterior del clúster (intercluster). La idea es que al crear clúster de nodos en cada uno se seleccione un nodo que actúe como líder de su clúster. A este nodo se le conoce como clusterhead (Morocho, 2010).

Los clusterheads son nodos que tienen la responsabilidad de transmitir los paquetes de todos los nodos que se encuentren dentro de su clúster, a

través de la red. En la Figura 5 se presenta el esquema de una topología jerárquica.

Figura 5. Forma de llevar a cabo el enrutamiento en una topología jerárquica



Autor: Felipe Muñoz, Informe de Redes de Computadoras I

La asignación de nodos móviles a los clúster debe ser un proceso dinámico el cual se debe adaptar a la movilidad de los nodos. Por consiguiente, es necesario diseñar un algoritmo de clustering que defina los criterios necesarios para construir los clúster.

2.2.1.4. Optimización del proceso de difusión en MANETs

Una red ad hoc de dispositivos móviles o MANET es una red creada sobre la marcha (on the fly) por dispositivos móviles autónomos que están equipados con tecnologías inalámbricas de corto alcance (ordenadores portátiles, teléfonos móviles). Estos dispositivos funcionan independientemente unos de otros, aunque deben coordinarse y cooperar entre ellos para auto-organizar y auto-gestionar la red. Creadas inicialmente en investigaciones militares, las redes ad hoc están ganando importancia tanto en aplicaciones comerciales y académicas como en

servicios de emergencia (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008). (yumpu.com, s.f.)

En general, las MANETs utilizan un único canal de radio y sus dispositivos pueden comunicarse directamente con aquellos otros que están dentro de su área de transmisión. Dado que no existe control centralizado o infraestructura fija, como estaciones base, para dar soporte a las comunicaciones, cuando un dispositivo quiere enviar un mensaje a otro que está fuera de su área de transmisión, hay que establecer comunicaciones en múltiples saltos (multi-hop), por lo que los propios dispositivos han de actuar como encaminadores de mensajes. El mayor desafío que presentan, no obstante, es la movilidad de los dispositivos, ya que conocer la topología de la red es prohibitivo y, por tanto, el coste de las comunicaciones es generalmente muy alto (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

El broadcasting o difusión es una primitiva de comunicación que trata de enviar un mensaje desde un dispositivo fuente hasta todos los dispositivos de una red. En MANETs, el broadcasting es un mecanismo crítico en diferentes aplicaciones a distintos niveles, como la difusión de información o el mantenimiento de la información global de la red. Es también un mecanismo necesario para protocolos de encaminamiento en MANETs. Así, protocolos como DSR (Dynamic Source Routing), AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector), ZRP (Zone Routing Protocol) y LAR (Location Aided Routing) utilizan algún mecanismo de difusión o una derivación de éstos para establecer rutas. Los mecanismos de difusión se utilizan frecuentemente, además, para resolver otros problemas propios de la red, como la localización de dispositivos o el envío de señales de alarma. En entornos muy dinámicos con topologías que cambian rápidamente, el broadcasting es un método muy robusto para realizar otras primitivas de

comunicación como multicast (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008).

Los protocolos de difusión tradicionales para redes cableadas siguen principalmente una aproximación basada en árboles que no son adecuadas para MANETs, debido a las topologías dinámicas y al particionamiento que muchas veces aparece en este tipo de redes. Todo esto ha impulsado una amplia labor de investigación que ha resultado en un conjunto de propuestas de esquemas de difusión que tratan de optimizar algún aspecto concreto de la operación, como minimizar el número de retransmisiones, minimizar el consumo global de los nodos transmisores, minimizar el retraso total de la difusión (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008).

En general, muchas de estas propuestas son estrategias genéricas cuyo objetivo es comportarse adecuadamente en la mayoría de las situaciones posibles. No obstante, los posibles escenarios de MANETs son muy diversos y existen otras aproximaciones que, en lugar de utilizar estrategias generales de difusión, desarrollan protocolos específicos que consideran las particularidades del escenario concreto para optimizar su comportamiento. Ejemplos de estos escenarios son las VANETs (Vehicular Ad hoc NETWORKS), que son redes de topología muy dinámica con dispositivos en los que la energía no es un problema, o redes de sensores, caracterizadas por una movilidad nula o muy escasa de los dispositivos que, al estar alimentados por baterías de capacidad limitada, tienen que ahorrar toda la energía posible (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

Siguiendo esta línea de investigación, el protocolo llamado Inundación con Retrasos y Vecindarios Acumulativos (o Delayed Flooding with Cumulative Neighborhood – DFCN) es un ejemplo de estrategia diseñada específicamente para MANETs Metropolitanas. Las MANETs

metropolitanas se caracterizan por tener una densidad de nodos muy heterogénea y dinámica en las que las zonas de alta densidad no se mantienen activas durante todo el tiempo. Esto lleva a topologías compuestas por subconjuntos de redes ad hoc que pueden unirse y separarse dinámicamente durante la propia operación de difusión (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

Escenarios claros de este tipo de redes son aeropuertos, estaciones de tren o edificios de oficinas. Supongamos que una cadena de centros comerciales pretende introducir en sus edificios un servicio con el que, la gente que disponga de teléfonos móviles, PDAs, etc., pueda recibir eventualmente pequeños anuncios procedentes de las propias tiendas del edificio en los que publicitan sus productos, ofertas especiales, etc. En este escenario tan concreto sería deseable encontrar la mejor estrategia posible, cualquiera que sea el protocolo de difusión empleado (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008).

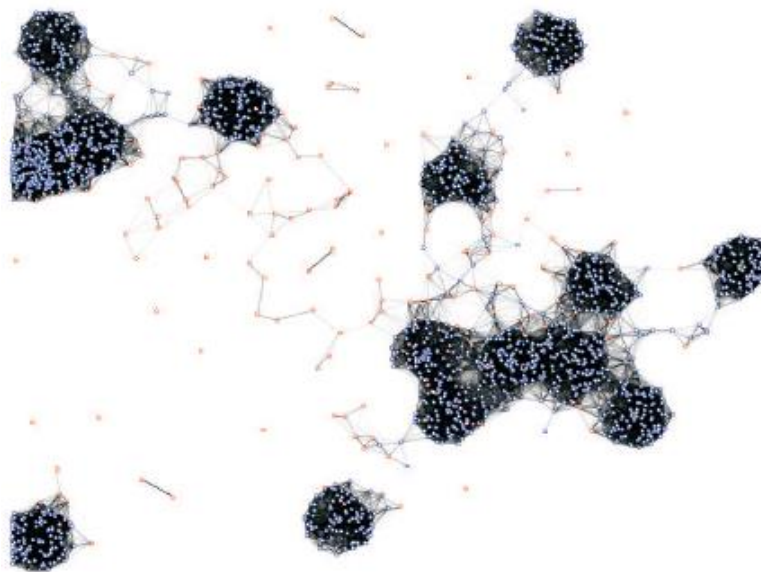
Éste es el enfoque seguido en este estudio: optimizar el servicio de difusión de mensajes para una red concreta. En nuestro caso, la estrategia de broadcasting considerada para su optimización es DFCN y los escenarios objetivos donde se despliega son MANETs metropolitanas. Dado que disponer de este tipo de redes no es fácil, hemos tenido que realizar simulaciones para diseñar y evaluar los escenarios utilizados. Este problema, que se ha definido por primera vez durante el desarrollo de esta tesis, es, hasta donde conocemos, el primer intento en el que el ajuste de una estrategia de difusión para un escenario concreto en MANETs metropolitanas se formula como un problema de optimización (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

2.2.1.5. Redes Móviles Ad Hoc Metropolitanas. El Simulador Madhoc

Las redes móviles ad hoc metropolitanas son MANETs con algunas propiedades particulares.

En primer lugar, tienen una o más áreas donde la densidad de los nodos es mayor que la media: se denominan áreas de alta densidad y se pueden detectar estadísticamente. Un área de alta densidad puede ser, por ejemplo, un supermercado, un aeropuerto o una oficina. En segundo lugar, las áreas de alta densidad no se mantienen activas todo el tiempo, es decir, pueden aparecer y desaparecer de la red (por ejemplo, un supermercado está abierto de 9 de la mañana a 10 de la noche, y fuera de ese periodo, la densidad de nodos en el área correspondiente es casi cero). En la Figura 6 se muestra un ejemplo de red metropolitana de 4Km² con 2000 dispositivos (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

Figura 6. Ejemplo de MANETs Metropolitana



Autor: Luna Valero, Francisco, Universidad de Málaga

Debido al coste de desplegar este tipo de redes, la realización de experimentos utilizando redes reales es muy complicado por lo que suele recurrirse a simulaciones software. En este caso hemos utilizado Madhoc³, un simulador de MANETs metropolitanas. Su objetivo es proporcionar una herramienta para simular diferentes niveles de servicios basados en distintas tecnologías de MANETs para distintos entornos. Se suelen encontrar varias configuraciones topológicas. Algunos ejemplos son redes construidas espontáneamente por gente moviéndose en lugares concretos, tales como mercados, estaciones de trenes, centros comerciales y barrios de ciudades (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

Todos estos escenarios tienen varias características distintas, como la movilidad y la densidad de los dispositivos, el tamaño del área y la presencia o no de obstáculos para movilidad y atenúan la fuerza de la señal, entre otras (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

2.2.2. Algoritmos genéticos

Un algoritmo genético es una técnica de programación que imita a la evolución biológica como estrategia para resolver problemas. Dado un problema específico a resolver, la entrada un conjunto de soluciones potenciales a ese problema, codificadas de alguna manera, y una métrica llamada función de aptitud que permite evaluar cada candidata. Estas candidatas pueden ser soluciones que ya se sabe que funcionan, con el objetivo que las mejore, pero se suelen generar aleatoriamente (Marczyk, Algoritmos genéticos y computación evolutiva, 2004). (Bustos) (Marczyk, <http://the-geek.org/docs/algen/>, 2004)

³ Madhoc: es un simulador móvil ad hoc red desarrollada en las Universidades de Luxemburgo (laboratorio CSC) y Le Havre (laboratorio LITIS). Su desarrollo comenzó en 2003.

Evalúa cada candidata de acuerdo con la función de aptitud. En un acervo de candidatas generadas aleatoriamente, por supuesto, la mayoría no funcionarán en absoluto, y serán eliminadas. Sin embargo, por puro azar, unas pocas pueden ser prometedoras -pueden mostrar actividad, aunque sólo sea actividad débil e imperfecta, hacia la solución del problema (Marczyk, Algoritmos genéticos y computación evolutiva, 2004).

Estas candidatas prometedoras se conservan y se les permite reproducirse. Se realizan múltiples copias de ellas, pero las copias no son perfectas; se introducen cambios aleatorios durante el proceso de copia. Luego, esta descendencia digital prosigue con la siguiente generación, formando un nuevo acervo de soluciones candidatas, y son sometidas a una ronda de evaluación de aptitud. Las candidatas que han empeorado o no han mejorado con los cambios en su código son eliminadas de nuevo; pero, de nuevo, por puro azar, las variaciones aleatorias introducidas en la población pueden haber mejorado a algunos individuos, convirtiéndolos en mejores soluciones del problema, más completas o más eficientes. De nuevo, se seleccionan y copian estos individuos vencedores hacia la siguiente generación con cambios aleatorios, y el proceso se repite. Las expectativas son que la aptitud media de la población se incrementará en cada ronda y, por tanto, repitiendo este proceso cientos o miles de rondas, pueden descubrirse soluciones muy buenas del problema (Marczyk, Algoritmos genéticos y computación evolutiva, 2004).

Aunque a algunos les puede parecer asombroso y antiintuitivo, los algoritmos genéticos han demostrado ser una estrategia enormemente poderosa y exitosa para resolver problemas, demostrando de manera espectacular el poder de los principios evolutivos. Se han utilizado algoritmos genéticos en una amplia variedad de campos para desarrollar soluciones a problemas tan difíciles o más difíciles que los abordados por los diseñadores humanos. Además, las soluciones que consiguen son a menudo más eficientes, más elegantes o más complejas que nada que un

ingeniero humano produciría. ¡En algunos casos, los algoritmos genéticos han producido soluciones que dejan perplejos a los programadores que escribieron los algoritmos en primera instancia! (Marczyk, Algoritmos genéticos y computación evolutiva, 2004)

2.2.2.1. Clases de algoritmos genéticos

a) *Algoritmos Genéticos Generacionales*

Modelo también conocido como “Algoritmo Genético Canónico”. Se basa en el comportamiento de los insectos, los cuales cuando producen una nueva generación, los padres se alejan o mueren. Dentro del algoritmo, en cada iteración se crea una población completamente nueva (PICO, 2014). (puce.edu.ec, s.f.)

b) *Algoritmos Genéticos de Estado Fijo o Modelo Estacionario*

En un modelo cuya convergencia es vertiginosa. Se basa en el comportamiento de los mamíferos, donde los padres e hijos coexisten en una misma población; generando emulación entre cada individuo. Cada iteración dentro del algoritmo se escoge parejas de individuos (aleatoriamente) a los cuales se les aplica los operadores genéticos de reproducción, cruce o mutación, dando como resultado el nacimiento de una generación de individuos. Además se evalúa la aptitud de cada individuo, independiente si es padre o hijo, para proseguir con una nueva iteración (PICO, 2014)

c) *Algoritmos Genéticos Paralelos*

Permiten evaluar paralelamente algunas soluciones, las cuales están personificadas por un individuo que está en la población seleccionada.

La población es dividida en varias sub-poblaciones las cuales se examinan paralelamente, con el Algoritmo Genético previamente seleccionado. Posterior a las iteraciones, se genera un intercambio de individuos entre las sub-poblaciones, permitiendo obtener una mayor diversidad entre las sub-

poblaciones. La definición de la tasa de migración entre las sub-poblaciones es importante porque permitirá la convergencia o no del problema (PICO, 2014)

2.2.2.2. Algoritmo Genético Simple

Los Algoritmos Genéticos Simples trabajan con cadenas binarias (0,1) con una distribución uniforme en la población inicial. La población inicial se genera de manera aleatoria y cada individuo puede ser 0 o 1 con igual probabilidad (0.5).

En cada iteración evalúa la cadena resultante con el valor real. El algoritmo se detiene cuando se ha alcanzado el número de iteraciones (generaciones) predefinido para el problema.

2.2.2.3. Elementos de un Algoritmo Genético

Los Algoritmos Genéticos Simples contienen los siguientes elementos:

1. Selección: de acuerdo a la función objetivo dada se generan cadenas individuales de acuerdo al criterio dado.

La función permite “componer” a las soluciones óptimas, para que se generalicen con mayor velocidad, además las malas soluciones no se multiplican.

2. Cruce: se aleatoriamente dos individuos son escogidos (padres), cada uno determina la probabilidad de cruce o no.

Si existe cruce:

- **DE UN PUNTO:** el punto de corte (k) se selecciona de manera aleatoria entre 1 y L_c-1 (L_c : longitud del cromosoma o cadena), desde aquel punto se procede a intercambiar cada gen. Como se puede observar en la Figura 7. El Hijo 1 en la primera parte de la cadena tiene los elementos heredados del Padre y la segunda parte

los de la Madre. Mientras que el Hijo 2 la primera parte de la cadena pertenece a la Madre y la segunda al Padre (PICO, 2014).

Figura 7: Ejemplo de cruce en un solo punto

K=7	
Padre	1011010//011100101
Madre	1101001//010010100
Hijo 1	1011010//010010100
Hijo 2	1101001//011100101

Autor: Vinicio Amaya

- **DE DOS PUNTOS:** se escoge dos puntos de corte K0 y K1, de manera aleatoria y se procede de igual manera que en la de un punto (PICO, 2014).

Figura 8: Ejemplo cruce en dos puntos

K0=2	
K1=5	
Padre	01//001//11011010
Madre	00//100//10100111
Hijo 1	01//100//11011010
Hijo 2	00//001//10100111

Autor: Vinicio Amaya

UNIFORME: cada gen se hereda de un padre elegido aleatoriamente.

Figura 9: Ejemplo cruce uniforme

Padre	100100111000010
Madre	011100000110001
Hijo 1	110100010000000
Hijo 2	001100101110011

Autor: Vinicio Amaya

3. Mutación: después de cada cruce se aplica este proceso. Al azar se elige un individuo, cada uno tiene una probabilidad de mutación muy pequeña, para impedir que pasen por ese proceso todos los individuos de la población. Se toma el cromosoma y debe ser alterada (PICO, 2014)

2.2.3. Optimización de Pareto

Siempre existen varias funciones objetivo, es poco probable que una sola x pueda ser solución a todos los objetivos $F(x)$ es obligatorio encontrar un conjunto de soluciones que satisfagan a varios objetivos, porque no se va a encontrar una solución excelente.

2.2.3.1. Optimalidad de pareto

El conjunto de soluciones óptimas encontradas en el espacio de decisión X es conocido como el conjunto de Pareto $x^x \subseteq xy$ su imagen en el espacio objetivo se lo conoce como frente de Pareto. (Subía, 2014)

El espacio al cual pertenece el vector objetivo se lo conoce como espacio objetivo y la imagen del grupo factible se conoce como conjunto obtenido (Chen, 2000).

2.2.3.2. Óptimo de Pareto

Un punto $x^x \in X$ es el *óptimo de Pareto* si no existe otro punto $x \in X$ para los cuales $(x) \preceq (x^x)$ $f_i(x) < f_i(x^*)$ para al menos una función. (Subía, 2014)

Todos los puntos del óptimo de Pareto se encuentran en el espacio de soluciones posibles Z (Athanas and Papalambros, 1996; Chen et al., 2000)

2.2.4. Tipos de algoritmos multiobjetivos

En los problemas de optimización multiobjetivo se pueden clasificar a los algoritmos en dos principales tipos basados en el mecanismo usada para la asignación de fitness:

Tabla 1: Comparación entre algoritmos basados en Pareto y no basados.

Algoritmos no basados en Pareto	Algoritmos basados en Pareto
Estos algoritmos utilizan mecanismos sencillos para la asignación de fitness pero no siempre llevan a la solución del problema	Estos algoritmos se basan en la dominancia o no de un individuo respecto a otro para su jerarquización. La dominancia se basa en el concepto óptimo de Pareto

Autor: Vinicio Amaya

2.2.5. Algoritmos basados en pareto.

Se basan exclusivamente en la dominancia de Pareto para asignar el fitness.

Los diferentes componentes para mantener la población son:

- Fitness sharing
- Restricción en el cruce
- Crowding
- Isolation by distance

También se puede clasificar a los algoritmos basados en Pareto por su momento de aparición en dos generaciones: (Subía, 2014)

Primera Generación: son algoritmos más simples que los de la *segunda generación*. Utiliza los conceptos de jerarquía de Pareto y nichos. Este tipo de algoritmos ya no son muy usados. Ej.: NSGA, NPGA, VEGA y MOGA (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008)

Segunda Generación: Se utiliza el concepto de *elitismo* usando la selección y usando una población alterna a partir de 1990 su uso comenzó a ser mucho más común. Ej.:SPEA, SPEA II, NSGA II, MOMGA, MOMGA II, PAES, PESA, entre otros (Valero, Metaheurística avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones, 2008) (Subía, 2014)

2.2.6. Algoritmo Genético de Ordenamiento Elitista No Dominado

Con problemas de múltiples objetivos se pueden encontrar un grupo de varias soluciones óptimas (Soluciones Óptimas de Pareto) y no una sola solución, lo que junto al hecho que no siempre se tiene toda la información completa, es difícil saber si una solución es mejor que otra (PICO, 2014).

En los métodos clásicos de optimización, para poder resolver esa dificultad se suele transformar el problema de múltiples objetivos a enfocarse en una solución óptima de Pareto a la vez. Esto obliga a realizar varias simulaciones encontrando diferentes soluciones cada vez (PICO, 2014)

Los Algoritmos Evolutivos son capaces de encontrar varias soluciones óptimas de Pareto en una sola simulación trabajan con una población de soluciones y permiten mantener una variedad de grupos de soluciones (PICO, 2014)

El algoritmo no dominado propuesto para corregir este tipo de problemas fue el NSGA, su característica principal es dar un valor basado en el orden de la dominancia.

- 1) Elementos no dominados son asignado al fitness
- 2) Los elementos no dominados de la población se eliminan
- 3) El proceso se repite hasta que no existan más elementos.

Características del NSGA II

Es un Algoritmo Evolutivo de múltiples objetivos elitista su criterio de selección es la dominancia de Pareto.

Sus principales características son:

- Rápida aproximación de ordenamiento no dominado en el cual todos los individuos son ordenados de acuerdo a su nivel de no dominancia, permitiendo disminuir la complejidad en la búsqueda de dominancia de $O(MN^3)$ a $O(MN^2)$.
- Al implementar el elitismo se almacena todas las soluciones no dominadas y se realiza las propiedades de convergencia.
- Permite la preservación de la diversidad de la población basándose en la distancia de hacinamiento (crowding distance), gracias a ello no requiere que se especifiquen parámetros adicionales por lo que no se depende del σ share usado en el NSGA original.
- Se implementa restricciones utilizando una definición de dominancia que no usa funciones de penalización (PICO, 2014).

Algoritmos de ordenamiento del NSGA II

Existen dos tipos de algoritmos:

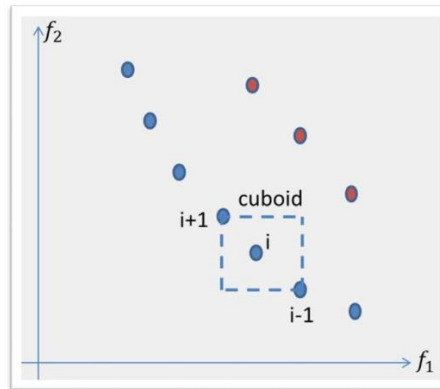
Algoritmo de ordenamiento no dominado (*non dominated sorting algorithm*)

- Busca las soluciones más próximas al *Frente de Pareto*.
- Para cada solución se calcula cuantas otras soluciones dominan y cuantas son dominadas por esta.
- En cada iteración se crea un nuevo frente con las soluciones retiradas del conjunto (PICO, 2014)

Ordenamiento por la distancia de hacinamiento (*crowding distance sorting*)

- Busca las soluciones mejor distribuidas en el espacio.
- Una función calcula la distancia entre las soluciones que se encuentran en el mismo frente para garantizar un mejor ajuste (*fitness*) con las áreas menos pobladas dentro del espacio de búsqueda.
- Se recalcula la distancia de las otras soluciones con una fórmula normalizada que utiliza la diferencia entre la distancia de cada solución y las dos más próximas a esta (PICO, 2014)

Figura 10: Cálculo de crowding distance los puntos son las soluciones que pertenecen al mismo frente no dominado

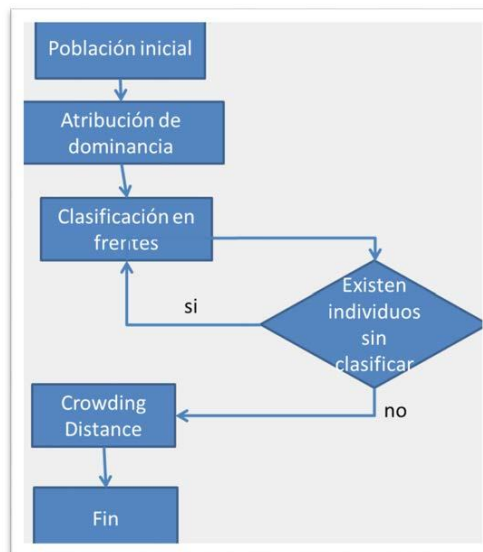


Fuente: Tesis Optimización Evolutiva Multiobjetivo
 Autor: Claudia Subía, 2014

Procedimiento del algoritmo NSGA II

Un algoritmo genético convencional está formado por cuatro etapas: Generación de la población inicial, cruce, mutación y selección. Con estos operadores, luego de cada iteración es posible ir mejorando los resultados de una generación a otra (PICO, 2014).

Figura 11: Diagrama de bloque del algoritmo NSGA II



Fuente: Tesis Optimización Evolutiva Multiobjetivo
 Autor: Claudia Subía, 2014

2.3. Marco legal

El presente trabajo de investigación está respaldado por la Ley orgánica de Telecomunicaciones y de Servicios Postales, a continuación se detalla:

Artículo 2.- Objetivos generales.

3.- Promover la evolución tecnológica del país, a través del desarrollo de redes y servicios de telecomunicaciones, a fin de favorecer la masificación del uso de las tecnologías de información y comunicación y, el avance hacia la Sociedad de la Información y Conocimiento (MINTEL, 2011)

Artículo 5.- Definición de Telecomunicaciones.- A los efectos de esta Ley, se entiende por telecomunicaciones toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, textos, video, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza, por sistemas alámbricos o inalámbricos, inventados o por inventarse, incluidos los servicios de radiodifusión sonora y televisión. La presente definición no tiene carácter taxativo, en consecuencia, quedarán incluidos en la misma cualquier medio, modalidad o tipo de transmisión derivada de la evolución tecnológica o de la convergencia de servicios. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones emitirá los reglamentos o normas técnicas que considere convenientes para regular cualquier actividad o servicios derivados de adelantos tecnológicos en materia de telecomunicaciones (MINTEL, 2011)

Artículo 6.- Definición de Espectro Radioeléctrico.- A los efectos de esta Ley, se entiende por espectro radioeléctrico al bien del dominio público del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable, constituido por el conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz y que se propagan por el espacio sin guía artificial (MINTEL, 2011)

Artículo 14.- Uso y Explotación del Espectro Radioeléctrico.- El espectro radioeléctrico constituye un bien del dominio público del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable. Su uso y explotación requiere el otorgamiento previo de un título habilitante emitido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, de conformidad con lo establecido en la presente Ley y la normativa que resulte aplicable (MINTEL, 2011)

En el Plan Nacional de Frecuencias, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones deberá establecer bandas de frecuencia para su asignación a estaciones de radiodifusión sonora y televisión públicas, privadas, mixtas y comunitarias en igualdad de condiciones (MINTEL, 2011)

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Métodos utilizados en la investigación.

3.1.1. Método inductivo

Este método fue parte del estudio de la meta-heurística NSGA-II, pasando de la observación hasta la experimentación, basados en una fundamentación bibliográfica, expresado en forma el estudio de los algoritmos meta-heurísticos, permitió llevar a los hechos de manera global.

3.1.2. Método Deductivo

Con este método se pudo derivar los problemas que existen en la aplicación del algoritmo genético NSGA-II, además permitió identificar algunos factores claves que ayudaron a desarrollar las soluciones con multiobjetivos, producto de la aplicación del algoritmo.

3.1.3. Método Analítico

Este método permitió analizar los elementos relacionados con la utilización de algoritmos genéticos y su funcionamiento en los procesos de difusión, así como la interpretación de las causas y efectos que genera la problemática planteada.

3.1.4. Método cuasi experimental

El método cuasi experimental, con la que se elaboró experimentos con instancias de diferentes dimensiones para determinar el mejor algoritmo genético. Además se realizó un análisis del Frente de Pareto. Para finalizar se estudiaron los parámetros del algoritmo que afectan la calidad de los resultados obtenidos con para verificar los algoritmos genéticos.

3.1.4.1. Ventajas y usos del método cuasi experimental

Las ventajas de este método es que permitió realizar exploraciones dentro de un marco de limitaciones. No obstante, y teniendo presente los controles del valor predictivo de este tipo de estudios, las relaciones causales son valiosas porque proporcionan la comprensión para manipular las redes MANETs.

3.1.4.2. Pasos para el desarrollo del método cuasi experimental

Paso 1: Definir las variables dependientes e independientes que se incluirán en el cuasi experimento.

Paso 2: Elegir los algoritmos genéticos con la aplicación de varios modelos que permiten definir en nuevos resultados de optimización de procesos de difusión en redes MANETS.

Paso 3: Desarrollar el o los instrumentos para medir las variables dependientes.

Paso 4: Seleccionar una muestra de la población para el experimento.

Paso 5: Reclutar a los sujetos del cuasi experimento.

Paso 6: Seleccionar el diseño cuasi experimental apropiado para la hipótesis, objetivos y preguntas de investigación.

Paso 7: Proyectar los mecanismos para manipular los algoritmos genéticos y obtener los multiobjetivos.

Paso 8: Observar las características del grupo de resultados.

3.2. Construcción metodológica del objeto de Investigación

La realización del trabajo de investigación se centralizó en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en el campus “Ing. Manuel Haz Álvarez” situado en vía Santo Domingo, Km ½, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, es una institución de educación superior creada hace 32 años con mucha experiencia en el campo agrícola y con nuevas carreras que aporta muchos profesionales a la región.

3.3. Elaboración del Marco Teórico

Se utilizó la investigación documental consultando textos y artículos científicos de varios autores, que permitió obtener un bagaje bibliográfico, el marco teórico sirvió de elemento para determinar los algoritmos genéticos.

3.4. Recolección de Información Empírica

Para la realización del trabajo de investigación se tuvo que obtener información de diferentes fuentes bibliográficas con escenarios que están disponibles y simulaciones para probar y comparar con estudios previos sobre el tema de investigaciones.

3.5. Descripción de la Información obtenida.

Para realizar la investigación e implementación del algoritmo NSGA-II para el problema de optimización del proceso de difusión en redes metropolitanas se realizó una búsqueda documental mediante la obtención de artículos científicos, tesis de doctorado, e-books, donde se encuentran escenarios, que permitieron entender el algoritmo NSGA-II.

3.6. Análisis e Interpretación de Resultados

Con relación a la evidencia alcanzada producto de la aplicación de varios experimentos utilizando la meta-heurística NSGA-II. Una vez que se obtuvo resultados con la meta-heurística se tomaron los mejores y se compararon los valores de interferencia y tiempos, que fue utilizado para comprobar este problema de optimización de procesos de difusión, los resultados obtenidos por el análisis comparativo de varias pruebas de la meta-heurística NSGA-II se obtuvieron múltiples soluciones.

3.7. Construcción del Informe de Investigación

Finalmente se da a conocer el problema estudiado, la ejecución de los experimentos realizados, los resultados obtenidos entre las heurísticas y los obtenidos con el algoritmo NSGA-II y la interpretación para luego emitir las

conclusiones. Se describe el material recogido, estudiado y analizado, elaborado y presentado en forma clara y precisa para obtener la información sobre la investigación.

Finalmente se mostraron los resultados obtenidos de la aplicación del algoritmo genético NSGA II, para realizar la verificación y presentar las múltiples soluciones.

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La propagación de las radio señales en redes móviles se lleva sobre terrenos irregulares donde las señales pueden sufrir ruidos, debido a obstáculos naturales y artificiales al momento de la optimización de las MANETs, se deben tener en cuenta éstas pérdidas en la ruta de transmisión entre el emisor y el receptor puede variar de una simple línea de visión a una que esté severamente obstruida.

En este capítulo se presentan cada uno de los elementos que se tuvieron en cuenta para aplicar el algoritmo multiobjetivo NSGAI1 a la optimización de redes MANET.

4.1. Definición de las funciones objetivos involucradas en el proceso de optimización

El algoritmo genético propuesto establece una función objetivo que representan los costos de instalación y operación del sistema. El modelo descrito en forma general está presentado en la siguiente función:

$$\min z = \{f_1(x), f_2(x)\} \quad (1)$$

s.a. Restricciones técnicas impuestas en cada caso de estudio.

Donde f_1 representa la función objetivo de costos y f_2 la función objetivo de confiabilidad. (López, 2011)

Función objetivo de costos (f_1)

Involucra f_1 los costos descritos en la ecuación 2, donde el primer término representa los costos de instalación de red existentes, el siguiente corresponde a los costos variables, el tercero involucra los costos de instalación de nuevos tramos de red, y los dos últimos, los costos de ampliación e instalación de redes existentes y nuevas, respectivamente (PICO, 2014). (López, 2011)

$$f_1(x) = \left[\begin{array}{cc} \sum_{ij \in \Omega_{AE}} & \sum_{c \in \Omega_C} (CR_{ij,c,t} * XR_{ij,c,t}) + \\ \sum_{ij \in \Omega_A} & \sum_{c \in \Omega_C} CE_t * T * R_{ij,c} (I_{ij,ct}^2 + I_{ji,ct}^2) + \\ \sum_{ij \in \Omega_{AN}} & \sum_{c \in \Omega_C} (CR_{ij,c,t} * X_{ij,c,t}) + \\ \sum_{i \in \Omega_{SE}} & \sum_{d \in \Omega_D} (CR_{i,d,t} * XR_{i,d,t}) + \sum_{i \in \Omega_{SN}} & \sum_{d \in \Omega_D} (CF_{i,d,t} * X_{i,d,t}) \end{array} \right] \quad (2)$$

Dónde:

c, d : tipo de conectividad y de equipos, respectivamente

t : etapa de planeamiento

T : período de planeamiento en horas-año (8760 horas-año)

$CF_{ij,c,t}$: costo de instalación de un equipo, entre los nodos i - j , en la etapa t

$CR_{ij,c,t}$: costo de reconductorizar la red c , entre los nodos i - j , en la etapa t

$CR_{i,d,t}$: costo de ampliación de una red existente en el nodo i , tipo d , en la etapa t

$CF_{i,d,t}$: costo de instalación de una red tipo d , en el nodo i , en la etapa t .

CE_t : costo de la energía en la etapa t

Ω_{AE}, Ω_{AN} : conjunto de rutas asociadas con líneas existentes y nuevas, respectivamente

$\Omega_A: \Omega_{AE} \cup \Omega_{AN}$

Ω_C, Ω_D : conjunto de tipos de conectividad y de equipos nuevos, respectivamente

Ω_{SE}, Ω_{SN} : nodos asociados con las redes existentes y nuevas, respectivamente

$XR_{ij,c,t}$: variable de decisión para reconductorizar una línea tipo c , entre los nodos i - j , etapa t

$X_{ij,c,t}$: variable de decisión para instalación de un conductor tipo c , entre los nodos i - j , etapa t

$XR_{i,d,t}$: variable de decisión para ampliación de una red tipo d , en el nodo i , etapa t

$X_{i,d,t}$: variable de decisión para la instalación de una red tipo d , en el nodo i , etapa t

$R_{ij,c}$: resistencia de un conductor tipo c , en la ruta i - j

$I_{ij,c,t}, I_{ji,c,t}$: corriente por el conductor tipo c , etapa t , entre los nodos i - j , y j - i , respectivamente (López, 2011)

Función objetivo de confiabilidad (f_2)

Representa f_2 la confiabilidad del sistema de red. Los términos de la ecuación 3 usan índices de tiempos medios de paro y de confiabilidad, para tramos de red existentes y nuevos, respectivamente. La función objetivo está dada por:

$$f_2(x) = \left[\begin{array}{c} \sum_{ij \in \Omega_{AE}} \sum_{c \in \Omega_C} (\lambda_{ij,c,t})(l_{ij})(\sigma_{ij,c,t})[\overline{P_{ij}} + \overline{P_{ij}}]T + \\ \sum_{ij \in \Omega_{AN}} \sum_{c \in \Omega_C} (\lambda_{ij,c,t})(l_{ij})(\sigma_{ij,c,t})[\overline{P_{ij}} + \overline{P_{ij}}]T \end{array} \right] \quad (3)$$

Donde:

$\lambda_{ij,c,t}$: es la tasa de fallos por año y por unidad de red, entre los nodos i-j, en la etapa t

λ_{ij} : es la distancia de los equipos situados entre los nodos i-j

$\delta_{ij,c,t}$: es el tiempo medio de parada (horas) por cada fallo que se produce en la red, entre los nodos i-j, en la etapa t

Restricciones

El cúmulo de restricciones operativas y de la calidad del servicio está, definidas en las ecuaciones que a continuación se detallan:

$$G(V_i, \theta_i) = 0 \quad (4)$$

$$|S_{ij}| \leq S_{ij}^{max} \quad (5)$$

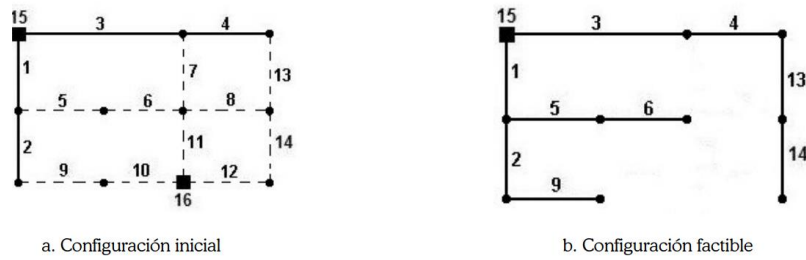
$$S_i \leq S_i^{max} \quad (6)$$

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (7)$$

$$\prod b_{ij} = 1 \quad (8)$$

La ecuación 4 representa las ecuaciones de balance de potencia en los nodos de la red. Las ecuaciones 5 y 6 aseguran que no se presenten sobrecargas usuarios. La ecuación 7 define los límites permitidos de usuarios y la ecuación 8 garantiza la funcionalidad de la red. (López, 2011)

Figura 12: Ejemplo de codificación



Autor: Vinicio Amaya

4.2. Codificación del problema: Modelo para aplicar el NSGA II

La codificación de planeamiento de redes para el problema se describe utilizando un vector para mostrar las múltiples alternativas de solución, constituido por ramales de red existente y la propuesta planteada. (López, 2011)

En la figura 12 se representa un sistema de red, con las varias soluciones (figura a) y una reconfiguración aplicable (figura b). En este sistema de red actual están dados por los números 1, 2, 3 y 4. Los tramos de red propuestos están formados por los números 5 a 14. Las subestaciones existentes y propuestas están indicadas por los números 15 y 16, respectivamente. (López, 2011)

En el vector que representa una nueva solución, un valor cero expresa que el elemento no está en la configuración y un valor diferente indica que ese elemento está activo. El vector que describe la configuración inicial de la red (figura 1a) está dado por (López, 2011)

[1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0]

En el vector antiguo, los tramos de red existentes (posiciones 1 a 4) están activos con un conductor tipo 1. No hay propuestos tramos adicionales de red (posiciones 5 a 14). La subestación existente es del tipo 1 (posición 15) y no se propone una red nueva (posición 16). (López, 2011)

El vector que describe la configuración factible (figura 1b) está dado por

[2 2 2 2 2 1 0 0 2 0 0 0 1 1 2 0]

Quiere decir que los tramos de red 1, 2, 3, 4, 5 y 9 tienen una topología de red, los tramos de red 6, 13 y 14 están presentes con otra topología y los tramos de red 7, 8, 10, 11 y 12 no son propuestos en la configuración. (López, 2011)

Técnica de solución multiobjetivo

La técnica de solución empleada para resolver el problema del planeamiento multiobjetivo de sistemas de red es el algoritmo NSGA-II, elaborado por Deb et al. (2002). Esta metodología presenta dos características importantes: garantiza la diversidad durante el proceso de solución y además se caracteriza por ser elitista, únicamente considera las óptimas soluciones halladas en la ejecución de búsqueda.

En la generación t del algoritmo, la población descendiente Q_t (de tamaño N) es establecida de la población de padres P_t (de tamaño N) y para esto hace uso de los operadores genéticos de selección, recombinación y mutación. Después de aplicar estos operadores, las dos poblaciones (padre e hijo) son combinadas para formar un nuevo vector de tamaño $2N$. Después, mediante un ordenamiento se clasifica la población en frentes de Pareto, lo cual consiste en determinar para cada individuo un nivel de dominancia frente a las demás soluciones, y de acuerdo con esto sólo las mejores N soluciones harán parte de la población P_{t+1} en donde el proceso vuelve a comenzar (Gallego, Escobar y Toro, 2008). (López, 2011)

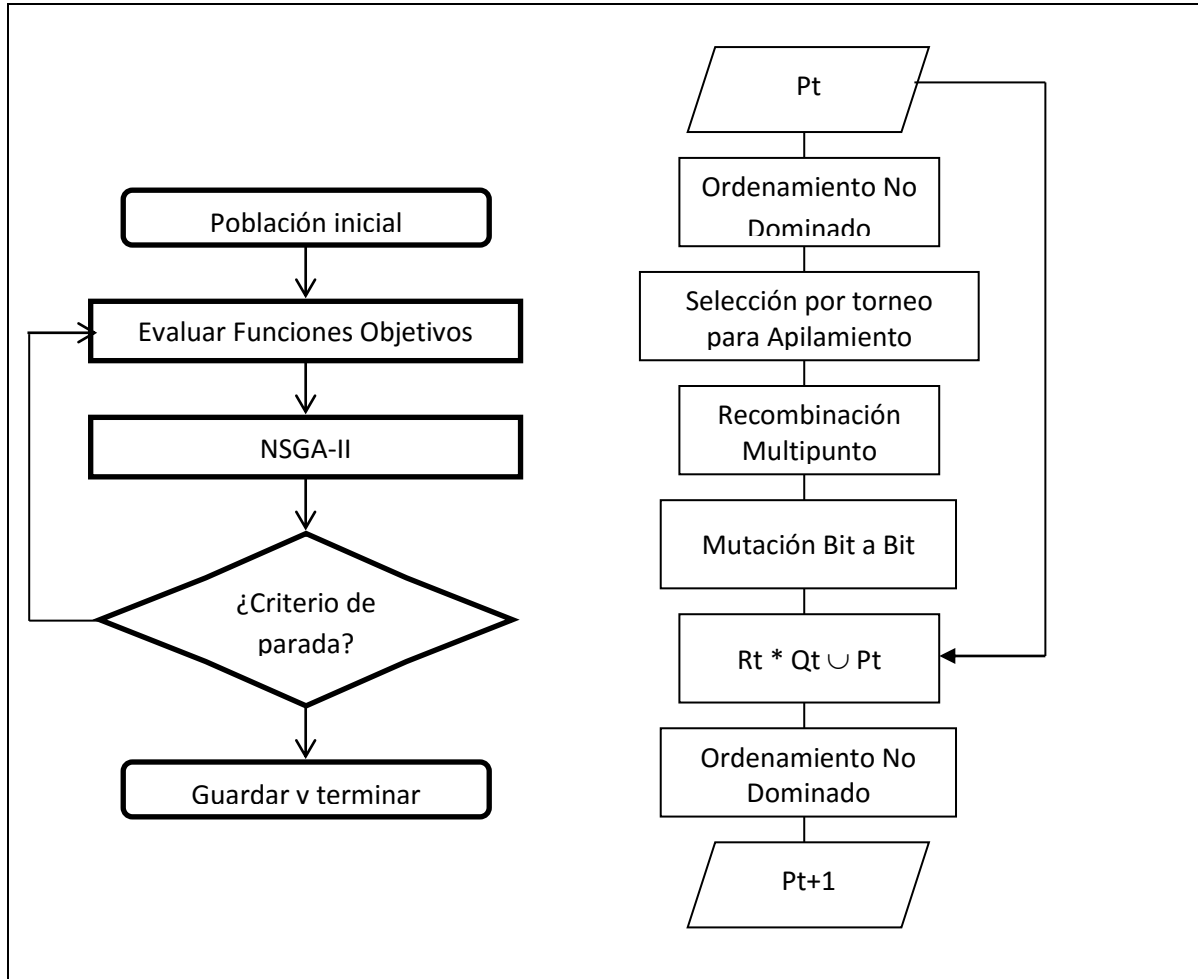
Criterio de parada

El proceso de búsqueda cíclico debe ejecutarse mientras siga habiendo evolución de la población. Por lo tanto, el procedimiento termina cuando se alcanza un número preestablecido de generaciones sin evolución o si se llega a un número máximo predefinido.

Diagrama de bloques del algoritmo

En la figura 13 se ilustra el diagrama de bloques del algoritmo.

Figura 13. Diagrama de flujo del algoritmo implementado



Autor: Vinicio Amaya

Métrica para determinar la mejor solución del frente de Pareto

Después de analizar el conjunto de soluciones no dominadas entregadas por el algoritmo, el planeador puede seleccionar la configuración que más se acerque a sus necesidades de acuerdo con la prioridad que se les dé a las funciones objetivo. Sin embargo, una solución óptima puede obtenerse a partir del conjunto de soluciones del frente de Pareto. En esta tesis se emplea el criterio max-min (Ramírez y Domínguez, 2004), el cual consiste en normalizar para cada solución los valores de ambas funciones objetivo con respecto a los valores extremos encontrados en el frente de Pareto. Por lo tanto: (López, 2011)

$$\left(\frac{FO_{l-max} - FO_{l-i}}{FO_{l-max} - FO_{l-min}}, \frac{FO_{2-max} - FO_{2-i}}{FO_{2-max} - FO_{2-min}} \right) \quad (9)$$

Donde:

FO_{l-max} : Valor máximo obtenido de la función de costos para el frente de Pareto

FO_{l-min} : Valor mínimo obtenido de la función de costos para el frente de Pareto

FO_{2-max} : Valor máximo obtenido de la función de confiabilidad para el frente de Pareto

FO_{2-min} : Valor mínimo obtenido de la función de confiabilidad para el frente de Pareto

FO_{l-i} : Valor de la función de costos de la solución i del frente de Pareto

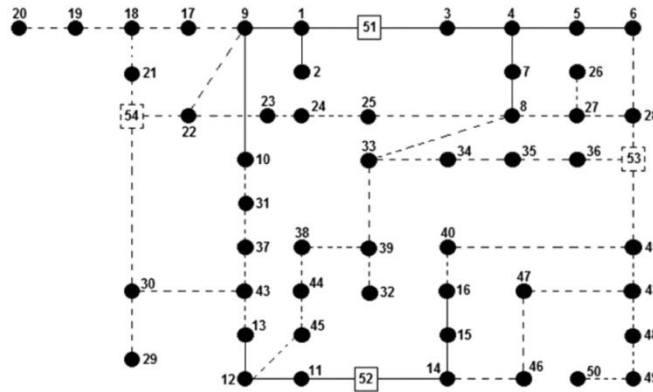
FO_{2-i} : Valor de función de confiabilidad de la solución i del frente de Pareto

Una vez obtenida la pareja de valores para cada solución, se escoge el valor mínimo entre estos. Luego se selecciona el máximo valor de todos los valores mínimos escogidos, que corresponde a la mejor solución encontrada por el algoritmo. (López, 2011)

PRUEBAS Y RESULTADOS

El sistema empleado para verificar la metodología propuesta (Miranda, Ranito y Proença, 1994) cuenta con 16 tramos de red existentes, 2 routers existentes en los nodos 51 y 52 (cuadrados con línea continua), 45 tramos de red propuestos (líneas discontinuas) y dos routers propuestas en los nodos 53 y 54 (cuadrados con línea discontinua). Se considera una etapa de planeamiento de 8760 horas y un valor de carga fija durante este período. Para evaluar todas las configuraciones analizadas es del tipo barrido iterativo. Por lo tanto la configuración inicial del sistema se presenta en la figura 14.

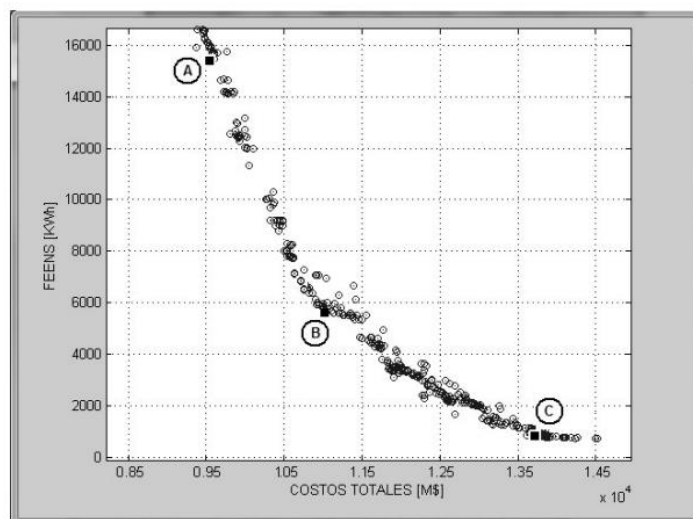
Figura 14: Configuración inicial del sistema



Autor: Ing. Vinicio Amaya

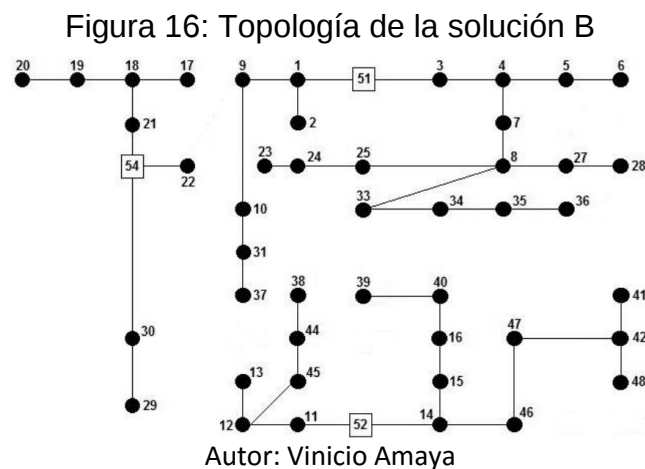
Los parámetros del algoritmo genético que obtuvieron los principales comportamientos se generaron con la aplicación de pruebas de tanteo. Las tasas de recombinación y de mutación se fijaron con costos de 0,7 y 0,03. Se emplearon como población 200 individuos y como mecanismo de recombinación multipunto de tres ubicaciones. Para la parada se estableció 500 iteraciones en general. En la figura 15 se ejemplifica el conjunto de soluciones óptimas del frente de Pareto, están distribuidas apropiadamente en el espacio de solución de las funciones objetivo. Tres soluciones seleccionadas sobresalen considerando los objetivos individuales y colectivos.

Figura 15: Conjunto de soluciones óptimas de Pareto



Autor: Vinicio Amaya

En la figura 16 se ilustra la topología del sistema correspondiente a la solución B, la cual fue seleccionada que corresponde a la mejor solución encontrada por ella, considerando la métrica para determinar la mejor solución del frente de Pareto. En esta nueva disposición se proponen tres routers en los nodos 51, 52 y 54. De lo anteriormente expuesto se puede concluir que el resto de las líneas del sistema no deben exceder su capacidad máxima permitida. Adicionalmente en la figura 16 se puede verificar la topología de la red. (López, 2011)



4.3. Comparativa con otros algoritmos

Para determinar si las soluciones alcanzadas en este trabajo por el algoritmo NSGAII son competitivas con otras soluciones presentadas en el estado del arte, se realiza un estudio comparativo con dos algoritmos evolutivos multiobjetivos. Los algoritmos seleccionados son:

PAES: Pareto Archived Evolution Strategy fue propuesto por Knowles en 1999. Es uno de los métodos más simples, ya que incorpora el elitismo mediante una selección (1+1). Utiliza un archivo histórico de individuos no dominados así como una división del espacio de funciones objetivo aplicada en forma recursiva, generando una grilla adaptativa. Para preservar la diversidad utiliza crowding, evaluando las soluciones en cada uno de los cuadrantes de la grilla.

MOLS: Multi-Objective Local Search, Trabaja con una Función LocalSearch similar a la del Algoritmo PAES.

Para esta comparación se utilizan las siguientes métricas:

Hipervolumen: métrica propuesta por (E. Zitzler and L. Thiele, 1998) quienes la definen como el tamaño del espacio cubierto o dominado. Este indicador es comúnmente utilizado para medir la calidad del conjunto de soluciones obtenidas por los algoritmos de optimización.

Spread: Esta métrica fue propuesta por Deb et al. (2000), también es conocida como dispersión y mide la diversidad a lo largo del Frente de Pareto (su valor ideal es cero). Esta es una medida de la distribución de los puntos contenidos en un frente, y se necesita conocer por lo menos los extremos del Frente de Pareto. Esta información adicional (los extremos del frente) permite tener una medida más precisa de la cobertura del frente de Pareto.

Los parámetros definidos para cada algoritmo son los siguientes:

PAES: Se ha configurado con un tamaño de población de 200. Una condición de parada de 500 evaluaciones. Un parámetro de bisecciones igual a 5. Al índice de distribución la mutación polinomial se ha establecido un valor de 20 y a la Probabilidad de mutación a $1.0 \backslash \text{NumberOfVariables}$. Empleando un estimador de Densidad Adaptive GridArchive (Hypercube) donde se archiven las soluciones No dominadas.

MOLS: Emplea la misma configuración del algoritmo NSGAI excepto que no utiliza un operador de cruce.

La Tabla 2 muestra los resultados comparativos de la métrica hipervolumen, donde los mejores resultados son alcanzados con el algoritmo NSGAI seguido por PAES y MOLS.

NSGAI	PAES	MOLS
7,65E-01	7,23E-01	6,21E-01

Tabla 2. Resultados de la métrica Hipervolumen

Por otra parte la Tabla 3 muestra los resultados de la métrica Spread para determinar la diversidad del frente de Pareto, donde los mejores resultados son alcanzados por algoritmo PAES.

NSGAI	PAES	MOLS
6,31E-01	5,23E-01	6,21E-01

Tabla 3. Resultados de la métrica Spread

De forma general se puede observar que el algoritmo propuesto en este trabajo obtiene resultados competitivos frente a dos de los algoritmos multiobjetivos más utilizados en el estado del arte. Donde los mejores resultados los obtiene para la métrica Hipervolumen considerada de las más importantes en este contexto.

CAPÍTULO V:

**CONCLUSIONES GENERALES Y
RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones Generales

Terminado el proyecto de investigación, “**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN EN REDES METROPOLITANAS**”, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo una función multiobjetivo determinada por el costo de instalación y operación del sistema y por otra parte la confiabilidad de la red. Estas funciones fueron determinadas a partir de estudio bibliográfico en el contexto de las MANETs y se presentó la definición matemática y condiciones tecnológicas del problema para ser utilizadas en el proceso de optimización.
- La codificación propuesta contiene de manera implícita conceptos de diversidad, característica de gran importancia en optimización combinatorial, que garantiza una adecuada exploración en el espacio de soluciones, y de esta manera aumenta la probabilidad de encontrar soluciones de excelente calidad.
- Se mostró que el algoritmo NSGA-II utilizado como mecanismo para la obtención de multisoluciones, cumplió con dos objetivos: diversidad durante el proceso de solución y elitismo, mostrándose en la eficacia de las soluciones y en la excelente distribución del frente de Pareto.
- Se utilizaron las métricas Hipervolumen y Spread para desarrollar un estudio comparativo con los algoritmos PAES y MOLS. Donde se pudo apreciar que la propuesta de NSGA-II obtiene el mayor espacio de soluciones dominadas y para el caso de la dispersión sus resultados son similares a la de los otros algoritmos.

5.2. Recomendaciones

En el proyecto de investigación, “**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN EN REDES METROPOLITANAS**”, se recomienda lo siguiente:

- Realizar configuraciones futuras a partir de simulaciones utilizando el algoritmo meta-heurístico NSGA II, siguiendo la metodología empleada en este trabajo, para obtener resultados elitistas.
- El algoritmo NSGA II, permite el diseño y optimización de diferentes sistemas. La técnica utilizada tiene un rendimiento mejor comparado con los modelos matemáticos antiguos, en caso de necesitar ajuste de la función, o del número de parámetros, muchas veces es necesario cambiar el modelo completo. Por ello se recomienda el uso de algoritmos evolutivos, son mucho más sencillos pues se adaptan con mayor facilidad y generan un menor costo.
- Esta metodología puede ser aplicada en forma general en la revisión de las cargas y hacer reconfiguraciones en forma eficiente, segura y económica utilizando sistemas informáticos con el algoritmo meta-heurístico NSGA II.
- Igualmente se busca que los diseños se definan a tiempo para evitar sobreinversión. No obstante desde ahora se deja planteada esta necesidad y su posible solución.

Bibliografía

- Andaluz, A. M. (12 de 05 de 2012). <http://www.it.uc3m.es/>. Obtenido de <http://www.it.uc3m.es/>:
<http://www.it.uc3m.es/~jvillena/irc/practicas/estudios/aeag>
- Anguera, J., & Perez, A. (2011). *Teoría de Antenas*.
- Bäck, T., U. Hammel, y H. Schwefel. (1997). Evolutionary Computation: Comments on the History and Current State. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation Estados Unidos*, 3-17.
- Badr, A. y Fahmy, A. (2003). A Prof. Of convergente for Ant algoritihms. *Information Sciences 160 issues 1-4,, 267-279*.
- Bello, R and A. Puris. (2006). Two Step Ant Colony System to Solve the Feature Selection Problem. *11th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition CIARP*, (págs. 588-596). Mexico.
- Bonabeau, E. (1999). *Swarm Intelligence: From natural to artificial systems*. Oxford University Press.
- Bradstreet, L. (2011). *The Hypervolume indicator for multi-objective optimisation: calculation and use* . Western , Australia .
- Brassard, Gilles; Bratle, Paul. (1997). *Fundamentos de Algoritmia*. Madrid : Prentice Hall.
- Cano, J.R., F. Herrera, y M. Lozano. (2003). Using Evolutionary Algorithms as Instance Selection for Data Reduction in KDD: An Experimental Study. *IEEE Transactions of Evolutionary Computation*, 561-575.
- Cristian Perfumo, G. M. (2006). Algoritmos genéticos paralelos Aplicados a la resolución de Problemas de asignación de Frecuencias en redes celulares.
- Deb, K. A. (2000). *A fast and elitist multiobjective genetic algorithm*". Technical report, Inidian Institute of Technology.
- Dorigo M, M. y. (1996). The Ant System Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transaction on System Man & Cybernetics vol 26, No 1*, 1-13.
- Dorigo M. et al. . (1999). Ant algorithms for discrete optimization. *Artificial life 5(2): MIT Press, 1999., 137-172*.
- Dorigo M. et al. (1996). The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. . *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B, vol. 26, no.1*, 1-13.

- Dorigo M. y G. Di Caro. (1999). The Ant Colony Optimization meta-heuristic. (M. D. D. Corne, Ed.) *New Ideas in Optimization*, 11-32.
- Dorigo M. y Gambardella L. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol 1, No. 1, 53-66.
- Dorigo M. y L.M. Gambardella. (1997). Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem. *BioSystems*, N° 43, 73-81.
- E. Zitzler and L. Thiele. (1998). Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms - A Comparative Study. *Lecture Notes in Computer Science*, 292-301.
- Eisenblätter, A., Koster, A. (1996). *COST 259. Wireless Flexible Personalized Communications*. Obtenido de <http://fap.zib.de/problems/COST259/>.
- Engelbrecht, A. (2006). *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence*. John Wiley y Sons.
- Eshelman, L. (1991). The CHC adaptive search algorithm: How to have safe search when engaging in nontraditional genetic recombination. *Foundations of Genetic Algorithms*, 265-283.
- F. Comellas and J. Ozón. (2002). Agentes Distribuidos para la asignación de frecuencias hopping en redes celulares. *Primer Congreso Español de Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados*, (págs. 139-145).
- FAP. (2006). *FAP - Frequency Assignment Problems*. Obtenido de <http://fap.zib.de/index.php>
- Glover, F y M. Laguna,. (1997). *Tabu Search*. Kluwer Academic Publisher.
- Glover, F. y G. Kochenberger, eds. (2003). *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publisher.
- Hansen, P., N. Mladenovic, y J.A.M. Pérez. (2008). Variable Neighborhood Search. *European Journal of Operational Research*, 593-595.
- Hidalgo Pérez, J. I. (30 de 05 de 2002). *UNA REVISIÓN DE LOS ALGORITMOS EVOLUTIVOS Y SUS APLICACIONES* . Obtenido de <http://www.cesfelipesecondo.com/revista/Articulos2004b/Articulo5.pdf>
- Hooker, J. (1995). Testing Heuristic: We Have it All Wrong. *Journal of Heuristic*, 33-42.

- Hoos, H.H. y T. Stutzle. (1983). Search Algorithms for SAT: An empirical evaluation. *Journal of Automated Reasoning*, 421-481.
- J. Abril, F. Comellas, F. Cortés, J. Ozón, and M. Vaquer. (2000). A multiagent system for frequency assignment in cellular radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1558-1565.
- Kirkpatrick, S., C. Gelatt, y M. Vecchi. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 671-680.
- Koster, A. (1999). Frequency Assignment, Models and Algorithms. Ph.D Thesis, Universiteit Maastricht,. The Netherlands.
- L., D. M. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol 1, No. 1, 53-66.
- M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet. (1992). *The GSM System for Mobile*. Published by the authors.
- M.Mouly, M.B. Paulet. (1992). *The GSM System for Mobile Communications*. France.
- Marczyk, A. (10 de 10 de 2004). *Algoritmos genéticos y computación evolutiva*. Obtenido de <http://the-geek.org/docs/algen/>
- Michalewics, Z, y D. Fogel. (2004). How to solve it . Modern Heuristics. *Springer*, 554.
- monografias.com*. (s.f.). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos69/normas-fibra-optica/normas-fibra-optica2.shtml>
- O' Brien, J. A. & Marakas, G. M. (2008). *Management Information System*. New York: McGraw-Hill Irwin.
- Perkins, C. (2001). *Mobile Ad Hoc Networking Working Group*. Santa Bárbara: Univeridad de California.
- Puris, A. and R. Bello. (2007). Two Step Ant Colony Optimzation for solving Salesman Problem. *2nd International work-conference on the interplay Between natural and artificial computation*, (págs. 307-316). España.
- R. Ayuso, B. Ceña, M. Fernández, B. Milan, Ma. Saturnina Torre. (1999). *Comunicaciones Móviles GSM*. Fundación Airtel .

- R. Montemanni, D. a. (2002). An ANTS algorithm for the minimum-span frequency problem with multiple interference. *IEEE transactions on vehicular Technology*, 949-953.
- Rappaport, T. S. (1996). *WIRELESS Communications, Principles & Practice*. Prentice Hall.
- S.M. Redl, M.K. Weber, M.W. Oliphant. (1995). *An Introduction GSM*. Artech House Publishers.
- Telecomunicaciones, L. d. (2005). *La telecomunicaciones y la movilidad en la sociedad de la información*.
- Teledrónica. (2009). *INTRODUCCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA*.
- Thiele., E. Z. (1998). Multiobjective optimization using evolutionary algorithms: A comparative case study. En *Lecture Notes in Computer Science* (págs. 292-301). Berlin.
- V. Maniezzo and A. Carbonaro. (2000). An ANTS Heuristics for the frequency assignment problem. *Future Generation Computer Systems*, 927-935.
- Voudouris, C. y E. Tsang. (1995). *Guided Local Search Technical Report CSM-247*. Department of Computer Science.

A N E X O S

Quevedo, 18 de mayo del 2016.

Ing.

Roque Luis Gonzaga Vivas Moreira, MSc.

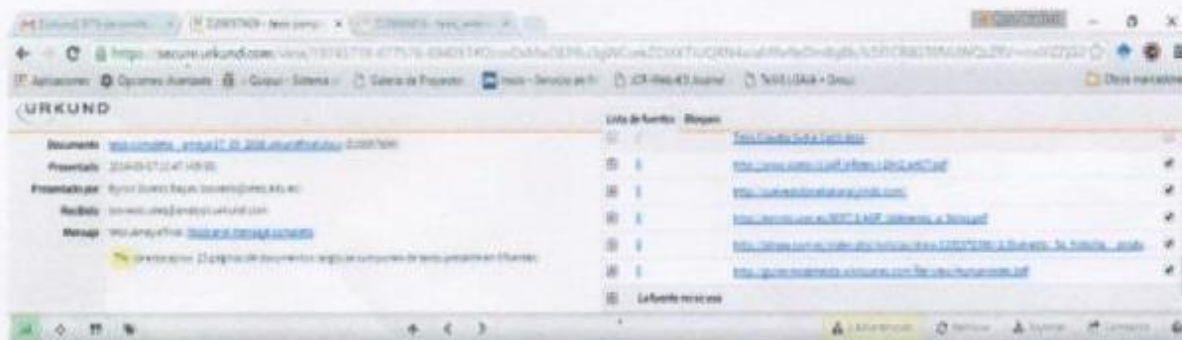
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO UTEQ

Presente.-

De mis consideraciones:

Ing. Byron Wladimir Oviedo Bayas, MSc, en calidad de Director de la Tesis de maestría, cuyo tema es: "**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN EN REDES METROPOLITANAS. AÑO 2016**", me permito manifestar a usted y por su intermedio al Consejo Académico de posgrado lo siguiente:

Que, el señor Ing. Vinicio Marcelo Amaya Diaz, egresado del Programa de maestría en Conectividad y Redes de Ordenadores, ha cumplido con las correcciones pertinentes, de acuerdo al reglamento de Graduación de Posgrado de la UTEQ, e ingresada su tesis de grado al sistema URKUND, tengo bien certificar la siguiente información sobre el informe del sistema reflejando un porcentaje del 7%



Ing. Byron Wladimir Oviedo Bayas, MSc

Director de Tesis