



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**MODELO PROBABILÍSTICO BAYESIANO DE INFERENCIA DE  
HIPERENLACES EN REDES CRIMINALES**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

**DIMITRI LOAIZA ARAYA**

PROFESOR GUÍA:  
RICHARD WEBER HAAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
PROFESOR 2  
PROFESOR 3

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por:  
NOMBRE INSTITUCIÓN

SANTIAGO DE CHILE  
2025

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS  
DE LA INGENIERÍA  
POR: DIMITRI LOAIZA ARAYA  
FECHA: 2025  
PROF. GUÍA: NOMBRE PROFESOR

**MODELO PROBABILÍSTICO BAYESIANO DE INFERENCIA DE  
HIPERENLACES EN REDES CRIMINALES**

Hola buenas tardes a todos este es el abstract, espero que les guste.

*Una frase de dedicatoria,  
pueden ser dos líneas.*

***Saludos***

# Agradecimientos

Muchas gracias a todos.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Fiscal Heredia . . . . .	1
1.3. Objetivos . . . . .	2
<b>2. Revisión Bibliográfica</b>	<b>3</b>
2.1. Hipergrafos y Predicción de Hiperenlaces . . . . .	3
<b>Bibliografía</b>	<b>4</b>

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

El estudio de asociaciones o agrupaciones entre individuos es un tema de relevancia el análisis de redes sociales, con aplicaciones en diversas áreas, desde el marketing hasta la criminología. Cuando las asociaciones son de una cantidad variable de sujetos, es natural modelar el fenómeno como un hipergrafo: una generalización de los grafos donde los enlaces son de dos o más nodos.

En este contexto, un problema que ha ganado interés académico en los últimos años es la predicción de hiperenlaces; esto es, evaluar y proponer cuáles son los hiperenlaces más probables de existir, ya sean futuros o faltantes, dados los patrones de asociación de los nodos en los hiperenlaces observados.

Nuestro interés por este problema nace desde un caso específico: la inferencia de participantes en un delito para el apoyo a la investigación penal en el contexto del proyecto Fiscal Heredia.

En la próxima sección daremos contexto sobre las aplicaciones de inteligencia artificial en la Fiscalía Nacional Chilena en el marco de Fiscal Heredia, para luego proponer un conjunto de características deseadas en un modelo de redes sociales para este contexto.

### 1.2. Fiscal Heredia

Explicar el origen y las diferentes aplicaciones.

Dado lo anterior, las características deseables del modelo planteado son:

1. Capacidad de aprender las preferencias de asociación de los nodos respecto a las características de la asociación (atributos de los hiperenlaces) como respecto a las características de los nodos con quienes se asocia.
2. Integración de un mecanismo de llegada de nuevos sujetos al mercado criminal a través de su participación en delitos con nodos ya pertenecientes a la red.
3. Capacidad de realizar inferencia sobre estos sujetos nuevos, los cuáles naturalmente tendrán poco historial para ajustar sus preferencias.

4. Capacidad de explicitar la incertidumbre sobre las inferencias realizadas, a manera de entregar información completa y transparente que apoye mejor el análisis criminal

### 1.3. Objetivos

Los objetivos para este trabajo de tesis son:

Objetivo General:

- Diseñar, desarrollar y evaluar un modelo bayesiano de inferencia de hiperenlaces que cumpla con las características deseables para su aplicación en el contexto de Fiscalía.

Objetivos Específicos:

- Proponer un diseño para el modelo basado en la literatura y los requisitos de la aplicación.
- Desarrollar el modelo en software especializado de manera que sea computacionalmente factible.
- Evaluar el rendimiento del modelo con conjuntos de datos de crimen y de marketing para explorar sus posibles usos.
- Proponer una breve metodología para su uso.

# Capítulo 2

## Revisión Bibliográfica

### 2.1. Hipergrafos y Predicción de Hiperenlaces

Como mencionan Chen & Liu en ‘A Survey on Hyperlink Prediction’ [1], un hipergrafo es una generalización de los grafos, donde los hiperenlaces pueden tener una cantidad arbitraria de nodos. Matemáticamente, se define como  $H \in \{V, E\}$  donde  $V = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$  es el conjunto de nodos y  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$  es el conjunto de hiperenlaces, donde cada hiperenlace es un conjunto de nodos, y  $e_p \subset V \forall p \in 1, \dots, m$ .

Para representar matricialmente un hipergrafo, se utiliza una *matriz de incidencia*  $H \in \mathbb{R}^{n \times m}$ , donde cada fila representa un vector, cada columna un hiperenlace. En esta notación, el valor de  $H_{j,i}$  es 1 si el nodo  $i$  pertenece al hiperenlace  $j$ , y 0 si no.

En este mismo artículo, se plantea el problema de la predicción de hiperenlaces como el aprendizaje de la función  $\Psi$  tal que para un hiperenlace potencial  $e$  se logre:

$$\Phi(e) = \begin{cases} \geq \epsilon & \text{si } e \in E \\ < \epsilon & \text{si } e \notin E \end{cases}$$

donde  $\epsilon$  es un valor de corte para convertir un posible valor continuo de  $\Psi$  en valor binario.

El tema principal de la publicación es una revisión sistemática de la literatura sobre predicción de hiperenlaces; esta será nuestra fuente inicial para entender el estado del arte.

Se propone una taxonomía que clasifica los modelos en cuatro categorías: (1) métodos basados en similitud, (2) basados en probabilidad, (3) basados en optimización de matrices y (4) basados en aprendizaje profundo.

Dentro de cada categoría también se divide entre métodos directos e indirectos, siendo indirectos aquellos que son inicialmente propuestos como modelos de predicción de enlaces o clusterización, y que pueden ser modificados para hacer predicción de hiperenlaces; y directos aquellos que son desarrollados específicamente para predicción de hiperenlaces.

Como mencionamos en la introducción, son de nuestro interés los modelos probabilísticos bayesianos; de este tipo de modelos, se menciona un modelo indirecto basado en [2].



# Bibliografía

- [1] Chen, C. y Liu, Y.-Y., “A survey on hyperlink prediction”, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol. 35, no. 11, p. 15034–15050, 2024, [doi:10.1109/tnnls.2023.3286280](https://doi.org/10.1109/tnnls.2023.3286280).
- [2] Ghahramani, Z. y Heller, K. A., “Bayesian sets”, en Advances in Neural Information Processing Systems (Weiss, Y., Schölkopf, B., y Platt, J., eds.), vol. 18, MIT Press, 2005, [https://proceedings.neurips.cc/paper\\_files/paper/2005/file/182e6c2d3d78eef40e5dac7da77a748f-Paper.pdf](https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2005/file/182e6c2d3d78eef40e5dac7da77a748f-Paper.pdf).