

Aplicación Práctica de Algoritmos Genéticos al Diseño de Redes

Marcelo MEJÍA
Departamento Académico de Computación
Instituto Tecnológico Autónomo de México
México, D.F., 01000, México

y

David LÓPEZ
Departamento Académico de Computación
Instituto Tecnológico Autónomo de México
México, D.F., 01000, México

RESUMEN

En este trabajo se presenta el uso de Algoritmos Genéticos para resolver dos problemas de diseño que se presentan en la red de Internet 2 en México y se muestran algunos resultados que pueden ser usados para proponer una futura extensión o cambio de la topología de la red jerárquica de CUDI cuando se incrementa la demanda de aplicaciones por hacer uso de esta red. El primer problema es seleccionar un conjunto mayor de ciudades en los que deben localizarse los nodos que conforman la dorsal de la red y el segundo es determinar la topología de ésta, es decir, de los enlaces que conectan a los nodos seleccionados.

Palabras Claves: Algoritmos Genéticos, Agrupamiento, Topología de Redes, Gráficas.

1. INTRODUCCIÓN

Conforme Internet crece, tanto en extensión como en cantidad de usuarios, los gobiernos, las universidades y los centros de investigación han comenzado a buscar nuevas formas para transportar información de una forma más rápida. Con el objeto de cubrir estas necesidades, desde hace algunos años varios países, junto con sus instituciones educativas y algunas empresas de telecomunicaciones, han comenzado a construir redes paralelas a Internet comercial pero con mayor capacidad. A esta infraestructura se le denominó en Estados Unidos Internet 2 y actualmente es el nombre con el que se le conoce mundialmente.

En México, cerca de la mitad de los usuarios de Internet están ligados a las universidades por lo que las principales universidades e instituciones de educación superior y de investigación mexicanas han avanzado aceleradamente en el desarrollo de sus redes internas y han comenzado a tener proyectos de aplicaciones avanzadas con equipo de alta calidad. Sin embargo, aunque en el país existe una regulación abierta que ha promovido el despliegue de una moderna infraestructura de fibra óptica que cubre gran parte del territorio nacional, la conectividad de las universidades entre sí se ha visto limitada por la ineficiencia existente en el mercado de enlaces de alta capacidad en México.

Con el objetivo de promover y coordinar el desarrollo de Internet 2 en México, el 8 de abril de 1999 se crea la

Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI). La red de CUDI tiene como fin dotar a la comunidad científica y universitaria de México de una infraestructura que le permita crear una nueva generación de investigadores, dotándolos de mejores herramientas que les permitan desarrollar aplicaciones científicas y educativas de alta tecnología a nivel mundial. La topología actual de la red CUDI tiene una estructura jerárquica de dos niveles, como se muestra en las figuras 1 y 2, formada por una red dorsal de alta capacidad y por redes de acceso que ofrecen conectividad a los usuarios. La dorsal cuenta con 8000 Km de enlaces a 155 Mbps entre sus nodos, a los que se conectan por medio de enlaces a 34 Mbps los miembros asociados que constituyen los puntos de presencia que permiten conectar a los afiliados. La red cuenta además con tres enlaces internacionales hacia Estados Unidos en las ciudades del norte del país.

Como puede observarse en la figura 1, México tiene una gran extensión territorial y gran parte de ella no se encuentra hoy en día al alcance de la dorsal de la red de CUDI, lo que implica que la conexión de los puntos de presencia a los nodos de la dorsal puede requerir el uso de enlaces (caros) de larga distancia y alta capacidad. El objetivo del presente trabajo es utilizar Algoritmos Genéticos (AGs) para proponer: 1) un conjunto mayor de ciudades que conformen los nodos de la dorsal y un agrupamiento de ciudades alrededor de estos nodos que minimice las distancias en los enlaces de acceso a la vez que resulte en grupos de similar tamaño, y 2) una topología de la dorsal que sea tolerante a fallas. Esta propuesta podrá ser utilizada en el futuro cuando se incrementa la demanda de aplicaciones por hacer uso de Internet 2 en México.

Los AGs son una técnica robusta de búsqueda y optimización que trabajan con una población de individuos que codifican posibles soluciones al problema que se desea resolver. Iterativamente, una nueva población reemplaza a la anterior, por medio de un proceso aleatorio de selección de individuos padre, basada en los méritos relativos de la solución que codifican, cuya combinación (cruzamiento) y mutación producen individuos hijos.

La organización del resto del artículo es la siguiente. En la sección 2 se describe la utilización de un AG para definir la localización de los nodos de la dorsal así como la forma en que se agruparán lógicamente las ciudades. En la sección 3 se presenta el uso de otro AG y de una heurística, para diseñar la

topología de la dorsal con restricciones de costo (distancia) y de tolerancia a fallas. Finalmente, se presentan los resultados y las conclusiones del trabajo.



Figura 1. Dorsal actual de la red de CUDI.

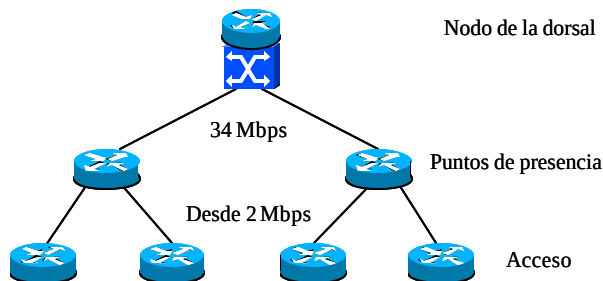


Figura 2. Redes de acceso.

2. SELECCIÓN DE LOS NODOS DE LA DORSAL

Para determinar la localización de los nodos de la dorsal usamos una reformulación del problema clásico, en investigación de operaciones, de localización de almacenes [1, 2]. Hay dos modelos que abordan este problema [3], de espacio continuo y de espacio discreto. Debido a los inconvenientes que se pueden presentar al explorar una zona geográfica continua y elegir un punto cualquiera de ella para localizar un nodo, se utiliza el modelo de espacio discreto en el que se preseleccionan M localizaciones posibles para instalar los nodos de la dorsal. En nuestro caso se preseleccionan 35 ciudades del país que son capitales estatales o ciudades que actualmente albergan un nodo de la dorsal de la red de CUDI.

En México, hay un total de 245 (N) ciudades donde existen instituciones educativas de nivel superior y centros de investigación que potencialmente son usuarias de Internet 2. En función de este dato, de la extensión geográfica de México y de las topologías de las redes de Internet 2 que existen en otros países (como Inglaterra, Canadá y Francia) se decidió que el número P de nodos de la dorsal debería estar entre 9 y 12. El problema se reduce entonces a seleccionar de entre las M ciudades posibles aquellas P que agrupen de la mejor manera a las $N-P$ ciudades restantes.

El único procedimiento conocido para obtener la solución óptima a este problema es la enumeración y la evaluación de

todas las combinaciones posibles de ciudades. Dado que este procedimiento es impráctico para redes que no sean pequeñas, se han propuesto diferentes algoritmos para solucionar aproximadamente el problema. Estas heurísticas evalúan alternativas de solución considerando restricciones de costos de instalación y operación de los nodos, número de puertos de los nodos, demandas de tráfico, y / o distancias entre las ciudades [3, 4, 5].

En esta sección se describe el uso de un AG, como procedimiento de búsqueda en el espacio de soluciones factibles, que determina qué ciudades agrupan de mejor manera al resto de las $N-P$ ciudades, definiendo como mejor agrupación aquella en la que se maximiza la homogeneidad entre los P grupos, según algún criterio específico definido por la función de evaluación. La descripción se centra en la codificación utilizada para representar a los individuos, en la función de evaluación que determina su aptitud y en los operadores genéticos que los modifican, ya que estos factores son muy importantes para lograr una operación efectiva y eficiente del AG.

Codificación

El primer paso al resolver un problema utilizando un AG es codificar las posibles soluciones en cromosomas compuestos por genes. En este caso cada individuo de la población tiene un solo cromosoma y cada cromosoma está compuesto por P genes, representando cada gen un nodo posible de la dorsal. Dada la naturaleza del problema se utilizó un cromosoma entero enumerado, proporcionado por el software GeneHunter¹, cuyos genes siempre tienen valores enteros distintos. Si tenemos M ciudades potenciales, los valores que puede tomar cada gen están entre 0 y $M-1$. La figura 3 muestra la codificación de un cromosoma con $P=9$ que propone las ciudades 10, 2, 11, 74, 20, 63, 17, 81 y 20 como nodos de la dorsal.

10	2	11	74	20	63	17	81	20
----	---	----	----	----	----	----	----	----

Figura 3. Codificación de un individuo.

Evaluación

El AG genera aleatoriamente un número (especificado por el diseñador) de cromosomas que constituyen la población de individuos que deberá evolucionar a través de múltiples generaciones, en búsqueda de una solución al problema. Esta evolución debe ser guiada por la función de aptitud que indica qué tan buena es la solución codificada por cada cromosoma. En este caso, nuestro propósito principal fue emplear una función de aptitud que permitiera asignar las ciudades a grupos que fueran lo más homogéneos posibles.

Para evaluar la aptitud de un cromosoma se utiliza el siguiente procedimiento:

- 1) Se calcula la partición generada por el cromosoma asignando cada una de las $N-P$ ciudades a uno de los P nodos (genes) del cromosoma. Cada ciudad se asigna al nodo más cercano geográficamente o al nodo que lo atrae con mayor fuerza según la fórmula de gravedad de Reilly [6].
- 2) Para cada grupo, se suman las distancias que existen entre cada ciudad y su nodo de dorsal o se suma la población de las

¹ <http://www.wardsystems.com/products.asp?p=genehunter>

ciudades. Se calcula la desviación estándar de estas sumas como la medida de dispersión que desea minimizarse.

Operadores genéticos

El AG utiliza operadores de cruzamiento y de mutación especiales que preservan la unicidad de las ciudades en los cromosomas.

En cada generación, el AG crea nuevos cromosomas combinando los ya existentes y se selecciona de entre todos a los mejor adaptados para producir la nueva población de individuos. Al evolucionar la población se espera encontrar cada vez cromosomas mejor adaptados al problema. Debido a que una de las restricciones importantes de la codificación es que en un mismo cromosoma no pueden existir ciudades repetidas, se utiliza un tipo especial de cruzamiento llamado Partially Matched Crossover (PMX [7]). El diseñador selecciona una probabilidad de cruzamiento que regula el grado de mezcla de los cromosoma estableciendo la probabilidad de que se aplique el operador de cruzamiento en un par de cromosomas. Si esta probabilidad es igual a cero, el contenido del cromosoma se copia a la descendencia.

Para introducir diversidad en la población, el AG utiliza el operador de mutación que modifica el valor de un gen de un cromosoma. Como el operador correspondiente de GeneHunter sólo intercambia de posición dos genes dentro del mismo individuo cuando se utilizan cromosomas enteros enumerados, no genera una nueva propuesta de nodos y se tuvo que sobre-escribir este operador. En cada generación, para cada cromosoma y con una probabilidad especificada por el diseñador:

- 1) Se genera un número aleatorio x entre 0 y $M-1$ y un número aleatorio pos entre 1 y P .
- 2) Si x ya existe en el cromosoma se regresa al paso 1 (para evitar que en el cromosoma haya ciudades repetidas).
- 3) Se inserta x en la posición pos del cromosoma.

3. TOPOLOGÍA DE LA DORSAL

Una vez que se tienen identificados los nodos que formarán parte de la dorsal, se deben determinar los enlaces que los unirán. El diseño de la topología de la dorsal se rige por varios objetivos: tolerancia a fallas, utilización óptima de los enlaces y existencia de rutas directas entre los nodos, los cuales son mutuamente excluyentes en algunos casos. Dado que no se cuenta con algoritmos exactos para resolver este problema, frecuentemente se utilizan heurísticas que siguen reglas empíricas basadas en intuición y en conocimiento específico del problema.

En esta sección se describe una heurística, que utiliza un AG como uno de sus elementos, para proponer una topología 2 conexa para la dorsal de la red. Una topología 2 conexa aumenta la confiabilidad de la red ya que en ella sigue existiendo un camino entre cualquier par de nodos a pesar de que un enlace o un nodo de la red fallen.

Un problema que se tiene frecuentemente en diversos algoritmos de diseño es la verificación de las restricciones de conectividad y la “reparación” de soluciones no factibles [8]. En la heurística propuesta en [9] se evita este problema iniciando con una topología en anillo (que es 2 conexa) y agregando posteriormente enlaces directos entre nodos, lo que

disminuye la longitud total de los caminos entre cada par de nodos.

Topología inicial

La topología inicial en anillo puede obtenerse aplicando la heurística de “inserción del vecino más lejano”. Esta heurística inicia seleccionando los dos nodos más alejados entre sí y formando un primer anillo (triángulo) con el nodo cuya menor distancia a cualquiera de ellos es máxima. Repetidamente, y hasta terminar con todos los nodos, se incorpora al anillo el nodo cuya distancia mínima a cualquier nodo que ya se encuentre en el anillo sea máxima; este nodo se inserta en el anillo en el lugar que resulte en un menor incremento en la longitud total de éste: suma de las longitudes de las dos nuevas aristas que se insertan en el anillo menos la longitud de la que se remueve.

Para construir la topología inicial también puede utilizarse un AG que encuentre una solución aproximada al problema del agente viajero, es decir, una subgráfica de longitud mínima en forma de anillo que conecta a todos los nodos de la dorsal (circuito hamiltoniano de distancia mínima). En la codificación empleada, los valores de los cromosomas son sólo permutaciones de los mismos identificadores de los nodos de la dorsal y el orden de aparición de estos identificadores indica las conexiones presentes en el anillo. El operador de cruzamiento que se utiliza en este caso es también PMX, pero el de mutación es diferente al de la sección anterior ya que sólo es necesario intercambiar los valores de genes en el cromosoma.

Disminución de distancias

Para reducir las distancias entre los nodos del anillo puede realizarse la unión de esta gráfica con un árbol de recubrimiento de Prim – Dijkstra [9] con raíz en la Ciudad de México o en alguna ciudad con salida a la red de Internet 2 en Estados Unidos. Esta clase de árboles puede parametrizarse para minimizar la distancia entre cada nodo y la raíz, la distancia total en la red o la suma de las distancias entre cada par de nodos.

Otra opción que se considera para construir conectividad 2 en una topología y reducir las distancias entre los nodos es utilizar la estrategia “divide y vencerás” mediante la construcción de un anillo de anillos. En esta opción se utilizan dos o tres anillos de menor longitud y se unen por medio de dos enlaces, de longitud mínima, que garanticen que existen dos caminos disjuntos entre cada par de nodos de la gráfica resultante.

4. RESULTADOS

Utilizando como datos de entrada las coordenadas geográficas y la población universitaria de 245 ciudades de la República Mexicana se realizaron pruebas del funcionamiento de los dos AGs descritos anteriormente.

El software construido para implementar el AG que selecciona los nodos de la dorsal permite variar el número de grupos que se desean, variar el proceso de asignación de grupos: por distancia o utilizando la fórmula de Reilly, y utilizar dos medidas para evaluar la homogeneidad de los grupos resultantes: la suma de distancias de las ciudades al nodo correspondiente de la dorsal, y el número total de usuarios. Para calcular la distancia D entre cada par de ciudades, a partir de su latitud y longitud, el software emplea la fórmula:

$$D = \text{Radio de la Tierra} * \arccos[\sin(\text{latitud}_a)\sin(\text{latitud}_b) + \cos(\text{latitud}_a)\cos(\text{latitud}_b)\cos(\text{longitud}_a - \text{longitud}_b)] \quad (1)$$

El software también nos permite fijar algunas ciudades en el cromosoma que no son modificados por los operadores genéticos, pero que sí intervienen en la evaluación del individuo.

A continuación se muestran los resultados obtenidos considerando 12 nodos para la dorsal, fijando las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey (las 3 más importantes del país) en los cromosomas, y asignando los grupos y midiendo su homogeneidad en base sólo a las distancias. Los parámetros que se utilizaron en el AG durante los experimentos son los siguientes:

- Número de individuos = 50
- Tasa de cruzamiento = 0.9
- Tasa de mutación = 0.085
- Selección elitista

En las Tabla 1 se presenta la lista de nodos obtenidos para la dorsal y el número de ciudades asignadas a cada grupo.

Nodos de la dorsal	Número de ciudades asignadas
México	47
Guadalajara	29
Monterrey	22
Ciudad Juárez	10
Tijuana	7
La Paz	12
Durango	14
San Luis Potosí	20
Xalapa	36
Chilpancingo	15
Tuxtla Gutiérrez	22
Chetumal	11

Tabla 1. Nodos de la dorsal.

Las ciudades de cada grupo pueden ser conectadas ahora utilizando una topología en estrella que minimiza la distancia entre cada ciudad y la dorsal, o un árbol MST que minimiza la distancia total en la red de acceso, o un árbol Prim – Dijkstra que es un compromiso entre ambos [9].

Para generar topologías alternativas para la dorsal de la red se utilizan los nodos de la tabla 1, sustituyendo Chetumal por Cancún para tener todas las ciudades que pertenecen a la dorsal actual de CUDI.

Una primera topología alternativa tiene como base una topología en anillo de costo mínimo (TSP), que cumple con las restricciones de conectividad igual a 2, encontrada mediante la aplicación del segundo AG. En esta topología existen 3.27 saltos en promedio entre cada par de nodos y la máxima distancia (diámetro) entre dos nodos de la red es de 6 saltos. Para reducir el número de saltos en la red, esta gráfica se une con un árbol mínimo de recubrimiento (MST), construido con el algoritmo de Prim, que enlaza a los nodos al interior del anillo. En la figura 4 se muestra la topología resultante, que cuenta con 3 enlaces más y en la cual el número de saltos promedio disminuye a 2.56 y el diámetro a 5.

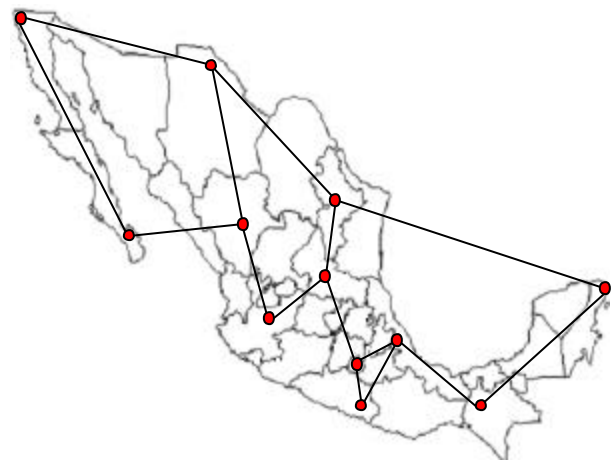


Figura 4. Topología de la dorsal: TSP + MST.

Una segunda topología alternativa, mostrada en la Figura 5, está constituida por dos anillos (TSP), uno en el norte y otro en el centro sur del país, que se unen mediante dos enlaces de mínima longitud. Esta topología tiene 14 enlaces, uno menos que la anterior, su diámetro es de 6 y el número promedio de saltos es de 2.78.



Figura 5. Topología de la dorsal: 2 TSP.

Dado que los resultados de otros experimentos mostraron que si se usa la población total como medida de homogeneidad se crean grupos muy cercanos en el centro del país, una tercera alternativa a considerar es la topología mostrada en la Figura 6. Esta topología está basada en un anillo norte con 5 nodos, un anillo sur con 4 nodos y un anillo centro, de extensión geográfica limitada, con sólo 3 nodos. De entre las tres alternativas consideradas, esta topología es la que tiene el mayor número de enlaces, 16.

En la Tabla 2 se resumen las características de las tres topologías mostradas en las figuras: TSP es la topología que tiene el menor número de enlaces, TSP + MST es la única que tiene un diámetro menor a las otras, la topología 3 TSP es la que tiene el mínimo número de saltos promedio, 2.55.



Figura 6. Topología de la dorsal: 3 TSP.

Topología	Número de enlaces	Promedio de saltos	Diámetro
TSP	12	3.27	6
TSP + MST	15	2.56	5
2 TSP	14	2.78	6
3 TSP	16	2.55	6

Tabla 2. Comparativo de las topologías consideradas.

5. CONCLUSIONES

Diseñar una red es un problema bastante complejo que en muchas ocasiones no se ataca de manera ordenada. Típicamente se inicia con una red simple y el diseño va creciendo con el tiempo conforme se reciben nuevas demandas de acceso a la red. Dado que este crecimiento reactivo de la red puede conducir a un diseño un tanto cuanto caótico, es recomendable contar con un diseño que desde un principio considere el posible crecimiento de la red.

En este trabajo se propusieron dos Algoritmos Genéticos, que en combinación con algoritmos clásicos de recorrido de gráficas, pueden utilizarse para apoyar el proceso de diseño de la red de Internet 2 en México. Los AGs encuentran, de manera simple desde el punto de vista del diseñador, una solución cercana a la óptima a problemas que requerirían de una enumeración exhaustiva de las posibles soluciones factibles.

Los resultados que pueden obtenerse con los algoritmos descritos en el trabajo dependen de varios parámetros que deben ser configurados por un diseñador humano experto para validar lógicamente los resultados, analizar posibles alternativas y experimentar con diferentes configuraciones. Las heurísticas de diseño deben verse como ayuda y no como sustituto a la labor de los ingenieros.

Como extensión del presente trabajo estamos explorando la utilización de otra metaheurística, la Búsqueda Tabú, para resolver el problema generalizado de Steiner que permite especificar topologías con restricciones de conectividad diferentes para cada par de nodos.

6. REFERENCIAS

- [1] A.K. Kuehn and M.J. Hamburger, "A Heuristic Program for Locating Warehouses", **Management Science**, Vol. 9, July 1963, pp. 643-666.
- [2] E. Feldman, F.A. Lehrer, and T.L. Ray, "Warehouse Location under Continuous Economies of Scale", **Management Science**, Vol. 12, May 1966, pp. 670-684.
- [3] D.R. Sule; **Manufacturing Facilities – Location, Planning, and Design**, PWS Publishing Company, Second edition, 1994, Chapters 17 – 19.
- [4] A.S. Tanenbaum, **Computer Networks**, Chapter 2, Prentice-Hall, 1981.
- [5] A. Kershenbaum, P. Kermani, and G.A. Grover, "MENTOR: An Algorithm for Mesh Network Topological Optimization and Routing", **IEEE Transactions on Communications**, Vol. 39, No. 4, April 1991, pp. 503-513.
- [6] P.R. Greene, and C.J. Stager; "Techniques and Methods of GIS for Business"; In James B. Pick (Editor); **GIS in Business**, Idea Group, 2004, pp. 36-55.
- [7] Goldberg, D.E., **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**, Chapter 5, Addison-Wesley, 1989.
- [8] G. Figueroa y J. Robles, **Herramienta para el Diseño de Topologías de Red basada en Algoritmos Genéticos**, Tesis de Ingeniería en Computación, ITAM, Diciembre 2000.
- [9] R.S. Cahn, **Wide Area Network Design – Concepts and Tools for Optimization**, Morgan Kaufmann, 1998.

Arquitectura para el Control y Monitoreo Remoto de Tiempo Real Utilizando Redes Inalámbricas

Apolinar GONZÁLEZ POTES

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Mecánica, Universidad de Colima
Colima, México

Martín G. RODRÍGUEZ LEGNAME

Centro de Investigación en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica

y

Abel MÉNDEZ PORRAS

Centro de Investigación en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica

RESUMEN

En éste trabajo se aborda la problemática de comunicación en tiempo real en sistemas de control y monitoreo remoto. Se propone una arquitectura orientada a aplicaciones donde los requerimientos de tiempo real sean relevantes, dedicando interés especial en el protocolo de comunicaciones para una red *ad hoc*, que cubra las necesidades de la comunicación mixta en aplicaciones de estas características. El protocolo se implementó en los nodos sobre RT-Linux portado a la arquitectura StrongArm.

Palabras Claves: Arquitectura software, redes inalámbricas, tiempo real.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los sistemas de control y monitoreo a distancia se han convertido en factor común de diversos campos de aplicación que van desde la medicina (operaciones teleoperadas, vigilancia de pacientes, etc.) hasta la seguridad (vigilancia remota de interiores, detección de agentes biológicos nocivos, control de áreas de gran escala, etc.) [1], [2], [4]. En este tipo de aplicaciones, los sistemas de tiempo real (SRT) cobran gran importancia enfrentándose a la problemática que representa la comunicación debido a las restricciones de tiempo y plazos de entrega que ellos demandan. Por otro lado, las redes inalámbricas con topología *ad hoc* brindan la posibilidad de cubrir grandes áreas sin la necesidad de una estructura previa, haciendo uso de un conjunto de nodos distribuidos geográficamente [11], [12], [13]. El indeterminismo en las comunicaciones inalámbricas, hace de estas una parte crucial para el diseño de los STR, obligando a definir un conjunto de servicios para el enrutado de paquetes con plazos de entrega, los cuales son definidos en la literatura como protocolos de enrutado de tiempo real. Adicionalmente, es necesario definir un planificador dinámico de paquetes para cada nodo, con criterios de tiempo real, y así reorganizar las colas con una política preestablecida [9]. Este trabajo propone una arquitectura de comunicación, definiendo

un protocolo que permite mezclar paquetes con diferentes prioridades (alarmas, control y multimedia), junto con una política de planificación basada en el *Earliest Deadline First* (EDF) para cada nodo, implementado como una tarea sobre RT-Linux. De esta manera se le permite a cada nodo discriminar entre los paquetes a retransmitir y los paquetes a ser tratados localmente. En este trabajo no se aborda las problemáticas referentes a control ni a robótica. Este documento se encuentra organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se define el protocolo de comunicación de tiempo real, en 3 se describe la arquitectura propuesta para el nodo. En la sección 4 se presenta la aplicación, y, por último, en la sección 5 se concluye.

2. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Actualmente son pocas las implementaciones de protocolos que cumplen con requerimientos de tiempo real fuera del ámbito académico o experimental. La capa de red *Medium Access Control* (MAC) no brinda el soporte necesario para realizar transacciones inalámbricas con características de *hard real-time*. Sobre esta capa MAC se implementó un protocolo de ruteo geográfico, capaz de manejar tanto tráfico de control de tiempo real como tráfico de aplicaciones que no tengan restricciones de tiempo.

Diseño del Protocolo de Comunicación

La arquitectura de comunicación provee las interfaces *send* y *receive* para que las aplicaciones envíen y reciban paquetes sobre la capa MAC definida por el IEEE 802.11b respectivamente. Esto se debe a que, al igual que la mayoría de las capas MAC más populares, esta no provee soporte para transmisiones de tiempo real duro.

Con este protocolo se pretende proveer al sistema la capacidad de enviar mensajes entre dos nodos, asegurando que se cumpla con el tiempo límite de entrega (*deadline*). Este *deadline* se asegura únicamente para la conexión directa entre nodos, por la inestabilidad que representa una transmisión sobre el IEEE 802.11b.