

| | |
|--|--|
| Fecha de presentación del proyecto | |
| Sesión de Consejo de aprobación | |
| Clave del proyecto asignada por Consejo Divisional | |

1.1. **Título del proyecto:** Inteligencia computacional aplicada al análisis y resolución de problemas en redes

1.2. **Líneas de investigación:**

- Inteligencia computacional
- Optimización multiobjetivo
- Ciencia de redes (teoría de redes complejas)

1.3. **Responsables:**

Dr. Edwin Montes Orozco. Profesor Visitante de Tiempo Completo, Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas (DMAS). Unidad Cuajimalpa.

Dra. Karen Samara Miranda Campos. Profesor Asociado D de Tiempo Completo, Área de Sistemas de Información y Ciencias Computacionales. Departamento de Sistemas de Información y Comunicaciones (DSIC), Unidad Lerma.

Participantes:

Dr. Abel García Nájera. Profesor Titular C de Tiempo Completo, Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas (DMAS). Unidad Cuajimalpa.

Dr. Gerardo Abel Laguna Sánchez. Profesor Titular C de Tiempo Completo, Departamento de Sistemas de Información y Comunicaciones (DSIC). Unidad Lerma.

Dr. Saúl Zapotecas Martínez. Investigador A de Tiempo Completo, Departamento de Ciencias de la Computación. Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE).

1.4. **Orientación:**

- Investigación aplicada (X)
- Desarrollo o adaptación (X)
- Transferencia de tecnología ()
- Desarrollo de tecnología ()
- Otros (), especificar: _____

1.5. **Fecha de inicio y duración:** Agosto de 2023 (3 años).

2. Propuesta

En la presente sección, se describen las principales características del proyecto de investigación, así como las bases del mismo.

2.1. Resumen

La presente propuesta de investigación consiste en utilizar la ciencia de redes y la inteligencia computacional, específicamente algoritmos bioinspirados, para abordar problemas complejos en redes sociales, de telecomunicaciones, monitoreo y académicas. Se busca aplicar técnicas de optimización multiobjetivo en redes complejas temporales para resolver estos problemas. El objetivo es desarrollar nuevas técnicas, algoritmos y protocolos que mejoren el desempeño de estas redes y proporcionen soluciones óptimas en contextos cambiantes. Además, se propone estudiar casos del mundo real, caracterizar las propiedades de las redes, analizar los problemas mediante técnicas de optimización y proponer técnicas para diferenciación de fuentes de información y cuantificación de robustez en redes complejas temporales.

2.2. Antecedentes

El Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos define la ciencia de redes como “el estudio de las representaciones como red de fenómenos físicos, biológicos y sociales que conducen a modelos predictivos de estos fenómenos”. La ciencia de redes permite estudiar diversas problemáticas desde el punto de vista de redes conformadas por vértices y aristas, donde cada vértice o nodo representa un elemento y las aristas representan las conexiones existentes entre estos elementos, por ejemplo, redes de telecomunicaciones, redes de sensores, redes sociales, redes celulares, redes neuronales, redes epidemiológicas, redes semánticas, redes cognitivas, redes de distribución de agua, redes de eléctricas o redes de transporte. Para ello, se basa en métodos como teoría de gráficas, minería de datos, análisis de datos, visualización de información, optimización, sociología e incluso inteligencia artificial y aprendizaje automático.

En general, una red se puede modelar como una gráfica G , donde un conjunto de nodos o vértices V se localiza en una posición dentro del espacio euclidiano bidimensional. Se usa el término nodo como nombre genérico para cualquier elemento que forme parte del vecindario que conforma una red. Se asume que para formar una red los nodos deben conectarse entre sí, formando aristas entre ellos E . Así, una red $G(V, E)$ es el conjunto de nodos interconectados a través de un enlace. Estas aristas a su vez determinan el tipo de conexión que existe entre los nodos, la cual puede ser unidireccional o bidireccional y puede tener un peso basado en el costo, la distancia o una probabilidad.

Algunos ejemplos de aplicación de la ciencia de redes, y en particular de la inteligencia computacional, son:

- Detección de comunidades
- Robustez y vulnerabilidad
- Difusión de información

- Agrupamiento (*clustering*)
- Maximización de influencia
- Diseño de despligue de nodos
- Diseño de rutas de vehículos
- Redes de telecomunicaciones

Además, mediante el análisis estructural de las redes de forma *temporal*, se pueden estudiar las propiedades de diferentes sistemas modelados como una gráfica en constante evolución en el tiempo. Esto permite evaluar, determinar e incluso predecir el comportamiento y las interacciones entre los nodos que conforman la red a lo largo de distintos momentos temporales.

El estudio de las redes temporales ofrece una perspectiva más completa y dinámica, ya que considera la influencia del tiempo en las conexiones y en los patrones emergentes de la red. Esto resulta especialmente útil en áreas como las redes sociales y la dinámica de sistemas de telecomunicaciones, donde comprender cómo evolucionan y se propagan los eventos a lo largo del tiempo es fundamental para tomar decisiones informadas.

Particularmente, en este proyecto nos interesa investigar sobre el uso de la teoría, métodos y métricas de la ciencia de redes y de la inteligencia computacional (algoritmos bioinspirados) en algunas problemáticas relacionadas a redes sociales, de telecomunicaciones, monitoreo y académicas basados en casos del mundo real mediante el enfoque de la optimización multiobjetivo (MOP, del inglés Multiobjective Problem) y las redes temporales.

En la práctica y en las aplicaciones reales existen problemas para los cuales se requiere la optimización simultánea de un conjunto de funciones. Este tipo de problemas combinatorios son conocidos como problemas de optimización multiobjetivo.

Los algoritmos bioinspirados han llegado a ser una herramienta práctica y flexible para la resolución de problemas multiobjetivo haciendo atractivo su estudio y evaluación de su desempeño. Por esta razón, se han propuesto y utilizado gran variedad de algoritmos basados en la naturaleza, tales como los algoritmos evolutivos, basados en inteligencia de enjambre o basados en comportamiento social.

Algunos algoritmos de interés que se pueden aplicar a problemas que encontramos en redes son:

- Algoritmos evolutivos
- Algoritmos basados en inteligencia de enjambre
- Algoritmos de sistema de hormigas
- Aprendizaje automático

2.3. Objetivo general

Estudiar, aplicar y desarrollar nuevas técnicas, metodologías, algoritmos y protocolos para la resolución de problemas complejos de optimización en redes.

Objetivos particulares

- Estudiar casos del mundo real donde las redes juegan un papel preponderante, e.g., redes de sensores, redes de coautorías, redes de distribución, redes de violencia, redes de difusión, redes ad hoc o redes de colaboración.
- Caracterizar las propiedades de redes aplicando técnicas de Ciencia de Redes e inteligencia computacional.
- Analizar mediante técnicas de optimización, las problemáticas de las redes en cada caso de estudio.
- Proponer al menos una técnica para la diferenciación de fuentes de información en redes eléctricas inteligentes.
- Proponer al menos una técnica para cuantificación de robustez en redes complejas temporales.
- Evaluar las técnicas propuestas por medio de herramientas computacionales.

2.4. Descripción

En la actualidad, las redes desempeñan un papel influyente en nuestra vida diaria. Por ello, estudiar formas de mejorar el rendimiento de las redes ad hoc resulta crucial debido a su amplia variedad de aplicaciones, como sistemas de monitoreo para prevenir desastres, establecimiento de redes para restaurar comunicaciones en emergencias y redes de monitoreo basadas en sensores. Este proyecto se centra en tres tipos de redes relevantes para problemas del mundo real: redes de (tele)comunicaciones, redes de distribución y redes sociales.

El objetivo principal de este proyecto es utilizar algoritmos y herramientas basadas en inteligencia computacional, incluyendo redes temporales, para resolver problemas de optimización y búsqueda que se consideran difíciles en el contexto de las redes. Estos problemas abarcan tanto la optimización mono/multiobjetivo como aquellos que se presentan en espacios restringidos, continuos y discretos.

La incorporación de redes temporales en este enfoque permitirá modelar y analizar de manera más precisa la evolución temporal de las redes, capturando la dinámica de las interacciones entre los nodos y mejorando así la capacidad de encontrar soluciones óptimas en contextos complejos y cambiantes.

Dado el carácter de estos problemas, las aplicaciones se centran en entornos con muchas variables (conocidos en inglés como large scale optimization) y muchos objetivos (conocidos en inglés como many-objective). Además, se investigarán las propiedades de estas redes utilizando la teoría de la ciencia de redes para determinar su relevancia y desempeño.

Por ejemplo, se presentan las siguientes metodologías de inteligencia computacional cuya efectividad en el análisis de redes ha sido probada [1, 2, 3, 4]:

- **Centralidad:** Estima la relevancia de un nodo dentro de la red.

- **Cómputo de trayectorias:** Calcula las trayectorias que conectan a los nodos y permite explorar la red para identificar relaciones entre nodos distantes.
- **Detección de comunidades:** Identifica grupos de nodos con características comunes.
- **Similitud:** Identifica la similitud entre nodos basándose en los vecinos que tienen en común. Predicción de enlaces: Predice la aparición de nuevos enlaces.
- **Robustez:** Cuantifica la resistencia de una red ante la eliminación de ciertos nodos.
- **Influencia e importancia:** Clasifica y cuantifica la influencia e importancia de cada nodo en la red con el objetivo de verificar su eficiencia.

Además, los algoritmos evolutivos y bioinspirados se han utilizado exitosamente en la selección de líderes de clúster en las redes de sensores inalámbricos [5, 6]. Por lo tanto, en este proyecto se buscará resolver problemas reales, también conocidos como problemas del mundo real.

Hipótesis

La incorporación de algoritmos y herramientas basados en inteligencia computacional y redes temporales en problemas de optimización, permitirá mejorar significativamente el análisis, al capturar de manera precisa la evolución temporal de las interacciones entre nodos.

Metodología propuesta

Los problemas relacionados con los tipos de redes a tratar en este proyecto, en general, se pueden considerar como problemas genéricos de optimización multiobjetivo para asignación de recursos con entradas, salidas requeridas, objetivos y restricciones [7]. Así, se pueden ver reflejados objetivos específicos como maximizar el tiempo de vida de la red, minimizar las rutas, maximizar la cobertura, minimizar el costo, cuantificar la robustez, minimizar el consumo de energía o maximizar la utilización del espectro, entre otros.

Para llevar a cabo una investigación exitosa en la propuesta de nuevos mecanismos para la optimización en redes sociales, de telecomunicaciones y del tipo ad hoc utilizando temporalidad, se propone ejecutar los siguientes pasos básicos:

1. **Estudio y análisis de la literatura** sobre el uso de técnicas de inteligencia computacional para optimización multiobjetivo en problemas de redes temporales hasta ahora propuestos para compilar y comprender los nichos de oportunidad.
2. **Definición de los parámetros y escenarios de evaluación** para asegurar una comparación equitativa tanto de las técnicas descritas en la literatura en cada uno de los escenarios de problemas de redes en el mundo real.
3. **Elección de las herramientas de evaluación**, las cuales deben permitir emular o simular el comportamiento de una red temporal en los escenarios definidos en el punto anterior.
4. **Análisis de redes**, basados en inteligencia computacional y ciencia de redes y en el análisis realizado en el primer punto.
5. **Desarrollo y propuesta de nuevos mecanismos**, basados en inteligencia computacional y ciencia de redes y en el análisis realizado en el primer punto.

6. **Evaluación del desempeño de los mecanismos propuestos** comparándolos con la literatura para medir el desempeño de los mismos en una primera instancia a través de simuladores.
7. **Análisis y evaluación de los resultados obtenidos** enfocados en la efectividad en términos de optimización multiobjetivo en los diferentes problemas redes temporales.
8. **Presentación de los resultados** en foros especializados con arbitraje estricto.

En cada uno de los pasos de este proceso, se deben respetar las dos restricciones primordiales de los elementos que conforman las redes. Por ejemplo, en el caso de las redes de telecomunicaciones, se debe tener en cuenta la limitada capacidad de procesamiento y de energía de los dispositivos móviles utilizados por los usuarios. Esto implica desarrollar algoritmos y mecanismos eficientes que minimicen el consumo de recursos, optimizando así el rendimiento de la red sin sobrecargar los dispositivos.

El comienzo de este trabajo se enfocará en el estudio de los mecanismos existentes para establecer las propiedades y la caracterización de los problemas, distinguiendo la pertinencia de la propuesta de nuevos algoritmos o la extensión de algunos existentes. Una vez establecidos los parámetros de desempeño, se procederá a experimentar con los mecanismos descritos en la literatura, principalmente por medio de simulaciones, para diseñar conceptualmente los algoritmos que permitan la optimización de los diferentes objetivos.

La siguiente etapa consistirá en desarrollar e implementar computacionalmente los algoritmos y metodologías diseñados. A continuación, se evaluarán los mecanismos propuestos mediante simulaciones y se hará una comparación sistemática con los algoritmos y metodologías presentados en la literatura. De ser posible y dependiendo de los espacios asignados para la investigación, se evaluarán los algoritmos en un medio real utilizando el banco de pruebas compuesto de dispositivos reales (para las redes de telecomunicaciones y ad hoc). Finalmente, los resultados obtenidos se someterán a una evaluación por pares en forma de artículos científicos.

2.5. Formación de recursos humanos

La presente propuesta de investigación brinda una oportunidad única para la formación de recursos humanos. Los alumnos o alumnas participantes, tanto de proyectos terminales, tesis o servicio social, tendrán la posibilidad de involucrarse activamente en la investigación, adquiriendo habilidades técnicas y metodológicas, así como desarrollando su capacidad de análisis y resolución de problemas del mundo real. Por lo tanto, a través de su participación en el proyecto, se espera contar con:

- Al menos cuatro alumnos o alumnas para la realización de proyecto terminal.
- Al menos dos alumnos o alumnas para la realización de servicio social.
- Incorporación de al menos un alumno o alumna de maestría.

2.6. Productos esperados (por año)

A continuación, se muestran las principales metas (productos esperados) por cada año de la realización del proyecto.

Metas para el 1er. año

- Propuestas de proyecto sometidas a Comecyt o a alguna convocatoria institucional, para contar con recursos adicionales para el segundo año del proyecto.
- Informe con los principales métodos de optimización multiobjetivo bioinspirados para el análisis de diversas problemáticas en redes temporales.
- Reclutamiento de al menos un alumno o alumna para realizar su proyecto de integración o terminal asociado al proyecto.

Metas para el 2do. año

- Divulgación de los resultados del proyecto en Seminario, congreso o coloquio de Investigación.
- Envío de un artículo de revista indexada para su evaluación.
- Reclutamiento de al menos dos alumnos o alumnas para realizar su proyecto de integración o terminal asociado al proyecto.

Metas para el 3er. año

- Divulgación de los resultados del proyecto en seminario de investigación.
- Envío de un artículo de revista indexada para su evaluación.
- Reclutamiento de al menos un alumno o alumna para realizar su tesis de maestría asociada al proyecto.

2.7. Impacto esperado del proyecto (problemática nacional abordada)

La presente propuesta de investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, así como con las políticas operativas de investigación. La investigación se propone abordar una problemática relevante en los campos de las redes sociales, telecomunicaciones y redes ad hoc, con un enfoque particular en las redes de distribución.

En correspondencia con el Plan Nacional de Desarrollo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la ONU, esta investigación busca contribuir a la consecución de diversos ODS:

- **Contribución al desarrollo sostenible (ODS 9):** Mediante la búsqueda de soluciones en los campos de redes sociales, telecomunicaciones y distribución, esta investigación aspira a promover la innovación, la infraestructura sostenible y el acceso a tecnologías de información y comunicación. Al hacerlo, se busca contribuir a la mejora de la eficiencia, la inclusión digital y el bienestar general en el uso de tecnologías.
- **Impacto social (Varios ODS):** La investigación tiene el propósito de abordar problemáticas nacionales y metropolitanas, como redes de distribución y redes sociales. Estas acciones están directamente relacionadas con varios ODS, como el ODS 1 (fin de la pobreza), ODS 2 (hambre cero), ODS 3 (salud y bienestar), ODS 4 (educación de calidad), ODS 5 (igualdad de género) y otros. Al tratar estas problemáticas, se busca impactar positivamente en la sociedad, mejorando la calidad de vida y promoviendo la equidad.

- **Relevancia académica y científica (ODS 4 y 9):** Al basarse en fuentes académicas confiables y utilizar metodologías científicas, esta investigación contribuirá a la generación de conocimiento y a la creación de avances en los campos de redes complejas sociales y de telecomunicaciones. Estos avances no solo pueden enriquecer la teoría, sino también dar lugar a aplicaciones tecnológicas concretas que beneficien tanto al ámbito académico como a la sociedad en general.

2.8. Recursos necesarios para el desarrollo del proyecto

- **Financiamiento e infraestructura física y humana actual en el proyecto:**

Actualmente, se cuenta con la bibliografía básica correspondiente a los temas de redes sociales, redes de telecomunicaciones y redes ad hoc. Asimismo, se tiene acceso a las bases de datos y buscadores como ACM, IEEE, PubliMed, y Scopus para la investigación bibliográfica de este proyecto, además de acceso remoto a los recursos electrónicos de la UAM. Todos los profesores participantes contamos con computadoras personales con acceso a Internet.

- **Presupuesto calendarizado:**

La calendarización del presupuesto se llevará a cabo en etapas clave del proyecto de investigación. Se asignarán recursos para actividades como la realización de experimentos y pruebas (equipo de cómputo). Además, se establecerán plazos para cada etapa y se asignarán los recursos financieros de manera adecuada para asegurar el desarrollo y ejecución exitosa del proyecto, así como para la presentación de resultados en artículos de revistas indexadas o congresos de arbitraje estricto.

- **Fuentes de financiamiento externas:**

Por otro lado, se buscará financiar el proyecto de investigación a través de fondos provenientes de UAM o Conacyt en alguna de sus diversas convocatorias como Ciencia Básica o acuerdos del rector. Igualmente, se cuenta con financiamiento interno de la UAM Lerma a través del presupuesto del Departamento de Sistemas de Comunicaciones.

3. Calendario de actividades

En la presente sección, se muestra el calendario de actividades, basado en el cumplimiento de los objetivos particulares y los productos esperados para esta propuesta de investigación.

| Periodo | Año 1 | | | Año 2 | | | Año 3 | | |
|--|--------------|-----------|------------|--------------|-----------|------------|--------------|-----------|------------|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Actividades | | | | | | | | | |
| Revisión del estado del arte, sobre las principales problemáticas sociales de impacto para el país (enfoco de violencia, difusión, etc.) | X | | | X | | | X | | |
| Revisión del estado del arte sobre las principales problemáticas en redes ad~hoc | X | | | X | | | X | | |
| Revisión del estado del arte sobre las principales problemáticas en redes de telecomunicaciones y de distribución | X | | | X | | | X | | |
| Modelado de las problemáticas como redes complejas (temporales) | | X | | | X | | | X | |
| Análisis estructural, utilizando las métricas esenciales de la ciencia de redes para las problemáticas elegidas | | X | | | X | | | X | |
| Modelado de los problemas de optimización a atacar para analizar las problemáticas elegidas (robustez, influencia, diferenciación de fuentes de información) | | | X | | | X | | | X |
| Desarrollo o adaptación de técnicas de inteligencia computacional para la resolución de los problemas de optimización | | | X | | | X | | | X |
| Análisis de resultados | | | X | X | X | X | X | X | X |
| Escritura de artículos de investigación | | | X | X | X | X | X | X | X |
| Presentación en coloquio, seminario o congreso | | | X | | | X | | | X |
| Envío de artículos de investigación | | | | | | X | | | X |

4. Información para el seguimiento del proyecto

4.1. Calendarización de productos esperados a lo largo del proyecto

El proyecto se desarrollará en varias etapas interconectadas, cada una de las cuales contribuirá al logro de los objetivos generales. La siguiente es una calendarización de los productos esperados a lo largo del proyecto:

| Producto | Año 1 | Año 2 | Año 3 |
|---|--------------|--------------|--------------|
| Formación de recursos humanos nivel licenciatura | | | |
| Servicio Social | | 1 | 1 |
| Proyecto terminal | 1 | 1 | 2 |
| Tesis de licenciatura | | | |
| Formación de recursos humanos posgrado | | | |
| Especialización | | | |
| Maestría | | | 1 |
| Doctorado | | | |
| Publicaciones | | | |
| Artículos | | 1 | 1 |
| Capítulos de libro | | | 1 |
| Memorias o Proceedings | | 1 | 1 |
| Difusión o Divulgación | | | |
| Congresos | 1 | 1 | 1 |
| Conferencias | 1 | 1 | 1 |
| Otros (material didáctico) | | | 1 |

4.2. Resultados esperados

Considerando los puntos anteriores, los productos de trabajo esperados en este proyecto son:

Investigación

- Publicación de al menos dos artículos de revista indexada.
- Publicación de al menos dos artículos en Memorias in extenso.
- Envío de al menos un artículo de revista indexada.
- Envío de al menos un artículo en Memorias in extenso.

Docencia

- Impartición de al menos tres UEA a nivel licenciatura.
- Creación de al menos unas notas de curso.
- Inicio de al menos dos servicios sociales (sujeto a la disponibilidad de estudiantes en Ingeniería en Computación y Telecomunicaciones, Ingeniería en Computación, Ingeniería en Sistemas Mecatrónicos Industriales o Matemáticas Aplicadas).
- Inicio de al menos cuatro proyectos terminales (sujeto a la disponibilidad de estudiantes en Ingeniería en Computación y Telecomunicaciones, Ingeniería en Computación, Ingeniería en Sistemas Mecatrónicos Industriales o Matemáticas Aplicada).
- Inicio de al menos una tesis de maestría (sujero a la disponibilidad de estudiantes de los posgrados en Ciencias Naturales e Ingeniería, Optimización, Ciencias y Tecnologías de la Información, Ciencias de la Computación).

Preservación y Difusión de la Cultura

- Envío de al menos dos artículos de divulgación.
- Participación en al menos tres congresos o seminarios.

Referencias

1. M. Needham and A.E. Hodler. *Graph Algorithms: Practical Examples in Apache Spark and Neo4j*. O'Reilly Media, 2019.
2. Edwin Montes-Orozco, Roman-Anselmo Mora-Gutiérrez, Sergio-Gerardo De-Los-Cobos-Silva, Eric-Alfredo Rincón-García, Gilberto-Sinuhe Torres-Cockrell, Jorge Juárez-Gómez, Bibiana Obregón-Quintana, Pedro Lara-Velázquez, and Miguel-Angel Gutierrez-Andrade. Identification of covid-19 spreaders using multiplex networks approach. *IEEE access*, 8:122874–122883, 2020.
3. Edwin Montes-Orozco, Roman-Anselmo Mora-Gutiérrez, Bibiana Obregón-Quintana, Sergio-G de-los Cobos-Silva, Eric A Rincón-García, Pedro Lara-Velázquez, and Miguel A Gutiérrez-Andrade. Inverse percolation to quantify robustness in multiplex networks. *Complexity*, 2020:1–11, 2020.
4. Edwin Montes-Orozco, Roman-Anselmo Mora-Gutiérrez, Roberto Bernal-Jaquez, Sergio-G de-los Cobos-Silva, Eric A Rincón-García, Pedro Lara-Velázquez, and Miguel A Gutiérrez-Andrade. Communities detection in multiplex networks using optimization: Study case—employment in mexico during the covid-19 pandemic. *Complexity*, 2023:1–14, 2023.
5. Abel García, Saúl Zapotecas, and Karen Miranda. Analysis of the multi-objective cluster head selection problem in WSNs. *Applied Soft Computing*, 112(107853), 2021.
6. Karen Miranda, Saúl Zapotecas, Antonio López, and Abel García. A Comparison of Bio-inspired Approaches for the Cluster-Head Selection problem in WSN. In Shishir Kumar Shandilya, Smita Shandilya, and Atulya K Nagar, editors, *Advances in Nature-inspired Computing and Applications*. EAI/Springer, 2019.
7. M. Iqbal, M. Naeem, A. Anpalagan, N.N. Qadri, and M. Imran. Multi-objective optimization in sensor networks: Optimization classification, applications and solution approaches. *Computer Networks*, 99:134–161, April 2016.