

# Desentrañando las correlatividades: análisis de redes sociales en planes de estudio de ingeniería

## Unraveling correlativities: social network analysis in engineering curricula

Héctor Ramón Tarifa<sup>1,\*</sup>, C. Marcelo Pérez Ibarra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, Argentina.

\* Autor correspondiente.

Email: hrtarifa@fi.unju.edu.a

ORCID: org/0009-0008-7636-6312

### RESUMEN

La universidad, como institución formadora, tiene la responsabilidad de ofrecer a la sociedad profesionales altamente capacitados y con gran capacidad de adaptación a los cambios. Para lograr esta calidad en la oferta académica, se deben implementar mecanismos de evaluación, establecer prácticas de control, facilitar prácticas profesionalizantes y, sobre todo, asegurar que el plan de estudios esté actualizado en cuanto a contenidos y competencias para la formación de los futuros egresados. En particular, el diseño curricular se plasma en el plan de estudios, un documento que establece el perfil del egresado, los requisitos, los contenidos mínimos, el sistema de correlatividades y las asignaturas que organizan los conocimientos, habilidades y competencias que los estudiantes deben adquirir. Para garantizar la calidad de la oferta académica, es necesario evaluar la coherencia entre el currículum, el proceso de enseñanza-aprendizaje y la consecución del perfil de egreso como punto de partida de un ciclo de mejora continua de la oferta curricular de la carrera. En este artículo se presenta un modelo relacional derivado del sistema de correlatividades de un plan de estudios de grado de una carrera universitaria. La formulación del modelo se realizó mediante la aplicación de conceptos, métodos y herramientas del análisis de redes sociales, cuyas métricas permitieron caracterizar el sistema estudiado e identificar los componentes y sus interacciones más relevantes.

**Palabras clave:** análisis de redes sociales; currículum; modelo; sistema de correlatividades.

### ABSTRACT

As an institution of higher learning, the university bears the responsibility of producing graduates who are highly trained and possess the capacity to adapt to change. To achieve this level of academic quality, it is essential to implement evaluation mechanisms, establish control practices, facilitate professionalization practices, and, most importantly, ensure that the curriculum is regularly updated in terms of content and competencies to provide the training of future graduates is aligned with current and future professional standards. In particular, the curriculum, which establishes the graduate profile, requirements, minimum contents, correlativity system, and subjects that organize the knowledge, skills, and competencies that students must acquire, is embodied in the curricular design.

**Cómo citar:** Tarifa, H. R. y Pérez Ibarra, C. M. (2024). Desentrañando las correlatividades: análisis de redes sociales en planes de estudio de ingeniería. AWARI; 5, 1-12. DOI: 10.47909/awari.694.

**Recibido:** 12-08-2024 / **Aceptado:** 20-11-2024 / **Publicado:** 22-12-2024

**Copyright:** © 2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC 4.0 license which permits copying and redistributing the material in any medium or format, adapting, transforming, and building upon the material as long as the license terms are followed.

To ensure the quality of the academic offer, it is essential to assess the alignment between the curriculum, the teaching-learning process, and the attainment of the graduate profile, establishing this as the foundation for a continuous improvement cycle in the curricular offer. This article presents a relational model derived from the correlativity system of an undergraduate curriculum of a university degree program. The model was developed by applying social network analysis concepts, methods, and tools, which allowed for the characterization of the system and the identification of its most relevant components and interactions.

**Keywords:** social network analysis; curriculum; model; correlation system.

## INTRODUCCIÓN

LAS UNIVERSIDADES tienen la responsabilidad de formar profesionales altamente capacitados y con gran capacidad de adaptación a los cambios. Por ende, es crucial garantizar la calidad de la oferta académica mediante la definición de prácticas de control, mejora y garantía de la calidad, mecanismos de evaluación, prácticas profesionalizantes, planes de estudio actualizados, etc. En particular, el plan de estudios de una carrera universitaria constituye un marco formativo que comprende asignaturas, requisitos, sistema de correlatividades, etc. Este documento organiza las asignaturas en ciclos y secuencias de aprendizaje que permiten a los estudiantes adquirir conocimientos, habilidades y competencias generales y específicas de la carrera. Por tanto, la actualización de los planes de estudios implica no solo revisar sus componentes, sino también toda la estructura curricular.

En este artículo se presenta el modelo relacional del plan de estudios de una carrera universitaria, basado en su sistema de correlatividades, con el fin de evaluar su estructura curricular. El modelo se ha elaborado mediante el Análisis de Redes Sociales, que proporciona un conjunto de conceptos, métodos y aplicaciones para medir y analizar las características de una red social e identificar las estructuras subyacentes. El estudio de redes sociales mediante la teoría de grafos permite la representación directa de unidades sociales y sus relaciones. La identificación y localización de las unidades relevantes en la red se realiza mediante el cálculo de medidas básicas como la densidad, la distancia, el grado, la cercanía y la intermediación. El modelo obtenido consta de 38 nodos y 58 aristas que representan, respectivamente, las asignaturas y sus relaciones. Los resultados

muestran que el plan de estudios tiene una estructura comunitaria, con baja interdependencia entre los distintos espacios curriculares.

También se identificaron asignaturas con diferentes funciones: las que tienen un alto grado de entrada (hubs) son importantes para centralizar la información, ya que tienen numerosas correlativas y, por tanto, son inherentemente integradoras; mientras que las que tienen un alto grado de salida son requisito para cursar múltiples asignaturas, lo que puede interpretarse como materias troncales de la carrera. Las asignaturas con un alto nivel de intermediación pueden actuar como puentes o conductos entre las distintas regiones de la red que representa el plan de estudios. Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto cuestiones tales como:

- a) familias de correlativas con una gran “distancia cuatrimestral”, lo que puede dar lugar a la interferencia retroactiva en el aprendizaje de los estudiantes;
- b) baja densidad de la red lo que indica una moderada transitabilidad del plan de estudios por parte del alumnado;
- c) asignaturas obligatorias que tienen como requisito materias optativas genéricas que pueden estar relacionadas o no, lo que implicaría un análisis más profundo de la articulación de contenidos.

## MARCO TEÓRICO

### Diseño Curricular

En un mundo en constante evolución, las instituciones educativas de nivel superior tienen la responsabilidad de formar a profesionales altamente capacitados y con gran capacidad de adaptación a entornos en permanente cambio.

Por ello, y particularmente en el nivel universitario, para asegurar la calidad de la oferta académica es necesario definir prácticas de control, mejora y garantía de la calidad relativas a aspectos tales como la planificación, el funcionamiento, los mecanismos de control de resultados, los planes de formación, las materias optativas, las prácticas profesionalizantes, etc.

Específicamente, para contribuir a la formación de futuros profesionales, los planes de estudio se diseñan para alcanzar las competencias propias de un área de conocimiento. Sin embargo, debido a la complejidad del diseño curricular, pueden encontrarse inconsistencias en la articulación de contenidos entre asignaturas relacionadas, así como diferencias entre las competencias establecidas y el perfil de egreso.

Por tanto, para asegurar la calidad de la oferta académica, es necesario evaluar la coherencia entre el currículo, la enseñanza y la consecución del perfil de egreso como punto de partida de un ciclo de mejora continua de la oferta curricular. Una manifestación del aseguramiento de la calidad universitaria son los procesos de revisión de los planes de estudio originados por actualizaciones debidas a mejoras en el proceso de control, cambios producidos en la disciplina profesional o cambios en las estrategias de enseñanza (Icarte y Lavate, 2016).

Un enfoque gráfico para revisar el currículo es el mapeo curricular (Jacobs, 2004). Jacobs explica que este consiste en generar representaciones visuales del currículum a partir de una tabla bidimensional con categorías predefinidas. Los participantes (docentes) del proceso generan mapas para cada una de sus asignaturas (currículo real) y luego los revisan en conjunto para identificar fortalezas, debilidades, brechas y superposiciones; por ejemplo, detectar competencias que se atienden en pocas asignaturas o revisar si la secuencia de estas es la óptima, etc. Finalmente, los participantes determinan qué contenidos agregar o eliminar y revisan las estrategias para obtener un plan de estudios más integrado. De esta manera, el mapeo curricular es una herramienta para evaluar la consistencia de una propuesta académica en su conjunto, ya que proporciona una visión general de la estructura y señala la contribución de las asignaturas individuales a los objetivos de la carrera (Jacobs, 2004).

Otro enfoque aplicable al estudio del currículum es la teoría de los sistemas complejos. Esta teoría interdisciplinaria busca comprender y explicar el comportamiento de sistemas integrados por un conjunto de elementos interconectados y cuyas interacciones dan lugar a propiedades que no poseen las partes individuales. Los sistemas complejos se caracterizan por ser interconectados, interdependientes, adaptables, emergentes, no lineales, autoorganizados y dinámicos (Prigogine, 1997).

Debido a que la complejidad es una característica inherente a muchos sistemas en red, su estudio ha sido objeto de investigación en las ciencias sociales, las humanidades y, especialmente, en educación. La complejidad intenta explicar los procesos y actividades abiertos, recursivos, orgánicos, no lineales y emergentes que construyen la realidad.

Estrechamente vinculada a la teoría de sistemas complejos se halla la disciplina del Análisis de Redes Sociales. Ambas perspectivas comparten diversos principios y herramientas teórico-conceptuales que, desde enfoques complementarios, permiten abordar la comprensión de fenómenos complejos que involucran interacciones entre múltiples elementos.

### **Análisis de Redes Sociales**

El Análisis de Redes Sociales (en adelante, ARS) es un conjunto de conceptos, métodos y aplicaciones analíticas que permiten medir y analizar las características de una red social para identificar las estructuras resultantes de las interacciones entre sus miembros (unidades sociales). Así, el ARS se basa en la suposición de que es posible explicar los fenómenos complejos a partir de las propiedades de las estructuras relacionales y, por ende, comprender y predecir los resultados de las interacciones o intercambios entre los miembros de una red social.

Al estudiar una red social, es preciso identificar a sus miembros y los vínculos que se establecen entre ellos. En términos generales, los elementos básicos de una red social son las entidades sociales, en el sentido más amplio del término, y las relaciones establecidas entre ellas.

El estudio sistemático de las propiedades de las redes sociales puede llevarse a cabo mediante la teoría de grafos, que permite la

representación directa de las entidades sociales y los vínculos que conforman una red. La teoría de grafos es una herramienta básica en el ARS por las siguientes razones (Harary, 1965): a) Ofrece una terminología y conceptos básicos para etiquetar y denotar las propiedades estructurales de una red; b) Posee operaciones matemáticas e ideas para cuantificar y medir dichas propiedades; c) En base a lo anterior, proporciona la capacidad para demostrar teoremas sobre grafos y, por ende, sobre las representaciones de la red social.

De este modo, es posible utilizar grafos para modelar los componentes de una red y sus relaciones, independientemente del sentido de estas. En particular, cuando las relaciones estudiadas son unidireccionales, se utilizan grafos dirigidos (dígrafos). Un dígrafo comprende un conjunto de nodos que representan a las entidades sociales de una red y un conjunto de arcos dirigidos que vinculan pares de nodos (relaciones entre entidades).

En ARS, los conceptos de la teoría de grafos permiten identificar y localizar las entidades sociales más importantes de una red mediante medidas básicas como la densidad, la distancia, el grado de entrada, el grado de salida y la intermediación. Estas cuantificaciones están diseñadas para resaltar las características de las entidades más prominentes o influyentes de una red.

De forma general, el análisis topológico de una red comprende los siguientes pasos:

- Identificar los componentes de la red (nodos y relaciones)
- Representar gráficamente la red (grafos)
- Calcular métricas
- Analizar las características topológicas de la red

Si bien existen diversas métricas que permiten caracterizar una red, estas dependen del tipo de red, del modo en que está configurada, de los objetivos del análisis, entre otras cuestiones. En este artículo son de interés la densidad, la distancia, el grado nodal, el camino más corto, la centralidad (de grado, de cercanía y de intermediación) y las comunidades. A continuación, y considerando que la red en estudio se representa mediante un dígrafo, se definen los conceptos aplicados en el análisis.

Un dígrafo se define como  $G_d(N,L)$ , donde los conjuntos no vacíos  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_g\}$  representan  $g$  nodos y  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_p\}$  representan  $p$  arcos o aristas.

La densidad refiere a la proporción de los arcos presentes en el grafo y se calcula como el número de arcos existentes,  $L$ , respecto del número de arcos posibles. Dado que un arco es un par ordenado de nodos entonces habrá  $g(g-1)$  arcos posibles. Así, la densidad se denota y calcula como:

$$\Delta = \frac{L}{g(g-1)}$$

Este índice oscila entre 0 y 1, siendo 0 cuando no existen arcos y 1 cuando están presentes todas las relaciones posibles. En este último caso, todas las díadas (conjunto de dos entidades sociales) son recíprocas (es decir, tienen relaciones mutuas).

Borgatti, Everett y Johnson (2013) consideran que la densidad es una medida sencilla para conocer la cohesión entre los nodos de la red. Cuanto mayor es la densidad de la red, mayor es la cohesión y, por consiguiente, mayor es el número de vínculos entre las unidades que la forman. La densidad brinda cierto nivel de conocimiento sobre el comportamiento de algún fenómeno (Hanneman, 2011).

Otra métrica importante es la distancia, que está íntimamente relacionada con el concepto de camino. Este último es una sucesión de aristas que conectan un par de vértices. Si un camino no repite vértices ni aristas, garantiza que cada paso es único en su trayectoria.

El camino más corto entre dos nodos se llama geodésica y su longitud se define como la distancia entre cualquier par de nodos. Es decir, la distancia entre dos nodos es la longitud del camino más corto entre ellos (Wasserman & Faust, 2013). Esto permite definir el concepto de diámetro de una red conexa (todos los nodos están conectados directa o indirectamente) como la longitud de la mayor geodésica entre cualquier par de nodos. El diámetro una red puede variar desde un mínimo de 1 (grafo completo) hasta un máximo de  $(g-1)$  (Wasserman & Faust, 2013).

En grafos dirigidos, dado el sentido de las aristas, los caminos desde un nodo a otro pueden ser diferentes del camino inverso. En

consecuencia, las geodésicas desde  $n_i$  hasta  $n_j$  pueden ser diferentes de las geodésicas inversas. En particular, si no hay camino desde el nodo  $i$  hasta el nodo  $j$  (dígrafo débilmente conexo), entonces no hay geodésicas y la distancia entre estos nodos es indefinida o infinita.

La métrica del diámetro puede resultar una medida útil para demarcar el límite superior de las longitudes de los caminos que se pudiesen estudiar. El concepto de distancia (qué tan lejos está cada par de nodos) también se utiliza para el cálculo de los índices de centralidad que se explicarán más adelante. Una métrica sencilla, el grado nodal, indica la cantidad de nodos que están directamente vinculados o son adyacentes a otro. Esta medida se refiere a la centralidad "local" de un nodo en relación a otros cercanos.

En grafos dirigidos, el grado de entrada de un nodo,  $d_i(n_i)$ , es el número de nodos que son adyacentes hacia  $n_i$ . Por lo tanto, el grado de entrada es el número de arcos que arriban a  $n_i$ . De manera similar, el grado de salida de un nodo,  $d_o(n_i)$ , es el número de nodos que son adyacentes desde  $n_i$ . Por lo tanto, el grado de salida es el número de arcos que parten de  $n_i$ .

En las aplicaciones de redes sociales, estos dos tipos de grados pueden resultar muy interesantes. El grado de salida mide la expansividad, mientras que el grado de entrada mide la receptividad o popularidad. A partir de este concepto, Harary, Norman y Catwright (1965) definen una taxonomía según el grado nodal de los integrantes de una red.

Las métricas de centralidad permiten identificar a los miembros importantes de una red. Las unidades sociales prominentes son aquellas que están implicadas en muchas relaciones con otras unidades, lo que las hace más distinguibles que las demás. Puede interesar o no que esta prominencia se deba a que la unidad posea un alto grado de receptividad (actúa como destinataria) o bien porque es transmisora por excelencia (actúa como emisora), pero lo importante en este enfoque es la implicación. Por lo tanto, una unidad es central si está implicada en muchas relaciones.

Las medidas de centralidad permiten comprender la estructura grupal y pueden calcularse tanto para nodos individuales como para grupos de ellos. La interacción entre los roles individuales de las unidades y la estructura

grupal permite identificar la configuración dinámica del grupo y sus principales tendencias. En este artículo se hace foco en la centralidad de cercanía e intermediación.

Por un lado, la centralidad de cercanía mide cuán cerca está una unidad de todas las demás. La idea es que un nodo es central si puede interactuar rápidamente con los demás; es decir, se trata de nodos que ocupan localizaciones centrales respecto al grupo y que son muy relevantes a la hora de transmitir información a los demás. Esta medida se refiere a la centralidad «general» de un nodo en relación con los demás.

La cuantificación de este concepto se realiza teniendo en cuenta que los nodos centrales de una red tienen una distancia mínima con los demás. En consecuencia, los caminos que unen los nodos centrales con los otros deben ser lo más cortos posible.

Sea la función de distancia,  $d(n_i, n_j)$ , la longitud de la geodésica que une las unidades  $i$  y  $j$ . La distancia total a la que está  $i$  de todas las demás unidades es:

$$\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \quad \forall j \neq i$$

En consecuencia, el índice de cercanía normalizado para una unidad puede calcularse como:

$$C'_c(n_i) = \frac{g - 1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)}$$

donde  $C'_c$  significa centralidad de cercanía normalizada.

Este índice (normalizado) oscila entre 0 y 1, siendo igual a cero cuando uno o más nodos no son accesibles desde el nodo en cuestión, mientras que es igual a 1 cuando todos los nodos se conectan directamente al nodo analizado. Los valores intermedios indican que existen caminos más cortos de longitud superior a 1 que conectan un nodo específico con los demás.

Cabe destacar que la cercanía está relacionada con la distancia de forma inversa, ya que, a medida que un nodo está más lejos de los demás, su cercanía disminuye, puesto que hay más caminos más cortos que lo unen con el resto.

Por otro lado, la centralidad de intermediación indica si dos unidades no adyacentes dependen obligadamente de una tercera para interactuar, específicamente, de aquellas que se encuentran en los caminos más cortos que unen a dos unidades no adyacentes. Así, las unidades que se encuentran en los caminos más cortos entre dos unidades no adyacentes podrían llegar a ser potencialmente controladoras de la relación entre éstas últimas. Es importante recalcar que una unidad es central si se encuentra en alguno de los caminos más cortos entre otro par de unidades. Freeman (1977) fue uno de los primeros en cuantificar esta idea. Teniendo en cuenta la probabilidad de que un nodo  $i$  esté implicado en la ruta entre los nodos  $j$  y  $k$ , existirá un determinado número de caminos más cortos que unen a los dos nodos y que además contiene al nodo  $i$ . Freeman llama al número de geodésicas que unen dos nodos  $j$  y  $k$  y que contienen al nodo  $i$ :  $g_{jk}(n_i)$  y estima la probabilidad como:

$$\frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}$$

y continúa con la suposición de que todas las geodésicas son igualmente probables para la elección de este camino.

El índice de intermediación de un nodo  $i$  es sencillamente la suma de las probabilidades anteriores estimadas para todos los pares de nodos, obviamente excluyendo a  $i$ :

$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad \forall i \neq j, \forall i \neq k$$

Este índice varía entre un mínimo de cero (cuando  $n_i$  no se coloca en ninguna de las geodésicas) y un máximo de  $\frac{(g-1)(g-2)}{2}$  (número de pares de nodos excluyendo a  $n_i$ ). Dado que el valor del índice dependerá del número de nodos, éste se estandariza de la siguiente forma:

$$C'_B(n_i) = \frac{2 \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}}{(g-1)(g-2)} \quad \forall i \neq j, \forall i \neq k$$

Los valores estandarizados de intermediación oscilan entre 0 y 1. El valor del índice es cero Cuando el nodo evaluado no aparece en

ninguno de los caminos más cortos entre cualquier par de nodos de la red. Si el índice asume el valor 1, entonces el nodo analizado se encuentra en los caminos más cortos entre cualquier par de nodos de la red. Los valores en el intervalo (0,1) indican poca intermediación, es decir, que no es necesario pasar por intermediarios para comunicar otros nodos.

En ARS, una de las áreas de gran interés es la detección de comunidades. Una comunidad puede entenderse como un conjunto o grupo de unidades sociales (nodos) que están más estrechamente conectadas entre sí que con el resto de la red. Es decir, se trata de un subconjunto de nodos que interactúan con más frecuencia entre sí y forman grupos distintos dentro de una red más amplia. Existen diversos algoritmos para la detección de comunidades que, aplicando funciones de calidad como la modularidad, agrupan unidades sociales según criterios de similitud. El concepto de comunidad o subgrupo es fundamental para comprender cómo se organizan las relaciones sociales y cómo fluye la información, el poder o el conocimiento a través de una red (Barabási, 2002).

## Metodología

Para abordar la presente investigación se adaptaron las fases genéricas de análisis de datos a la perspectiva de investigación que propone el ARS. A continuación, se describen de manera sucinta el conjunto de etapas llevadas a cabo para lograr el objetivo propuesto (Kuz *et al.*, 2015).

*Definición del Problema:* Planteo de la situación o fenómeno cuyo estudio se desea abordar mediante un enfoque relacional. Caracterización y delimitación del sistema a modelar considerando la cantidad de entidades sociales que intervienen en él. Identificación de las unidades sociales que conforman la red y la relación que las vincula.

*Recopilación de datos:* Obtener datos e información de las entidades sociales que conforman el sistema bajo estudio como también del vínculo que las une. Para lograr esto se puede recurrir a: documentos actuales e históricos, registros de organizaciones gubernamentales y privadas, encuestas, entrevistas, bases de datos públicas y privadas, capturas de datos a través de APIs de plataformas digitales, etc.

**Transformación de datos:** Limpieza y organización de los datos recopilados, esto puede incluir la eliminación de información redundante, registros nulos, datos extraños o faltantes, generación de nueva información derivada de la ya existente, verificación de la consistencia de la información, la idea general es transformar los datos a un formato adecuado para el ARS.

**Procesamiento y Visualización:** Elaboración de un análisis descriptivo inicial para comprender las características de la red (densidad, grado nodal, centralidad), posteriormente aplicar técnicas y algoritmos específicos para detectar comunidades, subgrupos, analizar la centralidad, etc. Por último, usar herramientas de visualización (Gephi, Ucinet, Pajek, Librerías de Python o R, etc.) para obtener representaciones gráficas de la red y sus características.

**Interpretación de resultados:** Analizar los resultados para identificar patrones, actores claves, detectar comunidades, subgrupos, etc.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelo Relacional

En primer lugar, la formulación del modelo implicó realizar una breve investigación documental, consultando fuentes escritas y/o digitales institucionales relativas al proyecto de creación de la carrera y al plan de estudios. En base a este último, se identificaron 36 asignaturas obligatorias organizadas por año de cursado, 11 asignaturas optativas y 2 requisitos. Las relaciones de dependencia (correlatividad) de las asignaturas se volcaron en una matriz unimodal ponderada, cuyos pesos indican (de forma inversamente proporcional) la «distancia cuatrimestral» entre pares de asignaturas. En la Figura 1 se muestra parte de la matriz unimodal obtenida, mientras que en la Tabla 1 se presenta la asignación de pesos utilizada.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	R1	R2			
1					1			1																																	
2							1		0,8			0,8						0,5																							
3										0,8									0,5																						
4					1	1																																			
5											1			0,8	0,8			0,5	0,7																						
6												1				0,8																									
7													0,8																												
8									1				0,8	0,8				0,7	0,7			0,5																			
9																																							0,2		
10																																									
11																																									
12																								0,7															0,2		
13																																									
14																																									
15																																									
16																					1																				
17																								0,8															0,3		
18																									1																
19																											0,8														
20																												0,8													
21																													0,8	0,7	0,7								0,7		

Figura 1. Matriz bimodal de un plan de estudios (relaciones de correlatividad).

Como se puede observar en la Tabla 1, la proximidad temporal de dos materias correlativas (el número de cuatrimestres que las separan) se representa mediante pesos entre 0,2 (asignaturas separadas por seis cuatrimestres) y 1 (asignaturas que distan solo un cuatrimestre). El objetivo de esta asignación es poner de manifiesto los pares de materias cuyos contenidos están vinculados, pero cuya distancia temporal puede provocar interferencias retroactivas en el aprendizaje.

Peso	Distancia Cuatrimestral
0,2	6
0,3	5
0,5	4
0,7	3
0,8	2
1	1

Tabla 1. Pesos asignados según distancia cuatrimestral entre asignaturas.



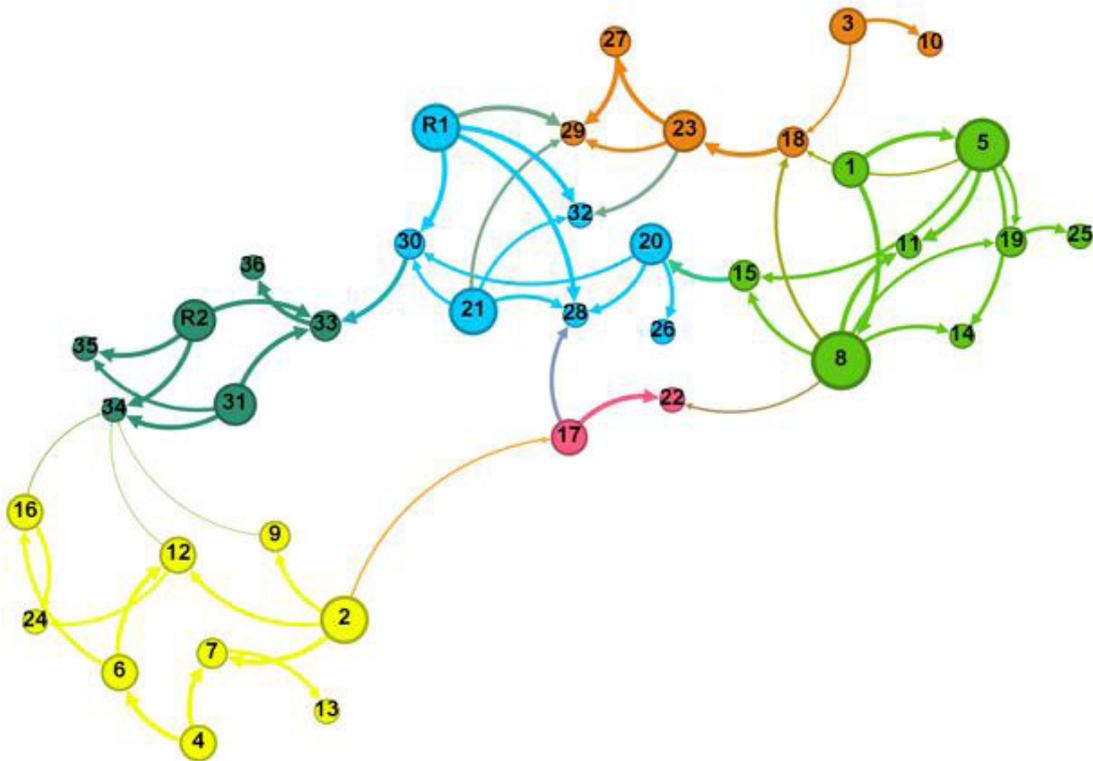


Figura 3. Red de correlatividades de un plan de estudios (nodos destacados por grado de salida).

- **Densidad:** Se obtuvo un valor  $\Delta=0,04$  lo que refleja que no existen excesivas relaciones de correlatividades que puedan dificultar el cursado de la carrera.
- **Diámetro:** El diámetro de la red es 6, lo que indica que hay un camino en el grafo que requiere pasar por 6 materias correlativas para ir desde una materia inicial hasta una materia final. Este camino representa la secuencia más larga de materias correlativas en el plan de estudios.

Focalizando la atención en la transitabilidad del plan de estudios (capacidad de los estudiantes de avanzar de una etapa a otra dentro de la carrera), el diámetro sugiere que en el peor de los casos un estudiante necesitará atravesar seis asignaturas para pasar de una a otra más lejana en el sistema de correlatividades.

En relación con las distancias entre asignaturas, en el modelo (Figura 4, grafo con pesos) puede apreciarse que el grosor de las aristas es inversamente proporcional a la distancia cuatrimestral entre las asignaturas (a mayor grosor menor distancia temporal). Si bien en el grafo la materia 34 se conecta directamente con 9,

12, 16, 31 y R2, las 3 primeras corresponden al 2do. año de la carrera mientras que la 34 pertenece a 5to. año. Esto permite identificar las situaciones donde existe una mayor probabilidad de que el estudiante olvide los conceptos aprendidos en asignaturas anteriores (interferencia retroactiva en el aprendizaje).

Respecto a las métricas de *centralidad*, en la Tabla 2 se presentan los valores de *centralidad de cercanía* (según el grado de salida) de los nodos más destacados. Las materias con un alto grado de cercanía pueden interpretarse como más próximas a muchas otras en base a la cantidad mínima de pasos que las conectan. Esto significa, en primer lugar, que estas materias son accesibles desde muchas otras; lo que en términos de correlatividad indica que tales asignaturas no están muy “lejos” de alguna otra, lo que las convierte en centrales y fácilmente alcanzables dentro de la estructura del plan de estudios. En segundo lugar, asignaturas con un alto grado de cercanía pueden ser fundamentales dentro del plan de estudios ya que el índice de centralidad sugiere que muchas otras materias están directa o indirectamente conectadas a ellas. Una asignatura con un alto índice de

cercanía implica que ésta está bien conectada y juega un papel importante en el flujo del conocimiento a través del plan de estudios.

Nodo	Centralidad de Cercanía (CC)
34	0,144
28	0,122
29	0,115
33	0,108
32	0,096

Tabla 2. Centralidad de cercanía de los nodos más destacados.

Nodo	Centralidad de Intermediación (CI)
20	0,015
15	0,014
18	0,012
23	0,011
30	0,011

Tabla 3. Centralidad de intermediación de los nodos más destacados.

En cuanto a la *centralidad de intermediación*, en la Tabla 3 se presentan los valores de este índice para los nodos más destacados de la red.

El hecho de que una materia tenga un alto índice de intermediación posee varias implicaciones. En primer lugar, estas materias pueden recibir el calificativo de “conectoras” esto significa que muchos caminos más cortos entre pares de materias pasan por ella. Es decir, son materias que conectan secuencialmente los contenidos de otras. En segundo lugar, al ser materias conectoras su comprensión puede ser fundamental para progresar en el aprendizaje de otras asignaturas, por lo tanto, estas materias poseen un rol significativo en el control del flujo de conocimientos y competencias. En tercer lugar, derivado de lo anterior, las materias con un alto grado de intermediación son estratégicamente importantes, ya que pueden impactar significativamente en el avance y relación con otros contenidos que dependen de ellas. Por último, identificar materias con alta centralidad de intermediación permite a los docentes centrar sus esfuerzos en garantizar que los estudiantes dominen estas materias, optimizando así el aprendizaje global.

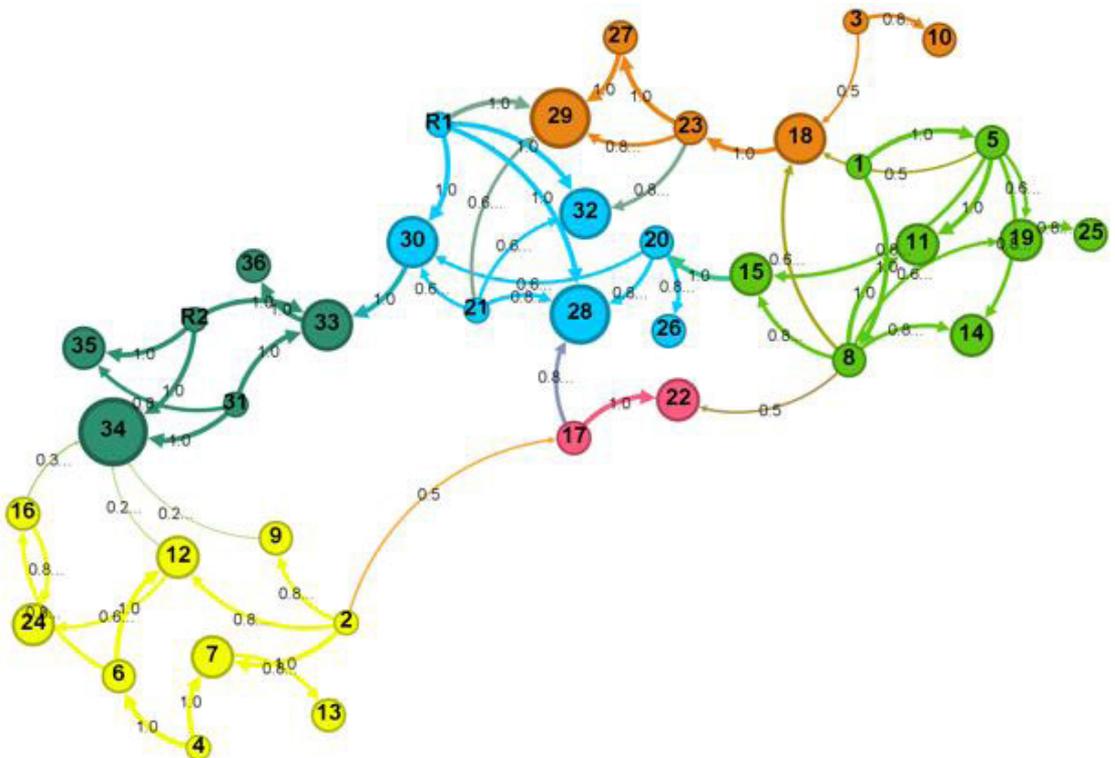


Figura 4. Red de correlativas de un plan de estudios. Familias de correlativas.

En lo relativo a la *detección de comunidades*, la modularidad es una medida utilizada para evaluar la calidad de la partición de un grafo en comunidades o grupos. Este indicador aplicado al modelo permitió agrupar los nodos del grafo en seis familias de correlatividades (Figura 4). Esto puede utilizarse para focalizar el análisis del plan de estudios en grupos específicos y estudiar así la articulación y secuenciación de contenidos, los bloques de conocimiento, la pertinencia de las materias a su grupo, entre otros aspectos.

## CONCLUSIONES

A partir del modelo obtenido fue posible:

- Detectar posibles interferencias retroactivas en el aprendizaje, este fenómeno ocurre cuando la adquisición de nueva información dificulta la recuperación de la información anteriormente aprendida. Los requisitos de correlativas deberían diseñarse para mitigar los efectos de este fenómeno.
- Observar que el valor de la densidad es adecuado, ya que un valor alto de esta métrica implicaría la existencia de numerosas correlatividades entre las distintas asignaturas.
- Identificar materias integradoras, “hubs”, ubicadas en los dos últimos años de la carrera. Un análisis detallado del plan de estudio reveló que algunas materias consideradas “hubs” son correlativas de cursos optativos y requisitos de idioma.
- Identificar materias “troncales”, es decir, aquellas que son necesarias para cursar muchas otras. El análisis detallado del plan de estudios evidenció que una materia optativa y un requisito de idioma son consideradas troncales. Surge el cuestionamiento ¿Debería ocurrir esta situación?
- Separar las asignaturas en 6 grupos (familias de correlativas), posibilitando el análisis de sus contenidos y campos disciplinares, así como verificar si las dependencias de contenidos son adecuadas o no, etc. Esto también evidencia la flexibilidad en cuanto al cursado de la carrera ya que las comunidades están formadas por materias de distintos años e interconectadas.
- Simplificar la complejidad del sistema ya que no se incluyeron las materias optativas, pues estas a pesar de tener correlativas se

acreditan por cantidad de horas. Sin embargo, se podría formular un segundo modelo sólo para ellas e integrar ambos.

- Analizar la transitabilidad a través de la medida del diámetro (6) y conjeturar que hay cierta complejidad en el sistema de correlatividades del plan de estudio, pero también que, con una adecuada planificación los estudiantes pueden recorrer este camino sin obstáculos insalvables.
- Calcular la centralidad de intermediación y detectar materias clave que facilitan y conectan el progreso entre las distintas materias del plan de estudios. Identificar y fortalecer la enseñanza de estas materias puede tener un impacto positivo significativo en la eficiencia del aprendizaje de todo el plan de estudios.

## Sugerencias finales

- Revisar en el sistema de correlatividades el papel que juegan aquellas asignaturas que son complementarias a la carrera, como por ejemplo idiomas y cursos optativos; puesto que se detectaron que algunas de éstas y según el análisis realizado pueden ser consideradas troncales.
- Redefinir para el sistema de correlatividades de la carrera analizada qué asignaturas deberían desempeñar la función de “hub” o de “troncales”.
- Evaluar la posibilidad de que los cursos optativos no sean correlativos de las materias obligatorias en el plan de estudio, se podría organizar estos cursos en grupos de tal forma que éstos representen distintas orientaciones para la misma carrera.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

## Declaración de consentimiento de datos

Los datos usados durante esta investigación se han incluido en el artículo. ●

## REFERENCIAS

BARABÁSI, A. L. (2002). *The new science of networks*. Cambridge: Perseus.

- BORGATTI, S. P., EVERETT, M. G., & JOHNSON, J. C. (2013), *Analyzing social networks*, SAGE Publications Limited, London.
- FREEMAN, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40, 35-41. doi: 10.2307/3033543.
- GEPHI – THE OPEN GRAPH VIZ PLATFORM. (s.f.). Disponible en <https://gephi.org/>
- HANNEMAN, R. A., & RIDDLE, M. (2011). Concepts and measures for basic network analysis. In J. Scott & P. J. Carrington (Eds.), *The SAGE Handbook of SNA* (pp. 340-369). London, UK: SAGE Publications Ltd.
- HARARY F., NORMAN R. Z. Y CARTWRIGHT D. (1965) *Structural Models: An introduction to theory of Directed Graphs*. John Wiley and Sons, New York.
- ICARTE, G. A., & LÁVATE, H. A. (2016). Metodología para la Revisión y Actualización de un Diseño Curricular de una Carrera Universitaria Incorporando Conceptos de Aprendizaje Basado en Competencias. *Formación Universitaria*, 9(2), 3-16. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062016000200002>
- JACOBS, H. H. (2004). *Getting Results with Curriculum Mapping*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- KUZ, A., FALCO, M., NAHUEL, L. Y GIANDINI, R. (2015). Análisis de Redes Sociales a través de Gephi y NodeXL. *II Simposio Argentino sobre tecnología y Sociedad (STS)-JAIIO 44*. Rosario. Argentina.
- PRIGOGINE, I. (1997) *Las leyes del caos*. Ed. Crítica. Barcelona.
- WASSERMAN, S. & FAUST, K. (2013) *Análisis de redes sociales. Métodos y aplicaciones*. Madrid, España: Centro de Investigaciones Sociológicas.

