

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Cuajimalpa

División de Ciencias Naturales e Ingeniería

Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas

*Propuesta de Investigación (Profesor visitante)*

**Presenta:**

Dr. Edwin Montes Orozco

Abril de 2022

Ciudad de México, México

# Índice

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Introducción</b>                   | <b>2</b> |
| <b>2. Propuesta de investigación</b>     | <b>3</b> |
| 2.1. Problema de investigación . . . . . | 3        |
| 2.2. Justificación . . . . .             | 3        |
| <b>3. Objetivos</b>                      | <b>3</b> |
| 3.1. Objetivo general . . . . .          | 4        |
| 3.2. Objetivos particulares . . . . .    | 4        |
| <b>4. Metodología de investigación</b>   | <b>4</b> |
| <b>5. Resultados esperados</b>           | <b>5</b> |
| <b>6. Calendario de Actividades</b>      | <b>5</b> |

# 1. Introducción

El comportamiento de los elementos y su influencia hacia de los elementos que conforman a los sistemas complejos, y en específico, los sistemas de redes sociales es de importancia para la robustez de la red y para caracterizar, analizar y describir la dinámica de diversos sistemas del mundo real

En esta propuesta de investigación se enfoca el análisis de diversos fenómenos económicos y socioculturales que ocurrieron y ocurren gracias a la pandemia causada por la COVID-19 utilizando diversos problemas de optimización.

Lo anterior, tomando como base, algunas métricas de redes complejas que se han obtenido en algunos trabajos de autoría propia, como:

- Publicación de los resultados del análisis de robustez en redes de referencia y en las redes del Sistema Educativo Superior en México en la revista Computing de Springer (JCR perteneciente a Q2) [6].
- Publicación de los resultados del análisis de identificación de nodos difusores de la COVID-19 en redes multiplex de 5 capas en la revista Access de la IEEE (JCR perteneciente a Q1) [3].
- Publicación de los resultados del análisis de robustez en redes multiplex de 2 y 3 capas en la revista Complexity de Hindawi (JCR perteneciente a Q1) [4].
- Publicación de los resultados del método de identificación de nodos difusores en México para la COVID-19 en la revista Complexity de Hindawi (JCR perteneciente a Q1) [2].
- Publicación de un capítulo de libro tratando el ranking de universidades en México mediante el uso del problema de clique máximo en Lecture Notes in Social Networks de Springer [5].
- Publicación de un capítulo de libro tratando el análisis de la pobreza y la educación, mediante el enfoque de redes complejas en Digital Era and Fuzzy Applications in Management and Economy de Springer [7].

Así como con las metodologías desarrolladas en algunos trabajos enfocados en optimización continua y problemas de ruteo, como:

- Publicación de los resultados del análisis del algoritmo PSO-3P para problemas de optimización sin restricciones en la revista International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems (JCR perteneciente a Q2) [1].
- Publicación de los resultados del diseño de técnicas matheurísticas para resolver el Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW) en la Revista de Matemática Teoría y Aplicaciones.

Gracias a la experiencia, las metodologías, las métricas y los resultados obtenidos en los trabajos previos, se busca analizar la dinámica de los sistemas, utilizando optimización multiobjetivo y cómputo paralelo.

Además, con base en la información pública de los profesores pertenecientes al Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas (DMAS), los temas a tratar durante esta investigación, son de interés para la mayoría de ellos, ya que, se busca unir los análisis de la física estadística, la optimización y la teoría de gráficas para analizar la dinámica de los sistemas complejos.

Por lo tanto, se espera que exista una gran colaboración entre los miembros del DMAS, así como de la inclusión de alumnos de Ingeniería en Computación, Matemáticas Aplicadas y del Posgrado en Ciencias Naturales e Ingeniería mediante proyectos terminales o tesis y proyectos de servicio social.

## 2. Propuesta de investigación

Como se mencionó previamente, una gran cantidad de estudios recientes en el campo de redes complejas se ha enfocado en el análisis de la capacidad del sistema de reaccionar ante eventos no esperados, como puede ser una falla interna o un ataque externo (propiedad de robustez). La robustez, indica la tolerancia estática a los errores (o fallos aleatorios) y la capacidad del sistema para mantener su comportamiento relativamente normal después de la supresión aleatoria de una fracción de sus nodos y enlaces.

Por otro lado, la identificación de nodos influyentes en las redes es de suma importancia para el funcionamiento de los sistemas y el correcto flujo de información entre los elementos que lo componen.

### 2.1. Problema de investigación

En la actualidad, una pregunta de interés en el ámbito de la ciencia de redes es ¿Cómo determinar la robustez de redes multicapa y analizar su dinámica?.

Por lo cual, en esta propuesta de investigación, se busca el obtener una generalización de la robustez y el análisis de la dinámica de los sistemas, representados como redes multiplex o redes multicapa utilizando diversos problemas de optimización como:

- Coloración robusta.
- Conjunto cobertura.
- Conjunto separador de vértices.
- Clique máximo.

Además, con el objetivo de que estas aplicaciones sean eficientes tanto en complejidad espacial como en complejidad algorítmica, se pretende la paralelización de las metodologías a obtener.

### 2.2. Justificación

En la presente propuesta de investigación, se busca unir el uso de métricas de redes complejas con técnicas de optimización para el estudio de redes multicapa, que son tópicos de interés para el DMAS.

En el caso específico, se analizarán diversas problemáticas socioculturales y económicas causadas por la COVID-19 en México y el mundo, ya que, con base en trabajos previos (mostrados en la Sección 1), el representar este tipo de problemáticas como una red, ayuda a caracterizar algunas propiedades y funciones que no pueden ser vistas de manera simple.

Por otro lado, es posible que al emplear técnicas de optimización se puedan realizar de manera más eficiente y efectiva los cálculos de diversas métricas importantes en el estudio de las redes y así lograr su generalización para redes de multiples capas.

Por ejemplo, encontrar los nodos influyentes en la red, predecir enlaces futuros entre los nodos, encontrar el mínimo conjunto de nodos que desconecte la red, caracterizar propiedades sociales como comunidades, clanes, etc., ya que en general, estas técnicas no necesitan calcular todas las propiedades topológicas de la red para realizar dichas caracterizaciones.

## 3. Objetivos

Con el fin de detallar la investigación propuesta, a continuación se presentan los objetivos general y particulares.

### 3.1. Objetivo general

Desarrollar y probar al menos una metodología para el análisis de redes multicapa basado en métricas de redes complejas y técnicas de optimización para analizar problemáticas socioculturales y económicas causadas por la COVID-19 en México y el mundo.

### 3.2. Objetivos particulares

- Analizar las diversas problemáticas socioculturales y económicas causadas por la COVID-19.
- Modelar las redes, con base en las problemáticas encontradas.
- Desarrollar al menos una metodología para encontrar grupos de nodos influyentes en redes multicapa.
- Desarrollar al menos un método de cuantificación para la robustez en redes multicapa, considerando métricas de redes complejas y optimización multiobjetivo.
- Analizar los diversos factores que influyen en la dinámica de las problemáticas socioculturales mediante las metodologías desarrolladas.
- Paralelización de las metodologías desarrolladas.
- Escritura y envío de al menos dos artículos de investigación para revistas indizadas (JCR).

## 4. Metodología de investigación

Para el desarrollo de esta investigación, es necesario identificar las principales características de los diversos problemas de optimización para poder agregar o modificar las restricciones para su correcto funcionamiento en las redes complejas de múltiples capas.

Por otra parte, se debe de estudiar la caracterización de los elementos de las redes sociales y su capacidad de agruparse o formar comunidades, por lo cual es necesario estudiar y adaptar las métricas de redes complejas, considerando la multiplicidad de capas.

Por lo tanto, a continuación, se muestra la descripción de cada una de las etapas a realizar en esta propuesta de investigación:

- **Etapa I.-** *Generación del conjunto de datos.*  
Con base en la información disponible en diversos repositorios de interés y acceso público, se obtendrá la información de las principales problemáticas causadas por la COVID-19 en México y el mundo, para poder realizar el modelado de las distintas redes.
- **Etapa II.-** *Diseño de al menos una metodología para encontrar nodos influyentes en redes multicapa.*  
Con el uso de técnicas de programación matemática y/o de optimización, así como métricas de redes complejas, se generará al menos una metodología para encontrar nodos influyentes en redes multicapa.
- **Etapa III.-** *Desarrollo de al menos una metodología para cuantificar la robustez en redes multicapa.*  
Con el uso de técnicas de programación matemática y/o de optimización multiobjetivo, así como métricas de redes complejas, se generará al menos una metodología para encontrar la robustez en redes multicapa.

■ **Etapa IV.- *Análisis de redes y el enfoque social***

Para identificar las principales características de los elementos que se encuentran en las redes, es necesario analizar qué elementos ayudan a la formación de grupos o comunidades. Por lo cual, en esta etapa se analizará el comportamiento y caracterización de los elementos mediante propiedades sociales como relaciones diádicas, triádicas y cliques utilizando diversas técnicas de optimización.

■ **Etapa V.- *Análisis de resultados***

Con base en las adecuaciones de los problemas y técnicas de optimización desarrollados, se realizará el análisis para la robustez y caracterización de los elementos influyentes en redes multicapa, con el objetivo de analizar la dinámica de los sistemas y obtener al menos dos artículos para posible publicación en revistas indizadas (JCR) y al menos dos presentaciones en congresos especializados.

## 5. Resultados esperados

Los productos entregables de esta propuesta de investigación son:

- Al menos dos presentaciones en congresos especializados (primer y segundo semestre).
- Envío de al menos dos artículo para una revista indizada (el primero durante antes del mes seis y el segundo antes del mes doce).

## 6. Calendario de Actividades

En la Tabla 1, se listan las actividades a realizar durante la propuesta de investigación y el correspondiente producto esperado (dividido por el calendario trimestral de la UAM).

Tabla 1: Actividades durante el desarrollo de la propuesta de investigación.

| Actividad   | Trimestre  | Producto esperado  |
|---|--|--|
| <b>a)</b> Construcción de las redes con base en las problemáticas socioeconómicas y culturales en México y el mundo, causadas por la COVID-19.                                    | 22-P y 22-O (antes del mes seis).                      | Instancias para redes monocapa y de multiples capas.                   |
| <b>b)</b> Generación de una metodología para encontrar nodos influyentes en redes multicapa utilizando técnicas de optimización multiobjetivo y métricas de redes complejas.      | 22-P y 22-O (antes del mes seis).                      | Método para la identificación de nodos influyentes en redes multicapa. |
| <b>c)</b> Diseño e implementación de una técnica para cuantificar la robustez en redes multicapa utilizando técnicas de optimización multiobjetivo y métricas de redes complejas. | 22-O y 23-I (antes del mes doce).                      | Método para la identificación de nodos influyentes en redes multicapa. |
| <b>d)</b> Paralelización de las metodologías desarrolladas.   | 22-O y 23-I (antes del mes doce).                      | Presentación de resultados en al menos un congreso especializado.      |
| <b>e)</b> Análisis de la dinámica de los sistemas y presentación de resultados.   | 22-O y 23-I (antes del mes seis y antes del mes doce). | Envío del primer y segundo artículo, respectivamente.                  |

## Referencias

- [1] De-Los-Cobos-Silva, S. G., Mora-Gutiérrez, R. A., Rincón-García, E. A., Lara-Velázquez, P., Gutiérrez-Andrade, M. A., and Montes-Orozco, E. (2018). A three particles algorithm for solving some very high dimensional benchmark unconstrained optimization problems using a fuzzy fitness criterium. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 26(Suppl. 1):93–119.
- [2] Montes-Orozco, E., Mora-Gutiérrez, R.-A., de-los Cobos-Silva, S.-G., Rincón-García, E. A., Gutiérrez-Andrade, M. A., and Lara-Velázquez, P. (2022a). Analysis and characterization of the spread of covid-19 in mexico through complex networks and optimization approaches. *Complexity*, 2022.
- [3] Montes-Orozco, E., Mora-Gutiérrez, R.-A., De-Los-Cobos-Silva, S.-G., Rincón-García, E.-A., Torres-Cockrell, G.-S., Juárez-Gómez, J., Obregón-Quintana, B., Lara-Velázquez, P., and Gutierrez-Andrade, M.-á. (2020a). Identification of covid-19 spreaders using multiplex networks approach. *IEEE Access*, 8:122874–122883.
- [4] Montes-Orozco, E., Mora-Gutiérrez, R.-A., Obregón-Quintana, B., de-los Cobos-Silva, S.-G., Rincón-García, E. A., Lara-Velázquez, P., and Gutiérrez-Andrade, M. A. (2020b). Inverse percolation to quantify robustness in multiplex networks. *Complexity*, 2020.
- [5] Montes-Orozco, E., Mora-Gutiérrez, R. A., Obregón-Quintana, B., de-los Cobos-Silva, S. G., Rincón-García, E. A., Lara-Velázquez, P., and Gutiérrez-Andrade, M. Á. (2020c). Mexican university ranking based on maximal clique. In *Educational Networking*, pages 327–395. Springer.
- [6] Montes-Orozco, E., Mora-Gutierrez, R. A., Obregón-Quintana, B., de-los Cobos-Silva, S. G., Rincon-Garcia, E. A., Lara-Velázquez, P., and Gutiérrez-Andrade, M. Á. (2021). Methodology to quantify robustness in networks: case study—higher education system in mexico. *Computing*, pages 1–25.
- [7] Montes-Orozco, E., Mora-Gutiérrez, R. A., Israel, S.-R., de-los Cobos-Silva, S. G., Rincón-García, E. A., Gutiérrez-Andrade, M. A., and Lara-Velázquez, P. (2022b). *Analysis of poverty through educational lag using the maximum clique into the complex*. Digital Era and Fuzzy Applications in Management and Economy. Springer.