



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa

Proyecto de investigación Caracterización de modelos de evolución de redes complejas

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS APLICADAS Y SISTEMAS
División de Ciencias Naturales e Ingeniería
26 de mayo de 2022

Información del proyecto

Fecha de presentación	:
Sesión de Consejo de aprobación	:
Clave asignada por el Consejo Divisional	:

Título	: Caracterización de modelos de evolución de redes complejas.
Departamento	: Matemáticas Aplicadas y Sistemas.
División	: Ciencias Naturales e Ingeniería.
Líneas de investigación	: Modelado y Simulación de Sistemas / Teoría de Gráficas.
Orientación	: Investigación aplicada.
Fecha de inicio	:
Duración	: 1 año.

Responsable:

Dra. Daniela Aguirre Guerrero
Profesora-Investigadora (Visitante) Titular B de Tiempo Completo,
Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas
Unidad Cuajimalpa
danaguirreg@gmail.com
Tiempo de dedicación al proyecto: 10 horas/semana

Participantes:

Dr. Roberto Bernal Jaquez
Profesor-Investigador Titular C de Tiempo Completo,
Cuerpo Académico: Optimización, Sistemas Complejos e Interfaces Cerebro-Computadora
Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas
Unidad Cuajimalpa
rbernal@correo.cua.uam.mx
Tiempo de dedicación al proyecto: 5 horas/semana

Dr. Diego Antonio González Moreno
Profesor-Investigador Asociado D de Tiempo Completo,
Cuerpo Académico: Matemáticas y Computación
Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas
Unidad Cuajimalpa
dgonzalez@correo.cua.uam.mx
Tiempo de dedicación al proyecto: 5 horas/semana

Dr. Carlos Joel Rivero Moreno
Profesor-Investigador Titular C de Tiempo Completo,
Departamento de Tecnologías de la Información
Unidad Cuajimalpa
crivero@cua.uam.mx
Tiempo de dedicación al proyecto: 5 horas/semana

Dr. Ricardo Marcelín Jiménez
Profesor-Investigador Titular C de Tiempo Completo,
Área de Investigación: Redes y Telecomunicaciones
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Unidad Iztapalapa
rmarcelin@izt.uam.mx
Tiempo de dedicación al proyecto: 5 horas/semana

Índice

1. Propuesta	5
1.1. Resumen	5
1.2. Antecedentes	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos particulares	6
1.4. Descripción	6
1.4.1. Hipótesis	7
1.4.2. Metodología propuesta	7
1.5. Formación de recursos humanos	8
1.6. Productos esperados	8
1.7. Impacto esperado del proyecto	8
1.8. Recursos necesarios para el desarrollo del proyecto	9
2. Calendario de actividades	10
3. Información para el seguimiento del proyecto	10
3.1. Calendario de productos esperados	10
3.2. Resultados esperados	11
Referencias	12

1. Propuesta

1.1. Resumen

La ciencia de redes es un campo de estudio transversal, que aplica de herramientas matemáticas y computacionales para modelar y analizar fenómenos físicos, biológicos y sociales, con el objetivo de predecir y controlar su comportamiento. Este proyecto propone la caracterización de modelos de evolución de distintas redes complejas, tales como redes sociales, redes de computadoras y redes que representan composiciones musicales. La caracterización de los distintos modelos de evolución, se llevará a cabo desde el enfoque común de ciencia de redes. Dichos modelos consistirán en funciones matemáticas de parámetros topológicos de las redes, como distribución de grados, densidad, diámetro, etc.

Respecto a redes sociales, se caracterizarán modelos de evolución de redes de colaboraciones académicas y redes de *retweets*. Los modelos obtenidos podrían constituir el primer paso en el desarrollo de herramientas de planeación y evaluación de políticas de investigación, así como de identificación de estrategias de posicionamiento artificial de tendencias en medios digitales como *Twitter*. Respecto a redes de computadoras, se caracterizarán modelos de evolución para redes sometidas a reglas de reconexión de nodos. Se buscará obtener correlaciones entre los modelos de evolución obtenidos y las reglas de reconexión. Lo anterior permitiría identificar reglas de reconexión útiles en el diseño de arquitecturas de red robustas para cómputo distribuido. Finalmente, respecto a redes que representan composiciones musicales, se analizarán los parámetros topológicos de distintas composiciones musicales. Esto con el fin de encontrar similitudes entre dichas composiciones. Consideramos que este estudio constituiría un avance en el desarrollo de sistemas de recomendaciones musicales.

1.2. Antecedentes

Una de las aplicaciones más populares de la ciencia de redes se refiere a la caracterización de modelos de evolución de redes complejas, [1, Capítulo 6]. El estado del arte de modelos de evolución de redes complejas se centra en el diseño de modelos basados en mecánicas de conexión de nodos, tales como conexión preferencial, conexión aleatoria, etc. Recientes estudios en este campo indican que los modelos basados en conexiones híbridas son más exactos que aquellos basados en una sola mecánica de conexión [2, 3]. Por otro lado, se considera que para el caso de algunas redes complejas, los modelos basados en hipergráficas y redes multicapa representan una descripción más exacta que los modelos basados en gráficas [4]. Sin embargo, aun es necesario probar la exactitud de estos modelos en redes susceptibles a eventos disruptivos, como las redes sociales y redes de computadoras. Lo anterior presenta un tema en la frontera del conocimiento de ciencia de redes y aplicación de aprendizaje automático, el cual se refiere al desarrollo de modelos híbridos de evolución de redes complejas, ponderadas y susceptibles a eventos disruptivos.

Así mismo, descubrir los mecanismos de evolución que subyacen en la dinámica de una red de compleja, permitiría entre otras cosas, predecir el surgimiento de nodos *populares*, así como el surgimiento de comunidades de nodos. Esto traducido al contexto de redes sociales permitiría predecir el surgimiento de líderes de opinión en *Twitter* [5] y de autores o temas populares en redes de coautorías, así como de grupos de actores sociales que interactúan en torno a un interés común

[6]. En lo que respecta a redes de computadoras, los nodos populares y comunidades de una red, pueden representar zonas críticas de la red. Es decir que un ataque o fallo, sobre nodos de zonas críticas, puede tener consecuencias graves en el funcionamiento de la red. Por lo tanto, el estudio del impacto de reglas de reconexión en la topología final de una red de computadoras, permitiría la definición de reglas que reconexión que conduzcan a topologías robustas [7]. Finalmente, en lo que respecta a redes composiciones musicales, los nodos populares y comunidades representan, respectivamente, notas que son tocadas en diferentes frases melódicas y solos de música [8].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar técnicas de ciencia de redes, aprendizaje automático y ciencia de datos; en la caracterización de modelos de evolución de redes complejas, tales como redes sociales, redes de computadoras y redes que representan composiciones musicales.

1.3.2. Objetivos particulares

- Aplicar técnicas de ciencia de datos para la obtención y organización de grandes volúmenes de datos que permitan la caracterización de redes sociales, tales como redes de coautorías y redes de *retweets*.
- Aplicar técnicas de ciencia de redes y aprendizaje automático en la caracterización modelos de evolución de redes sociales, tales como redes de coautorías y redes de *retweets*.
- Aplicar técnicas de ciencia de redes en la caracterización de redes complejas que modelen la evolución de redes de computadoras sometidas a reglas de reconexión.
- Aplicar técnicas de ciencia de redes en la caracterización de redes complejas que modelen composiciones musicales.

1.4. Descripción

En este proyecto de investigación, se propone el desarrollo de modelos de evolución de redes complejas, tales como las redes sociales, redes de computadoras y redes que representan composiciones musicales. Se aplicarán técnicas de ciencia de datos para la obtención y organización de información requerida, en la creación de las redes antes mencionadas. Después, se modelarán las redes y se analizará su topología desde la perspectiva de ciencia de redes. Finalmente, se aplicarán técnicas de aprendizaje automático para la caracterización de modelos de evolución de las redes mencionadas.

Los modelos de evolución consistirán en un conjunto de funciones matemáticas que describan la evolución en el tiempo de distintos parámetros de la red. La Tabla 1 muestra ejemplos de los parámetros que deben considerarse dentro de los modelos de evolución.

Parámetro	Descripción
Grado	Indica el número de enlaces que tiene un nodo.
Centralidad de vector propio	Indica la relevancia de un nodo en la red.
Coefficiente de agrupamiento	Indica el grado de conexión entre los nodos adyacentes de un nodo.
Distribución de grados	Función que indica, la proporción de nodos que tiene cierto valor de grado.
Densidad	Indica la proporción de enlaces de la red, con respecto a la máxima cantidad de enlaces que podrían existir.
Diámetro	Indica la distancia más largar entre los nodos.

Tabla 1: Parámetros que deben considerarse en los modelos de evolución de redes complejas.

1.4.1. Hipótesis

En el proyecto se consideran las siguientes hipótesis:

- Los modelos de evolución de redes complejas se pueden caracterizar aplicando técnicas de ciencia de redes y aprendizaje automático.
- El modelo de evolución de una red de computadoras sometida a reglas de reconexión varia de acuerdo a dichas reglas.
- Los modelos de evolución de redes de coautorías varían de acuerdo al área de conocimiento de los autores analizados.
- Los modelos de redes que representan composiciones musicales permiten identificar similitudes entre distintas composiciones.

1.4.2. Metodología propuesta

Con el fin de llevar a acabo una investigación exitosa, se propone organizar el trabajo de investigación en las siguientes etapas:

1. **Estudio y análisis de la literatura** sobre la caracterización de redes complejas mediante gráficas, hipergráficas y redes multicapa.
2. **Definición de casos de estudio.** En el caso de redes de coautorías, se debe establecer los grupos o institutos de investigación y el periodo de años en que serán analizados. En el caso de redes de *retweets*, se deben establecer las tendencias a analizar. En el caso de redes que modelan composiciones musicales, se deben definir las piezas musicales que se analizarán. En el caso de dinámicas de reconexión de redes de computadoras, se deben definir las reglas de reconexión que serán modeladas.
3. **Minería de datos.** Esta etapa contempla el desarrollo de bibliotecas de programación que permitan la obtención y administración de grandes volúmenes de datos de bibliográficos para la creación de redes de coautorías; y de grandes volúmenes de *tuits* para la creación de redes de *retweets*.

4. **Análisis de datos**, involucra el desarrollo de programas de cómputo para la creación automática de redes complejas.
5. **Caracterización y prueba de los modelos de evolución**. Los modelos de evolución se caracterizarán a partir de los resultados obtenidos en la etapa 4. Estos modelos consistirán en funciones matemáticas de distintos parámetros topológicos de la redes. En los casos que así se requiera, se aplicarán técnicas de aprendizaje automático para la definición de dichos modelos.
6. **Diseminación de resultados** en foros con arbitraje estricto y especializados en áreas de matemáticas, ingeniería y ciencias sociales. También se contempla la participación en foros dirigidos a estudiantes de nivel licenciatura, en particular a estudiantes del DMAS.

1.5. Formación de recursos humanos

Se dirigirá al menos un proyecto terminal a nivel licenciatura relacionado con el proyecto.

1.6. Productos esperados

Considerando los puntos anteriores, los productos de trabajo esperados al final del proyecto son:

Investigación

- Publicación de al menos un artículo de revista indexada.
- Envío de al menos un artículo de investigación para su publicación de revista indexada, además del mencionado en el inciso anterior.
- Participación en al menos un congreso o conferencia internacional.

Formación de recursos humanos a nivel licenciatura

- Dirección de al menos un proyecto terminal.

Preservación y Difusión de la Cultura

- Publicación de al menos un artículo de divulgación o capítulo de libro.
- Participación en al menos 2 seminarios dirigidos a estudiantes.

1.7. Impacto esperado del proyecto

Con el fin de estimar el impacto social del proyecto, consideramos los Ejes Programáticos del CONACyT, incluidos en el Anteproyecto de la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencia, Tecnología e Innovación (HTCI) [9]. A continuación se indica el impacto esperado del proyecto en tres ejes:

1. **Investigación de frontera y la ciencia básica**. Se realizará investigación de frontera en el área de ciencia de redes. En concreto, se desarrollarán modelos matemáticos de evolución de redes complejas.

2. **Desarrollo de tecnologías estratégicas de vanguardia e innovación abierta para la transformación social.** Se desarrollarán bibliotecas de programación para la creación y análisis de redes de colaboraciones científicas. Estas bibliotecas pueden constituir una potencial herramienta de planeación y evaluación políticas investigación.
3. **Acceso universal al conocimiento y sus beneficios sociales.** El proyecto contempla actividades de divulgación de la ciencia.

1.8. Recursos necesarios para el desarrollo del proyecto

Financiamiento e infraestructura física y humana actual en el proyecto

Actualmente, contamos con la infraestructura física y recursos humanos necesarios para el desarrollo del proyecto, como son:

- Cinco profesores titulares expertos en temas de ciencias de la computación y matemáticas.
- Bibliografía básica correspondiente a los temas de ciencia de redes, ciencia de datos y aprendizaje automático.
- Acceso a las bases de datos y buscadores como ACM, IEEE, PubliMed, y Scopus para la investigación bibliográfica del proyecto, además de acceso remoto a los recursos electrónicos de la BidiUAM.
- La profesora responsable del proyecto está registrada como desarrolladora de *Twitter* y *Scopus*, lo que le permite acceso a Interfaces de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) para ser utilizadas en las etapas de Minería y Análisis de Datos.
- Todos los profesores participantes contamos con computadoras personales con acceso a Internet.

En lo que respecta al financiamiento, se buscará financiar el proyecto a través de fondos internos de la UAM, en particular del presupuesto que los departamentos asignan a los participantes del proyecto.

Calendario de ejercicio del presupuesto

A continuación se presenta el calendario de ejercicio del presupuesto.

Concepto	Trimestre	Costo
- Publicación de un artículo de investigación en una revista indexada.	23-I	\$36,500
- Participación en un congreso o conferencia internacional.	22-O	\$10,000
Total		\$46,500

El costo de publicación del artículo de investigación, corresponde a la tarifa de la revista PLOS ONE [10]. Esta revista sería considerada como la primera opción para publicar, ya que está catalogada con un enfoque de investigación multidisciplinaria, siendo este el mismo enfoque del proyecto. Además, la revista PLOS ONE asegura un tiempo de publicación que se ajusta a la duración del proyecto y se encuentra indexada en el cuartil 1 del *Journal Citation Report* (JCR).

El costo de participación en un congreso o conferencia internacional, corresponde a la participación (en modalidad virtual) en alguna de las siguientes conferencias: *The International Sunbelt Social Networks Conference (Sunbelt)* [11] y *The Network Science Conference (NetSci)* [12]. Estas conferencias son las más prestigiosas en las áreas de análisis de redes sociales y ciencia de redes, respectivamente. Además, permiten participaciones en modalidad virtual.

No se incluyen costos de publicación del artículo de divulgación, ya que se buscará publicarlo en una alguna revista que no tenga costo de publicación y que esté indexada por el CONACyT, por ejemplo, las revistas *Conversus* del IPN [13] y *¿Cómo ves?* de la UNAM [14].

Fuentes de financiamiento externo

En caso de que se requieran fondos externos a la UAM, se buscará financiar el proyecto a través de los fondos que el PRODEP-SEP asigna a algunos participantes del proyecto.

2. Calendario de actividades

A continuación se presenta el calendario de actividades. Las actividades corresponden a las etapas de la metodología de investigación, las cuales están detalladas en la Sección 1.4.2.

Calendario de actividades			
Actividad	22-P	22-O	23-I
- Estudio y análisis de la literatura.	█		
- Definición de los casos de estudio.	█		
- Minería de datos.	█		
- Análisis de datos.		█	
- Caracterización y prueba de los modelos de evolución.		█	
- Disseminación de resultados.		█	█

3. Información para el seguimiento del proyecto

3.1. Calendario de productos esperados

A continuación se presenta el calendario de productos esperados a lo largo del proyecto. Los productos corresponden a los mencionados en la Sección 1.6.

Calendario de productos esperados

Producto	22-P	22-O	23-I
- Un artículo de investigación publicado en una revista indexada.			
- Un artículo de investigación sometido para su publicación en una revista indexada.			
- Participación en un congreso o conferencia internacional.			
- Dirección de un proyecto terminal.			
- Publicación de un artículo de divulgación o capítulo de libro.			
- Participación en 2 seminarios dirigidos a estudiantes.			

3.2. Resultados esperados

Conocimiento producido

- Informe con los principales técnicas de caracterización de redes sociales mediante gráficas y redes multicapa.
- Informe de los modelos de evolución obtenidos en casos de estudio de redes sociales.
- Informe de los modelos de evolución obtenidos en casos de estudio de redes de computadoras sometidas a reglas de reconexión.
- Informe de los modelos de evolución obtenidos en casos de estudio de redes que modelan composiciones musicales.

Desarrollo tecnológico

- Desarrollo de bibliotecas de programación y una base de datos que permitan la obtención y administración de grandes volúmenes de datos de bibliográficos para la creación de redes de coautorías; y de grandes volúmenes de *tuits* para la creación de redes de menciones en *Twitter*.
- Desarrollo de programas de cómputo para la creación automática de redes complejas que modelen los casos de estudio del proyecto.

Productividad científica

- Publicación de un artículo científico en una revista indexada.
- Un artículo de investigación sometido para su publicación en una revista indexada en el JCR.
- Participación en un congreso o conferencia internacional.

Formación de recursos humanos

- Dirección de un proyecto terminal asociado al proyecto.

Difusión y preservación de la cultura

- Publicación de un artículo de divulgación o capítulo de libro.
- Participación en 2 seminarios dirigidos a estudiantes.

Referencias

- [1] A.-L. Barabási and M. Pósfai, *Network science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.
- [2] Q.-M. Zhang, X.-K. Xu, Y.-X. Zhu, and T. Zhou, "Measuring multiple evolution mechanisms of complex networks," *Scientific Reports*, vol. 5, 10 2014.
- [3] A. Kumar, S. S. Singh, K. Singh, and B. Biswas, "Link prediction techniques, applications, and performance: A survey," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, p. 124289, 2020.
- [4] G. Bianconi, *Higher-Order Networks*. Elements in Structure and Dynamics of Complex Networks, Cambridge University Press, 2021.
- [5] G. O. Henderson and S. A. P. P. (coordinators), *Aproximaciones al estudio de los medios sociales: Análisis de una coyuntura política en la esfera de Twitter*, ch. 3, pp. 89–117. Mexico City: Universidad Autónoma Metropolitana and Juan Pablos Editor, S.A., 1 ed., 7 2021. Chapter's authors: J. C. López García and D. Aguirre-Guerrero.
- [6] D. Aguirre-Guerrero, I. A. Robles, J. C. L. Garcia, and K. S. M. Campos, "Ranking of latin-american scientific communities and their response to the emergency of covid-19," in *Networks 2021: A Joint Sunbelt and NetSci Conference*, (Indiana, USA), July 2021.
- [7] M. A. López Chavira and R. Marcelín-Jiménez, "Distributed rewiring model for complex networking: The effect of local rewiring rules on final structural properties," *PLOS ONE*, vol. 12, pp. 1–23, 11 2017.
- [8] S. Ferretti, "On the modeling of musical solos as complex networks," *Inf. Sci.*, vol. 375, p. 271–295, jan 2017.
- [9] "Anteproyecto de Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación." https://consulta.conacyt.mx/?page_id=1255. Accessed: 2022-05-16.
- [10] "PLOS ONE - publication fees." <https://plos.org/publish/fees/>. Accessed: 2022-05-16.
- [11] "The International Sunbelt Social Networks Conference." <https://www.insna.org/events/sunbelt-2022>. Accessed: 2022-05-16.
- [12] "The Network Science Conference." <https://www.insna.org/events/sunbelt-2022>. Accessed: 2022-05-16.
- [13] "Conversus - revista de la dirección de difusión de ciencia y tecnología del ipn." <https://www.ipn.mx/ddicyt/conversus.html>. Accessed: 2022-05-16.
- [14] "¿Cómo ves? - revista mensual de la dirección general de divulgación de la ciencia de la unam." <http://www.comoves.unam.mx/>. Accessed: 2022-05-16.