

Protocolo de Proyecto de Investigación
Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP)
Área: Ingeniería y Tecnología / Ciencias de la Computación
Búsqueda adaptiva en redes dinámicas masivas

Dra. Satu Elisa Schaeffer
División de Posgrado en Ingeniería de Sistemas (PISIS)
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME)
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)

Duración: del 1 de noviembre de 2007 al 31 de octubre de 2009

Resumen

Estudiamos redes dinámicas de tamaño masivo, como los sistemas entre pares y súper-computadoras formadas por numerosos equipos pequeños que colaboren para lograr coordinación entre ellos. Nuestro enfoque está en los algoritmos de búsqueda distribuida de comportamiento escalable y dinámica que no sufren del crecimiento del sistema ni de cambios de topología. La importancia de tal estudio proviene del papel importante que ya han obtenido redes de información y comunicación en la sociedad moderna. La relevancia del proyecto está en diseñar soluciones capaces de reaccionar a patrones de uso del sistema y así evolucionar según los cambios de comportamiento e intereses de los usuarios. Queremos crear algoritmos adaptivos que aprendan del tráfico en la red y utilicen sus observaciones para mejorar la calidad de servicio a los búsquedas futuras. Utilizamos los descubrimientos de la última década sobre redes naturales y sistemas complejos para desarrollar métodos refinados en especial para instancias reales. El trabajo será analítico y experimental. El grupo de trabajo ya tiene colaboración establecida sobre el tema y fuertes conocimientos del diseño y análisis de algoritmos, experimentos computacionales y simulación.

1. Introducción y Antecedentes Científicos

Sistemas de comunicación ya forman una parte fundamental de la función de sociedad y industria moderna. Su tamaño está en crecimiento constante y la complejidad de tales sistemas posee desafíos grandes con respeto al mantenimiento, escalabilidad y desarrollo.

Nuestro interés está en redes masivas donde los *nodos* participantes, que típicamente son equipos de computación de capacidad diferente, comparten recursos — sea contenido o recursos computacionales — para fines colaborativos. Por ejemplo, se puede juntar una gran cantidad de computadoras personales para funcionar como una súpercomputadora, coordinando el uso de sus recursos (es decir, procesadores y memoria) entre los nodos. Las *conexiones* que facilitan la comunicación del sistema son típicamente conexiones entre dos nodos así que para lograr comunicación entre nodos no directamente conectados uno al otro, hay que propagar mensajes a través de los nodos intermedios. Los nodos presentes y las conexiones entre ellos forman la *topología* del sistema, es decir, una red de comunicación.

Cuando el tamaño, en términos del número de nodos participantes, está grande, ya no es factible manejar la coordinación de la comunicación entre los nodos de una manera centralizada. La cantidad de información que debería ser guardada y procesada para poder tomar decisiones globalmente óptimas es demasiado grande para lograr funcionamiento eficiente. La reacción adecuada a la casi-imposibilidad de computación global centralizada es el uso de métodos *distribuidos* de computación *local* y algoritmos de *aproximación*.

Complejidad adicional surge de la naturaleza *dinámica* de tales sistemas: en cualquier momento, uno de los nodos puede ocuparse con un usuario local, sin poder continuar colaborando en la tarea distribuida. También nuevos nodos pueden entrar a la colaboración. Este tipo de cambio de la topología de las conexiones entre los nodos resulta en “invalidación” rápida de observaciones estructurales hechas de la red: lo que en un momento estaba comportamiento óptimo, puede que ya ni siquiera es factible en otro momento.

Además del uso de computadoras normales como una súpercomputadora, el mismo planteamiento repite en los sistemas *entre pares* (inglés: peer-to-peer networks) donde los nodos participantes contienen alguna información (por ejemplo, documentos de texto o música) y pueden realizar *búsquedas* para ubicar cierto contenido de interés, y en el caso que esté presente el contenido deseado, descargarlo de un nodo que ya lo posee [3, 8, 17, 19]. En general, una búsqueda en una red es el proceso de ubicar de una manera eficiente un nodo de *destino* desde un nodo de *origen*. Con eficiente se refiere a poder mantener las cantidades de tiempo de ejecución, memoria consumida y mensajes de comunicación entre los nodos en niveles moderados, preferiblemente minimizando por lo menos uno de estos tres factores.

Los nodos no necesariamente son computadoras conectadas a la Internet, sino también pueden ser terminales móviles (como teléfonos celulares) que forman una red *ad hoc* [10] a través de comunicación por radio (por ejemplo por Bluetooth). La necesidad de buscar por un nodo con cierto recurso, contenido o identidad es central también para la función de sistemas de *redes sensoras* donde una cantidad posiblemente enorme de elementos computacionales muy pequeños están en cargo de vigilar una área por un fenómeno específico para detectar y reportar eventos de interés.

1.1. Planteamiento del Problema

Modelamos las redes de comunicación como *grafos*. Un grafo $G = (V, E)$ es una estructura de matemáticas discretas donde V es un conjunto de *vértices* y E es un conjunto de *aristas*. Los vértices representan los nodos — un vértice por nodo — y las aristas representan las conexiones — una arista (v, w) es un par de vértices, por lo cual si (v, w) está en el conjunto E , los nodos representados por los vértices v y w pueden comunicarse directamente uno al otro. El número de vértices $|V|$ se denota con n y el número de aristas $|E|$ con m .

El grafo está formada dinámicamente en tiempo así que vértices pueden entrar al grafo y partir del grafo. Cuando entra un vértice, puede formar aristas con los vértices ya presentes de una manera predeterminada que depende del sistema de mundo real estudiado. Cuando un vértice sale del grafo, desaparecen también todas sus aristas. Un vértice v es un *vecino* de otro vértice w si y sólo si la arista (v, w) pertenece al grafo. El número de vecinos que tiene un vértice se llama su *grado*. Un vértice v está conectado al otro vértice w , si en el grafo existe un *camino* de aristas por lo cual es posible “mover” desde v hasta w siguiendo las aristas. La *distancia* entre dos vértices es el número de aristas en el camino más corto que los conecta en el grafo. Si todos los vértices están conectados a todos los otros vértices, el grafo es *conexo*. La figura 1 ilustra estos conceptos.

Un vértice puede comunicar con cada vecino suyo por enviar un paquete por la arista que

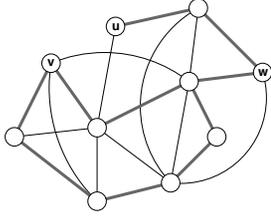


Figura 1: Un grafo de ejemplo: los vértices son los círculos y las aristas las líneas conectando un círculo al otro. Se muestra (en línea gruesa gris) dos posibles caminos desde el vértice v hasta el vértice w y un camino de w a un tercer vértice u . Las aristas que no forman parte de ninguno de los tres caminos están dibujadas en línea fina negra. En el ejemplo, $n = 8$ y $m = 20$ y el grafo es conexo. La distancia entre v y w es tres, entre v y u es dos y entre w y u es también dos.

los conecta. Para comunicar a un vértice que no es su vecino, tienen que enviar el paquete primero a un vecino quien lo va a reenviar a otro vértice. Esto se repite hasta que el paquete llega a su destino. Para poder realizar el reenvío, es necesario que el paquete contenga una *identificación* del vértice de origen del mensaje y también una identificación del vértice de destino. Esas identificaciones se llaman las *direcciones* de los vértices. El proceso de elegir a dónde un vértice debería reenviar un paquete destino de que no es el vértice mismo se llama *ruteo* y el camino recorrido por un paquete es una *ruta* de comunicación.

Una *tabla de ruteo* completa contiene información sobre todos los caminos de un grafo. Si cada vértice tiene acceso a una tabla de ruteo completa, tienen la información exacta para poder comunicar con cada otro vértice. Los vértices simplemente consultan en la tabla de ruteo por el camino más corto de ellos mismos al vértice destino del paquete. Si el grafo es muy grande o la capacidad de almacenar información de los vértices es limitada, no es posible manejar una tabla de ruteo completa. Si cada vértice solamente conoce una parte de la topología del grafo, es necesario incluir información (parcial) de la ruta en el paquete mismo, por si acaso es algún vértice intermedio no conoce la ruta. Además, cuando un vértice recibe un paquete con información de ruta incompleta y el vértice tampoco conoce la ruta, el vértice tiene que contar con un algoritmo de ruteo para poder elegir entre sus vecinos a cuál reenviar el paquete. Los algoritmos de ruteo juntos con los algoritmos de mantenimiento de una tabla de ruteo y el formato de los paquetes enviados forman un *protocolo de ruteo*.

Ruteo en grafos pequeños y estáticos es un problema ya resuelto. En este proyecto, queremos atacar el ruteo en grafos masivos y dinámicos. Con “masivo” queremos decir que los grafos son tan grandes que desde el punto de vista de un vértice son prácticamente infinitos: la fracción de vértices que son vecinos de un vértice es en promedio casi cero. Una restricción especial que planteamos se trata de la *capacidad computacional* de los vértices: cada vértice tiene un límite para cuánta información topológica puede “recordar” en su tabla de ruteo. Además el tamaño de los paquetes está limitado: no es posible incluir más que k unidades de información en un sólo paquete.

Entonces, el problema es qué información incluir en las tablas de ruteo junto con la pregunta qué información debería ser incluido en un paquete para poder lograr un tiempo ruteo casi

óptimo. Estas preguntas no son fáciles de contestar en grafos dinámicos, porque los cambios constantes de topología causan partes de la información guardada volver inválida rápidamente. La idea es no enviar paquetes de control para averiguar el estado del grafo, sino adjuntar información en los paquetes que están relacionados a los pedidos y su servicio siempre y cuando los paquetes no están ocupando todas las k unidades de información disponibles. Así los vértices podrían propagar información que consideren esencial a los otros vértices que van a procesar el mismo paquete. Por permitir los vértices intermedios modificar esos contenidos adicionales de los paquetes podemos lograr comunicación más eficiente en el grafo.

1.2. Trabajo Existente y Áreas de Oportunidad

En forma centralizada con información completa, el problema de *búsqueda* en grafos es simplemente la construcción de caminos de largo mínimo [9] que ya cuenta con varios algoritmos eficientes para diferentes variaciones del problema. Para grafos de tamaño masivo, ese tipo de procedimiento no es aplicable por el tamaño del grafo, ya que son algoritmos polinomiales en el tamaño del grafo — lo que nos interesa a nosotros es el diseño de métodos con complejidad que *no* dependa del grafo completo, sino del vecindario local de los vértices involucrados.

Cuando no toda la información de ruteo está disponible, uno típicamente tiene que hacer algún recorrido tipo *búsqueda en anchura* (inglés: breadth-first search) para encontrar un camino del origen al destino. En muchas aplicaciones ha resultado beneficioso permitir que la búsqueda progresa *en paralelo* ramificándose en las diferentes partes de la red, aunque esto puede resultar en congestión u otros problemas [5]. Ramificación a todas las direcciones se llama *inundación* (inglés: flooding), que en su forma más sencillo causa que cada mensaje propaga por cada arista. Unas variaciones probabilísticas y limitadas ofrecen resultados buenos [6, 13, 26]. Por lo general, el estudio y simulación de tales sistemas es más realístico en sistemas multiprocesador.

Las técnicas de *búsqueda local* están fuertemente relacionadas con búsqueda de recursos en redes masivos, porque son métodos para ubicar soluciones buenas en espacios enormes típicamente representadas a través de grafos. En nuestro problema, sin embargo, no existe una función objetivo natural para utilizar dirigir la búsqueda.

La comunidad científica que estudia redes ha comenzado en los últimos años a tomar cuenta de los efectos de *propiedades estructurales* de las redes mismas en el comportamiento de algoritmos. Tales propiedades incluyen por ejemplo los diámetros sorprendentemente pequeños en comparación con el tamaño del grafo [2]. Una medida propuesta por Sneppen *et al.* [20, 22] mide la facilidad de búsqueda de un grafo para clasificar y ajustar la topología con el fin de optimizar la realización de búsquedas en un grafo.

Se ha llegado a mostrar que la topología de una red puede tener un impacto significativo en el tiempo de búsqueda [11]. Adamic *et al.* [1] y Kim *et al.* [15] han estudiado búsquedas en grafos con *distribución de grado* especial, comúnmente visto en redes del mundo real. Ciertos tipos de topologías (en especial redes de *pequeño mundo* (inglés: small-world networks)) minimizan el tiempo de búsqueda en unos escenarios típicos [11]. Kleinberg [16] muestra un modelo de construcción de redes de pequeño mundo que optimiza un cierto tipo de búsqueda utilizando *coordenadas* de los vértices. Búsqueda con información local en redes de pequeño mundo ha sido estudiado también por Zhu y Huang [28]. Métodos para “aumentar” grafos para que sean localmente navegables para búsquedas mejores fueron estudiado por Duchon *et al.* [12]. Un factor adicional importante es la tasa entre el costo de *seguir* una arista y el costo de *averiguar* la existencia o largo de una arista [23].

En la ausencia total de información a priori, el problema de búsqueda es equivalente al

comportamiento de un *camino aleatorio* (inglés: random walk) en el grafo. Los estudios de propiedades de caminos aleatorios en grafos de ciertas propiedades estructurales incluyen los de Annibaldi y Hopcraft [4] y Tadić [24, 25]. Propiedades de caminos aleatorios no cruzantes (inglés: self-avoiding random walk) fueron estudiados por Herrero [14] y Yang [27]. Típicamente el estudio de caminos aleatorios es fuertemente representado en el campo de física matemática.

Está establecido que un camino aleatorio con información de los vecinos *secundarios* (o sea, los vecinos de los vecinos) resulta en búsqueda ávido óptima de rutas [18]. En redes masivas del mundo real, sin embargo, el número de vecinos secundarios puede ser muy grande, especialmente cuando la topología es *libre de escala* (inglés: scale-free) — y casi siempre lo es en las redes del mundo real [7].

Lo que se propone es una continuación de algunas ideas presentadas en trabajo anterior [21] para estudiar *qué* información deberían guardar los nodos de una red localmente para que sea óptimo el comportamiento de una búsqueda en una red de tamaño masivo. Para evitar tráfico de control, queremos incluir información de ruteo adicional es cada paquete de datos que recorre en la red, llenando la capacidad del paquete según el estado actual de la “tabla local” de los nodos que procesan el paquete. Nuestro interés es en capacitar la red para cambios continuos de topología por llegadas y salidas de los nodos participantes y cambios en su contenido. También la generación de tráfico es dinámica y requiere reacciones proactivas del sistema.

Referencias

- [1] L.A. Adamic, R.M. Lukose, A.R. Puniyani y B.A. Huberman. Search in power-law networks. *Physical Review E*, 64(4):046135, 2001.
- [2] R. Albert, H. Jeong y A.-L. Barabási. Diameter of the World Wide Web. *Nature*, 401:130–131, 1999.
- [3] S. Androutsellis-Theotokis and D. Spinellis. A survey of peer-to-peer content distribution technologies. *ACM Computing Surveys*, 36(4):335–371, 2004.
- [4] S.V. Annibaldi and K.I. Hopcraft. Random walks with power-law fluctuations in the number of steps. *Journal of Physics A*, 35(41):8635–8645, 2002.
- [5] A. Arenas, A. Cabrales, A. Díaz-Guilera, R. Guimerà, and F. Vega-Redondo. Search and congestion in complex networks. En R. Pastor-Satorras, M. Rubi y A. Díaz-Guilera, editores, *Statistical Mechanics of Complex Networks*, volumen 625 de *Lecture Notes in Physics*, páginas 175–194, Berlín, Alemania, 2003. Springer, Berlín, Alemania.
- [6] F. Banaei-Kashani and C. Shahabi. Criticality-based analysis and design of unstructured peer-to-peer networks as “complex systems”. En *Third International Workshop on Global and Peer-to-Peer Computing*, 2003.
- [7] A.-L. Barabási and R. Albert. Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286:509–512, 1999.
- [8] B.F. Cooper. Quickly routing searches without having to move content. En *Proceedings of the Fourth International Workshop on Peer-to-Peer Systems*, 2005.
- [9] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest y C. Stein. *Introduction to Algorithms*. McGraw-Hill Book Co., Boston, MA, EUA, edición segunda, 2001.
- [10] M.S. Corson and A. Ephremides. A distributed routing algorithm for mobile wireless networks. *Wireless Networks*, 1(1):61–81, 1995.
- [11] A.P.S. de Moura, A.E. Motter y C. Grebogi. Searching in small-world networks. *Physical Review E*, 68(3):036106, 2003.
- [12] P. Duchon, N. Hanusse, E. Lebhar y N. Schabanel. Could any graph be turned into a small-world? *Theoretical Computer Science*, 355(1):96–103, 2006.
- [13] C. Gkantsidis, M. Mihail y A. Saberi. Hybrid search schemes for unstructured peer-to-peer networks. En *Proceedings of the Twenty-fourth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, volumen 3, páginas 1526–1537, Los Alamitos, CA, EUA, 2005. IEEE Computer Society Press.
- [14] C.P. Herrero. Self-avoiding walks on scale-free networks. *Physical Review E*, 71(1):016103, 2005.
- [15] B.J. Kim, C.N. Yoon, S.K. Han y H. Jeong. Path finding strategies in scale-free networks. *Physical Review E*, 65(2):027103, 2002.
- [16] J.M. Kleinberg. The small-world phenomenon: an algorithmic perspective. En *Proceedings of the Thirty-second Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, páginas 163–170, New York, NY, EUA, 2000. ACM Press.
- [17] G. Lv, P. Cao, E. Cohan, K. Li y S. Shenker. Search and replication in unstructured peer-to-peer networks. En *Proceedings of the Sixteenth Annual ACM International Conference on Supercomputing*, páginas 84–95, New York, NY, EUA, 2002. ACM Press.
- [18] G.S. Manku, M. Naor y U. Wieder. Know thy neighbor’s neighbor: The power of lookahead in randomized P2P networks. En *Proceedings of the Thirty-Sixth Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, páginas 54–63, New York, NY, EUA, 2004. ACM Press.
- [19] J. Risson and T. Moors. Survey of research towards robust peer-to-peer networks: search methods. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 50(17):3485–3521, 2006.
- [20] M. Rosvall, A. Trusina, P. Minnhagen y K. Sneppen. Networks and cities: An information perspective. *Physical Review Letters*, 94(2):028701, 2005.
- [21] S.E. Schaeffer. Algorithms for nonuniform networks. Informe de Investigación A102, Helsinki University of Technology, Laboratory for Theoretical Computer Science, Espoo, Finlandia, 2006.
- [22] K. Sneppen, A. Trusina y M. Rosvall. Hide-and-seek on complex networks. *Europhysics Letters*, 69(5):853–859, 2005.
- [23] C. Szepesvári. Shortest path discovery problems: A framework, algorithms and experimental results. En D.L. McGuinness and G. Ferguson, editores, *Proceedings of the Nineteenth National Conference on Artificial Intelligence and Sixteenth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence*, páginas 550–555, Menlo Park, CA, EUA, 2004. AAAI Press/The MIT Press.
- [24] B. Tadić. Adaptive random walks on the class of Web graphs. *European Physical Journal B*, 23(2):221–228, 2001.
- [25] B. Tadić. Growth and structure of the World-Wide Web: Towards realistic modeling. *Computer Physics Communications*, 147(1–2):586–589, 2002.
- [26] H. Wang, T. Lin, C.H. Chen y Y. Shen. Dynamic search in peer-to-peer networks. En *Proceedings of the Thirteenth International World-Wide Web Conference*, New York, NY, EUA, 2004. ACM Press.

[27] S.-J. Yang. Exploring complex networks by walking on them. *Physical Review E*, 71(1):016107, 2005.

[28] H. Zhu and Z.-X. Huang. Navigation in a small world with local information. *Physical Review E*, 70(3):036117, 2004.

2. Objetivos y Metas

Este proyecto tiene objetivos generales y metas específicas tal en la área de desarrollo científico como en la área de formación de recursos humanos a través de dirección de estudiantes y de colaboración entre los científicos que toman parte en el proyecto, aprendiendo uno del otro sobre sus campos de especialidad y juntando los conocimientos diversos en crear algo de mayor aplicabilidad. Es muy importante para el grupo de trabajo además de producir resultados de alta calidad, divulgar los resultados obtenidos en foros nacionales e internacionales. Queremos enseñar a nuestros alumnos desde el comienzo a publicar en castellano y en inglés su trabajo, porque las publicaciones nos permiten encontrar aplicaciones nuevas a través de contactos nuevos y recibir retroalimentación de la comunidad científica que nos permite mejorar en el futuro.

2.1. Objetivos Generales

- **Investigación:** Efectuar investigación básica de problemas de búsqueda en grafos masivos a fin de lograr un mayor entendimiento y técnicas de solución más eficientes y matemáticamente justificadas. Avanzar significativamente el estado del arte en la área de búsqueda de recursos para resolver en paralelo o con aproximaciones los problemas de optimización combinatoria relacionados, permaneciendo a la vanguardia en dichas líneas de investigación.
- **Colaboración conjunta:** Realizar trabajo conjunto con investigadores en nivel nacional e internacional en áreas afines con la finalidad de fomentar los lazos de colaboración de nuestro programa con otros programas de reconocido nivel. Fortalecer las conexiones entre los participantes y crear conexiones directas entre sus contactos.
- **Formación de recursos humanos de alto nivel:** Involucrar a estudiantes, cuyos trabajos de tesis se enfocarán a tratar tareas específicas del proyecto y que serán dirigidos por Dra. Schaeffer y co-dirigidos por otros investigadores que participan en el proyecto.
- **Difusión:** Publicar y disseminar resultados de la investigación realizada en revistas y congresos de prestigio internacional y nacional. Apoyar a la infraestructura del programa.

2.2. Metas Específicas

- **Investigación:** Lograr un entendimiento profundo de la estructura matemática del problema planteado, con la finalidad de poder desarrollar técnicas de solución que exploten a ésta favorablemente y que permitan estudiar otras variaciones aún más complejas con movilidad de nodos. Desarrollar algoritmos de búsqueda para grafos masivos y dinámicos. Desarrollar e implementar computacionalmente métodos de búsqueda en redes de tamaño masivo con propiedades estructurales de redes del mundo real.

- **Formación de recursos humanos:** Dirigir y formar al menos dos estudiantes de posgrado y comenzar la formación de por lo menos un estudiante de doctorado.
- **Publicación y diseminación de resultados:** Se espera exponer resultados parciales y finales en al menos un foro internacional y un nacional y publicar varios artículos en memorias de congresos. También se espera publicar anualmente artículos en revistas arbitradas e indexadas. Los trabajos de los estudiantes también serán desarrollados por lo menos a informes técnicos si no publicaciones formales. Durante el proyecto, se preparará material didáctico sobre el tema.

3. Metodología Propuesta

Para lograr a cabo investigación exitosa de búsqueda en redes masivas, pasamos por seis pasos básicos:

1. **un entendimiento matemático** de la estructura de las redes naturales masivas en las cuales se realiza búsquedas por experimentación y análisis,
2. **las definiciones** de medidas de utilidad de la información estructural local para poder determinar qué información preferir al momento de poder añadir información a un paquete de comunicación y para poder determinar qué información de un paquete recibido debería ser guardado en la memoria del vértice que lo procesa;
3. **el diseño de algoritmos** de ruteo dinámico para redes masivas;
4. **el desarrollo de protocolos** de comunicación realísticos para poder aplicar los algoritmos desarrollados en redes de comunicación alámbricas e inalámbricas;
5. **el análisis teórica** de las propiedades de los algoritmos y protocolos desarrollados;
6. **la amplia experimentación aplicada** del comportamiento práctico de los algoritmos y protocolos desarrollados en sistema multiprocesador con computación paralela.

En cada uno de estos pasos, hay que cuidar especialmente la escalabilidad de los métodos y medidas para grafos de tamaño prácticamente infinito. También hay que cuidar que explotamos en plena potencia la estructura no uniforme de las instancias típicas, en vez de desarrollar métodos para “casos promedios aleatorios”. Así podemos garantizar resultados nuevos y métodos útiles en uso práctico para los varios campos de aplicación.

El comienzo el trabajo estará enfocada al *estudio matemático* del problema para poder establecer propiedades y caracterizaciones nuevas y extensiones del trabajo existente. Después nos enfocaremos a experimentar con las medidas y definiciones formuladas en la primera etapa y para diseñar conceptualmente los algoritmos de búsqueda en redes dinámicas. La tercera etapa consistirá en desarrollar e implementar computacionalmente los algoritmos diseñados. Después evaluaremos a través de experimentación intensa y computacionalmente demandante los métodos desarrollados, realizando una serie de comparaciones sistemáticas con algoritmos de presentados en la literatura con anterioridad. Los experimentos se realizará utilizando tanto instancias de datos reales como datos artificiales. Al final del proyecto elaboremos a su forma final los correspondientes artículos científicos.

3.1. Calendario de Actividades

- **Fines del año 2007:** Obtención de la literatura necesaria para la realización del proyecto. Obtención de equipo de cómputo, instalación del software necesario. Incorporación mayor de

los estudiantes en el proyecto por la definición de sus temas de tesis. Preparación y estudio de simulaciones iniciales, revisión de literatura.

- **Primavera de 2008:** Estudio de la estructura matemática de grafos masivos en los cuales se realiza búsquedas para definir medidas de prioridad e importancia de información de ruteo. Implementación de los primeros algoritmos originales del proyecto. Pruebas computacionales iniciales con instancias de tamaño masivo para estudiar la escalabilidad de los algoritmos. Preparación de publicaciones de memorias de congreso sobre las medidas definidas y los experimentos iniciales.
- **Verano de 2008:** Preparación de un artículo para una revista arbitrada. Estancia de investigación en el extranjero. Taller de verano sobre simulación de redes para estudiantes de licenciatura y maestría.
- **Otoño de 2008:** Adaptación de los métodos de búsqueda para grafos dinámicos. Evaluación computacional inicial de la eficiencia de los métodos. Presentación del trabajo de los dos primeros trimestres en congresos con memorias. Preparación inicial de una publicación en una revista indexada de prestigio.
- **Primavera de 2009:** Evaluación teórica de los métodos desarrollados complementado con experimentación extensiva computacional con instancias de tamaño masivo. Finalización y presentación de los resultados de los tesis de los estudiantes involucrados.
- **Verano de 2009:** Segunda estancia de investigación en el extranjero. Preparación de publicaciones que incorporan los resultados teóricos en los resultados prácticos ya obtenidos.
- **Otoño de 2009:** Preparación de los informes, reportes y las últimas publicaciones del proyecto. Solicitación de fondos de proyectos de continuación de CONACyT y establecimiento de convenios de colaboración con empresas.

4. Infraestructura Disponible

El Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas es de reciente creación, motivo por el cual se encuentra en una etapa de desarrollo en materia de adquisición y reforzamiento de infraestructura. En esta sección se detalla la infraestructura actualmente disponible en el Programa Doctoral de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica para la realización del proyecto.

4.1. Equipo de Cómputo

Las computadoras del laboratorio de estudiantes consiste de computadoras equipadas cada una con un procesador Pentium 2,66 GHz, 512 KB de memoria y un disco duro de 40 GB. Una de estas computadoras está ahora en el uso de la Dra. Schaeffer mientras no cuente con fondos de investigación para comprar otra.

El laboratorio de alto desempeño de PISIS cuenta con un servidor Sun Fire V440, y unos veinte terminales gráficas que todos comparten los recursos del servidor. Todo el equipo de cómputo se encuentra conectado a la red de la UANL.

El servidor sirve para por parte para los experimentos de los estudiantes, pero como está compartido por todo el programa, no es posible reservar su capacidad completa por mucho tiempo. Además la capacidad de los cuatro procesadores del servidor Sun apenas

basta para uso normal en el horario pico del laboratorio. En el servidor están actualmente instalados

- compiladores de varios lenguajes de programación, como C, C++ y Java,
- un sistema de librerías para resolver problemas de optimización (CPLEX),
- programas de modelación algebraica de problemas de optimización (AMPL y GAMS) y
- un programa de modelación matemática (MATLAB).

4.2. Material bibliográfico

La biblioteca del Programa Doctoral cuenta con número limitado de textos y de publicaciones periódicas debido a la reciente creación del programa. Entre los requerimientos financieros del proyecto se contempla la adquisición de textos en las áreas de optimización combinatoria, teoría de grafos y minería de datos. Publicaciones periódicas recientes: para el proyecto, las más relevantes son INFORMS Journal on Computing, Journal of Combinatorial Optimization, Journal of Heuristics, Mathematical Programming and SIAM Review.

5. Incidencia del Proyecto en el PIFI

El Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI) apoya al cuerpo académico del Programa de Posgrado de Ingeniería en Sistemas (PISIS). Por el recién ingreso de la Dra. Schaeffer a la UANL, todavía no está oficialmente miembro del cuerpo académico, pero ya colabora con la LGAC de *Modelaje, análisis y solución de sistemas determinísticos* y con el proyecto propuesto va a poder contribuir en mayor cantidad también a la otra línea de investigación del cuerpo académico sobre *sistemas estocásticos*.

5.1. Formación de Recursos Humanos: Estudiantes

Se busca involucrar un **estudiantes de licenciatura** en el proyecto como becarios para desarrollar su tesis de licenciatura y para motivarles que continúen sus estudios en un programa de posgrado. Este meta coincide con el programa de honores que se implementa en PISIS en el nivel de la FIME para incluir estudiantes sobresalientes de licenciatura en la investigación. Unos **estudiantes de maestría** serán involucrados a través de proyectos de verano y los trabajos de tesis de maestría; actualmente ya trabaja en el tema un estudiante. La asignación de tesistas a los profesores se prepara en agosto de 2007 y es muy probable que asignarán dos o tres alumnos a Dra. Schaeffer, uno o dos de ellos trabajando en este proyecto. Por lo menos un *estudiante de doctorado* comenzará su trabajo en el primer semestre de 2008; otro candidato está todavía terminando su tesis de maestría. Actualmente está preparándose para los exámenes de admisión de la convocatoria siguiente del programa doctoral.

Actualmente se cuenta con tres alumnos que han mostrado su interés a trabajar en el proyecto. *Gabriela Chamorro Sotelo* es una estudiante de **licenciatura** del octavo semestre de la carrera IAS en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL. Se solicita la beca de un año para su participación en el proyecto con la finalidad de contribuir en la revisión de literatura y el desarrollo y realización de los experimentos y escribir una tesis de licenciatura sobre el tema. *Ing. David Juvenio Ríos Soria* tiene su título anterior en Electrónica y Comunicaciones y está actualmente estudiando el programa de **maestría** en

Ingeniería de Sistemas. *M.C. Dante Arias Torres* es el director de la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Él solicitará admisión al programa de doctorado en la convocatoria del otoño de 2007 para elaborar su tesis de **doctorado** en PISIS bajo la supervisión del Dra. Schaeffer; sus últimas cinco publicaciones son

- D. Arias Torres. **The Design and Evaluation of a Pen-Based Computer Interface for Novice Older Users**, en *Proceedings of the Seventh Mexican International Conference on Computer Science*, pp. 142-150, 2006.
- D. Arias Torres. **Evaluating a pen-based computer interface for novice older users**. En *Proceedings of the Eighth International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 249-250. ACM, 2006.
- J.A. García Macías y D. Arias Torres. **Service Discovery in Mobile Ad-Hoc Networks: Better at the Network Layer?**. En *Proceedings of the IEEE International Workshop on Wireless and Sensor Networks*, pp. 452-457, 2005.
- D. Arias Torres y J.A. García Macías. **Performance Analysis of Two Approaches to Service Discovery in Mobile Ad-Hoc Networks**. En *Proceedings of the Fifth IEEE International Symposium and School on Advance Distributed Systems*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3563, pp. 368-376. Springer, Berlín, Alemania, 2005.
- D. Arias Torres y J.A. García Macías. **Service Discovery in Mobile Ad-Hoc Networks by Extending the AODV protocol**, en *Proceedings of the Second Mobile Computing Workshop*, 2004.

5.2. Vinculación y Colaboración

5.2.1. Participantes en la UANL

Una meta importante del PIFI del Programa Posgrado en Ingeniería de Sistemas (PISIS) es aumentar el liderazgo académico del grupo, por lo cual sería importante que la Dra. Satu Elisa Schaeffer tenga la posibilidad de coordinar su propio proyecto de investigación en la UANL para poder después tomar con mejor experiencia responsabilidad de coordinar proyectos del cuerpo académico y de CONACyT. Con el crecimiento de PISIS ya se podría añadir una LGAC nueva en el cuerpo académico con enfoque en la optimización de sistemas dinámicas de gran escala. El proyecto propuesto serviría como el primer paso de la formación de un subgrupo nuevo de investigación. Dra. Schaeffer tiene su doctorado en Teoría de Computación y sus últimas cinco publicaciones son

- S.E. Schaeffer. *Graph clustering*. Computer Science Review (1):1, pp. 1-38, Elsevier. Aceptada para publicación en 2007.
- A. Schumacher, H. Haanpää, S.E. Schaeffer y P. Orponen. **Load Balancing by Distributed Optimisation in Ad Hoc Networks**. En J. Cao et al. (editores), *Proceedings of the Second International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Networks*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4325, pp. 874-885. Springer, Berlín, Alemania, 2006.
- S.E. Schaeffer, S. Marioni, M. Särelä y P. Nikander. **Dynamic Local Clustering for Hierarchical Ad Hoc Networks**. En *Proceedings of the Third Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, Vol. 2, pp. 67-672. IEEE Communications Society, Reston, VA, EUA, 2006.
- J. Šima y S.E. Schaeffer. **On the NP-Completeness of Some Graph Cluster Measures**. En J. Wiederman et al. (editores), *Proceedings of the Thirty-second International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3831, pp. 350-357. Springer, Berlín, Alemania, 2006.
- S.E. Schaeffer. **Stochastic Local Clustering of Massive Graphs**. En T.B. Ho et al. (editores), *Proceedings of the Ninth Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 3518, pp. 354-360. Springer, Berlín, Alemania, 2005.

Del cuerpo académico de PISIS participa en el proyecto el *Dr. José Arturo Berrones Santos*. Su conocimiento de caminos aleatorios será muy importante para el proyecto y será miembro de todos los comités de tesis del proyecto en PISIS. Tiene su doctorado en Física y sus últimas cinco publicaciones son

- A. Berrones, **Generating Random Deviates Consistent with the Long Term Behavior of Stochastic Search Processes in Global Optimization**. En *Proceedings of IWANN 2007*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4507, pp. 1-7. Springer, Berlín, Alemania 2007.
- A. Berrones, **Filtering by Sparsely Connected Networks Under the Presence of Strong Additive Noise**. En *Proceedings of the Seventh Mexican International Conference on Computer Science*, pp. 19-26. IEEE 2006.
- A. Berrones, *Persistence in a simple model for Earth's atmosphere temperature fluctuations*. Fluctuation and Noise Letters, 5(3):L365-L374. 2005.
- F. Bagnoli, A. Berrones y F. Franci, *De gustibus disputandum (forecasting opinions by knowledge networks)*, Physica A 332:509-518. 2004.
- A. Berrones y H. Larralde, *Simple model of a random walk with arbitrarily long memory*, Physical Review E, 63:031109. 2001.

5.2.2. Participantes Externos a la UANL

Otra meta de importancia del PIFI es fomentar la vinculación con cuerpos académicos de otras instituciones. Dra. Schaeffer ya cuenta con buenas conexiones internacionales, y además ha iniciado colaboración sobre los temas del proyecto propuesto con un cuerpo académico nacional de otra institución en adición a colaborar fuertemente con el cuerpo académico de cuál formará parte en el futuro cercano.

Helsinki University of Technology, Espoo, Finlandia En la Universidad Politécnica de Helsinki, Finlandia, trabaja un grupo de investigadores en el Laboratorio para Teoría de Computación. El líder del grupo *Dr. Olli Pekka Orponen* era el asesor del doctorado de la Dra. Schaeffer y su colaboración continua en varios temas de teoría de grafos y sus aplicaciones. Los otros investigadores del mismo grupo con quienes se colabora principalmente son Dr. Harri Haanpää y M.C. André Schumacher. El Dr. Orponen tiene su doctorado en Teoría de Computación y sus últimas cinco publicaciones son

- S. Prasad, A. Schumacher, H. Haanpää y P. Orponen. **Balanced Multipath Source Routing**. En *Proceedings of the Twenty-first International Conference on Information Networking*, Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlín, Alemania, 2007.
- A. Schumacher, H. Haanpää, S.E. Schaeffer y P. Orponen. **Load Balancing by Distributed Optimisation in Ad Hoc Networks**. En J. Cao et al. (editores), *Proceedings of the Second International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Networks*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4325, pp. 874-885. Springer, Berlín, Alemania, 2006.
- P. Florén, P. Kaski, J. Kohonen y P. Orponen. *Exact and Approximate Balanced Data Gathering in Energy-Constrained Sensor Networks*. Theoretical Computer Science, 344(1):30-46. Noviembre 2005.
- S. Seitz, M. Alava y P. Orponen. *Focused Local Search for Random 3-Satisfiability*. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, P06006:1-27. Junio 2005.
- E. Griffiths y P. Orponen. *Optimization, Block Designs and No Free Lunch Theorems*. Information Processing Letters, 94(2):55-66. Abril 2005.

Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México Dra. Schaeffer tiene un convenio de colaboración con el cuerpo académico de *Optimización Inteligente* del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Están en proceso de nombrarla profesor visitante hasta el fin de 2008, con fines de aumentar la colaboración aún más en el futuro a través de dirección de tesis y proyectos conjuntos. El líder del cuerpo académico es la *Dra. Laura Cruz Reyes*, doctora de Ciencias de Computación. Sus últimas cinco publicaciones son

- L. Cruz Reyes, J.J. Gonzalez Barbosa, D. Romero Vargas, H.J. Fraire Huacuja, N. Rangel Valdez, J.A. Herrera Ortíz, B.A. Arranaga Cruz y J.F. Delgado Orta. **A Distributed Metaheuristic for Solving a Real-World Scheduling-Routing-Loading Problem.** En *Proceedings of the Fifth International Symposium on Parallel and Distributed Processing and Applications*, Springer, Berlin, Alemania, aceptado.
- L. Cruz Reyes, J. Perez O., R.A. Pazos, R.V. Landero N., V.M. Álvarez H. y C.G. Gómez Santillan. **Alternative strategies to explore the SNNB algorithm Performance.** En *Proceedings of the Fifth Mexican International Conference on Artificial Intelligence*, pp. 187–196. IEEE Computer Society, 2006.
- J. Pérez, R.A. Pazos, J. Frausto Solís, G. Reyes Salgado, R. Santaolaya Salgado, H.J. Fraire H. y L. Cruz Reyes. **An Approach for Solving Very Large Scale Instances of the Design Distribution Problems for distributed DataBase Systems.** En *Advanced Distributed Systems: Fifth International School and Symposium*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3563, pp. 33–42. Springer, Berlin, Alemania, 2005.
- J. Pérez, R.A. Pazos, J. Frausto Solís, G. Rodríguez, D. Romero Vargas y L. Cruz Reyes. **A Statistical Approach for Algorithm Selection.** En *Experimental and Efficient Algorithms, Third International Workshop*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3059, pp. 417–431. Springer, Berlin, Alemania, 2004.
- J. Pérez, R.A. Pazos, J. Frausto Solís, G. Rodríguez, L. Cruz Reyes y H.J. Fraire H. **Comparison and Selection of Exact and Heuristic Algorithms.** En *Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3045, pp. 415–424. Springer, Berlin, Alemania, 2004.

Universidad Diego Portales, Santiago, Chile En el año 2005 Dra. Schaeffer realizó una estancia de investigación de 10 meses en la Universidad de Chile, Santiago, colaborando con el Dr. Ricardo Baeza Yates. Durante esa estancia, estableció colaboración con el *Dr. Javier Bustos Jiménez*, actualmente profesor de la UDP. Dr. Bustos tiene su doctorado en Ciencias de Computación y sus últimas cinco publicaciones son

- J. Bustos Jiménez, C. Varas y J.M. Piquer. **Sub-contracts: Delegating Contracts for Resource Discovery.** En *Proceedings of CoreGRID Workshop on Grid Middleware, in conjunction with International Supercomputing Conference*, aceptada para publicación en 2007.
- J. Bustos Jiménez, D. Caromel, M. Leyton y J.M. Piquer. **Load Information Sharing Policies in Communication-Intensive Parallel Applications.** En *Proceedings of Advanced Distributed Systems: 6th International School and Symposium*, Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Alemania, 2006.
- J. Bustos Jiménez, D. Caromel, M. Leyton, A. Iosup y J.M. Piquer. **The Rockchair and the Grid: Balancing load across Project Grids.** En *Proceedings of CoreGRID Integration Workshop*, 2006.
- J. Bustos Jiménez, D. Caromel, M. Leyton y J.M. Piquer. **Coupling Contracts for Deployment on Alien Grids.** En *Proceedings of the International Euro-Par Workshops*, Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Alemania, 2006.
- J. Bustos Jiménez, D. Caromel y J.M. Piquer. **Toward the Infinite Network, and Beyond.** En *Proceedings of the Twelfth Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*, Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Alemania, 2006.

Dra. Schaeffer fue invitada a la UDP en abril 2007 para fortalecer la colaboración existente y para formar conexiones con los nuevos colegas del Dr. Bustos. El motivo de la visita era relacionado con la tecnología de *redes sensoras*, sobre la cual impartió seminarios la Dra. Schaeffer y cual es un campo activo de aplicación del conocimiento que se generará en el proyecto propuesto. La colaboración con los chilenos fortalece otra meta del PIFI de PISIS: incrementar la vinculación con el sector empresarial. La UDP tiene un *Nodo de Difusión Tecnológica*

através del cual colaboran con la industria realizando consultorías sobre la adaptación de nuevos avances de la ciencia en la práctica. Dra. Schaeffer está colaborando con este nodo y ha establecido contactos con empresas chilenas con interés en redes sensoras.

6. Desglose Financiero (137,067 + 34,500 M.N.)

En lo siguiente se detalla el presupuesto solicitado de apoyo por los dos años del proyecto, el primero con más detalle y el segundo estimado. En los títulos de las secciones se muestra qué monto está asignado al primer año y qué al segundo en forma sumatorio.

6.1. Adquisición de materiales y consumibles (32,239 + 16,500 M.N.)

Se utilizará por la mayor parte software libre y otras herramientas sin costo, por lo cual el presupuesto no involucra altos gastos de software. El primer año se necesita licencia del *sistema operativo* servidor (Mac OS X Server, precio 6,739 incl. IVA para uno a diez usuarios) y para el segundo año se anticipa costos de posibles herramientas adicionales de *simulación* (estimados a 1,500 pesos).

La *biblioteca* del programa de posgrado no está muy extensa todavía, y por su recién ingreso en la UANL Dra. Schaeffer tampoco cuenta con muchos libros en su oficina. Sin embargo, sería muy beneficioso para los estudiantes contar con la última información de teoría de grafos, métodos de búsqueda, búsqueda local, redes ad hoc y sensoras y sistemas entre pares. Varias *revistas* (muchas en línea) también contienen información importante, pero la UANL no tiene suscripción para muchas revistas de la área, por lo cual habrá que comprar una suscripción personal para un investigador del proyecto o comprar los artículos uno por uno. Se solicita 15,000 pesos para libros el primer año y 4,500 el segundo año. Para revistas, se estima un gasto anual de 5,000 pesos.

Los *materiales de oficina* necesarios incluyen el papel y los cartuchos de una impresora blanco-negro, en uso compartida entre el profesor y los estudiantes del proyecto; se estima un costo de 1,500 pesos anuales. También se necesitará imprimir *pósteres* para presentar en congresos u otros eventos de investigación; se estimó un costo de 2,000 pesos anuales. Para el caso probable que las tesis necesitan *impresión a color* para poder mostrar mejor los resultados de los experimentos y simulaciones, se anticipa también gastos de impresión de las tesis, además de los de *encuadernación* (2,000 pesos anuales).

6.2. Adquisición de Equipo (70,828 + 0 M.N.)

6.2.1. Equipo Mayor para Experimentación (42,364 + 0 M.N.)

Se solicita el compra de un *servidor multiprocesador* Mac Pro para poder realizar *experimentos* con computación paralela y además *compartir* los recursos del servidor entre los investigadores y los estudiantes. Las computadoras solicitadas para uso individual (en el rubro “Equipo menor o complementario”) son débiles, tipo estación de trabajo, para poder invertir más en tener un servidor apto con el cual será posible desarrollar software y experimentos en el nivel del estado del arte.

El servidor (cotización de 35,116 pesos incl. IVA adjuntado en documentos probatorios) viene sin pantalla, por lo cual se solicita una *pantalla* marca LG de 1919 pesos más IVA y un juego de *teclado y ratón* (199 pesos más IVA) para poder configurarlo en caso de fallas en la conexión al Internet. Para fallas de electricidad, se necesitará un *UPS no-break* para prevenir

pérdida de datos incontrolada. El precio de referencia de un equipo adecuado es 1,039 pesos más IVA.

6.2.2. Equipo menor o complementario (28,464 + 0 M.N.)

Se solicita dos *computadoras simples* tipo Mac Mini para el uso de los *estudiantes* del proyecto para compartir los recursos del servidor Mac Pro solicitado en sus simulaciones. Las computadoras tienen precio de 11,510 pesos (incl. IVA) por pieza, las *pantallas* necesarias, marca LG, tienen precio de 1,919 pesos más IVA por pieza, y juegos de *teclado y ratón* 199 pesos más IVA por pieza. Las dos computadoras y la computadora (igual) solicitada para Dra. Schaeffer de otro fondo de PROMEP necesitan ser protegidas de picos de voltaje (frecuentes en el edificio). Serán tres reguladores de precio 159 pesos más IVA en total.

Para trabajar eficientemente con los colaboradores, se necesita para cada computadora un *micrófono* y unos *audífonos* en diadema para utilizar el sistema Skype de *llamadas gratuitas via Internet*, preferiblemente inalámbricos para mejor movilidad en la oficina. Esto es especialmente importante porque la oficina de la Dra. Schaeffer no cuenta con línea telefónica aunque se lo ha solicitado varias veces. Las diademas con micrófono cuestan 75 pesos más IVA por pieza y se necesita tres: una por computadora (incluyendo la de Dra. Schaeffer). En total serán 27,927 pesos.

No se anticipa gastos adicionales de equipo para el segundo año.

6.3. Gastos de Publicación de Trabajos (1,000 + 1,000 M.N.)

Para anticipar los problemas frecuentes con el uso de correos, se solicita por un monto modesto para los *gastos de mensajería* relacionados a la entrega de revisiones de artículos en revistas o colecciones con arbitraje.

6.4. Asistencia a Reuniones Académicas o Estancias (33,000 + 17,000 M.N.)

En este rubro se solicita fondos para que Dra. Schaeffer pueda asistir a un *congreso nacional* (6,000 para pasaje y viáticos) el primer año y un congreso internacional (10,000 pesos para pasaje y viáticos) al finales del primer año. Además realizará anualmente una corta *estancia de investigación* nacional (2,000 pesos para el pasaje) y otra en el extranjero (15,000 pesos para el pasaje, los destinos en el extranjero siendo Chile y Finlandia) para visitar los colaboradores. Se utilizará fondos de los colaboradores para cubrir algunos gastos de las estancias; en especial se espera poder cubrir los viáticos de parte de ellos.

6.5. Beca de Estudiante de Licenciatura

Se solicita la beca para *Gabriela Chamorro Sotelo*, estudiante de licenciatura del octavo semestre de la carrera IAS en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL. Se solicita la beca de un año para su participación en el proyecto con la finalidad de contribuir en el desarrollo de los algoritmos y escribir una tesis de licenciatura sobre el tema.