

09-023

NETWORK ANALYSIS OF BACHELOR'S DEGREE IN CHEMICAL ENGINEERING, OF SCHOOL OF INDUSTRIAL ENGINEERING OF THE UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Schulze-González, Erik-Alejandro (1); Pastor-Ferrando, Juan-Pascual (2); Aragonés-Beltrán, Pablo (2); Viñoles-Cebolla, Rosario (2)

(1) Universidad de Valparaíso, (2) Universitat Politècnica de València

In some recent articles, several authors propose to model the study plans of the students as a network formed by the subjects or knowledge based on the prerequisites. From these networks they obtain curricular or social network indicators. In this article, the curricula of the Degree in Chemical Engineering of the School of Industrial Engineering, of the Universitat Politècnica de València, is modeled as a network. The starting information to build the model is the recommended knowledge of the teaching guides of the subjects. Analyzing and interpreting the results obtained, contributions and limitations of these techniques are identified. This work aims to advance in the use of these models and network analysis techniques to obtain indicators that may be interesting in the analysis and design of study plans.

Keywords: University curricula; Graph analysis; Social network analysis

ANÁLISIS EN RED DE LAS ASIGNATURAS DE INGENIERÍA QUÍMICA EN LA ETS INGENIERÍA INDUSTRIAL (UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA)

En algunos artículos recientes, varios autores proponen modelizar los planes de estudios de los alumnos como una red formada por las asignaturas o conocimientos en base a los prerequisites. A partir de estas redes obtienen indicadores curriculares o de redes sociales. En el presente artículo se modeliza en red el plan de estudios del Grado de Ingeniería Química de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, de la Universitat Politècnica de València. La información de partida para construir el modelo son los conocimientos recomendados de las guías docentes de las asignaturas. Analizando e interpretando los resultados obtenidos se identifican aportaciones y limitaciones de estas técnicas. Con este trabajo se pretende avanzar en el uso de estos modelos y de las técnicas de análisis de redes para obtener indicadores que puedan ser interesantes en el análisis y diseño de planes de estudios.

Palabras clave: Planes de estudios universitarios; Análisis de grafos; Análisis de redes sociales

Correspondencia: ersc3@doctor.upv.es



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción y objetivos

En (Slim et al., 2014a; Slim et al., 2014b) se evalúa la complejidad de los estudios universitarios a partir de la estructura de los mismos. Para ello se utiliza teoría de grafos modelizando los estudios como una red de asignaturas y se proponen indicadores para medir cuan cruciales son las asignaturas. En los modelos elaborados se utilizan datos de los planes de estudio de la University of New Mexico (UNM) en Estados Unidos. En base a estos modelos se sugiere cómo optimizar el currículum que se propone seguir a los alumnos. Si se visita la web de esta universidad, por ejemplo, en los estudios de Chemical Process Engineering se puede consultar los grafos de prerequisites de asignaturas (The University of New Mexico, 2022)

En un trabajo más reciente (Fjallstrom et al., 2019), también se propone el uso de modelos en red, pero en este caso, los nodos son los conceptos explicados en las asignaturas. A partir de esta red, utiliza indicadores de Análisis de Redes Sociales para identificar los conceptos más importantes en la titulación de Ingeniería Eléctrica de la Uppsala University (Suecia).

A la vista de estos trabajos se plantean las siguientes preguntas de investigación:

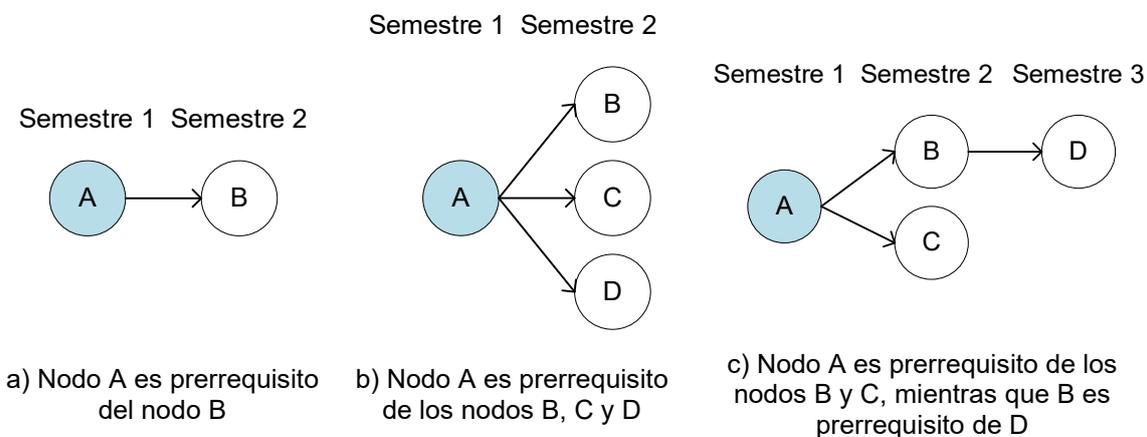
- ¿Pueden obtenerse modelos similares con los planes de estudios universitario en la Universitat Politècnica de València?
- ¿Es pública la información necesaria para elaborar estos modelos?
- ¿Los indicadores usados por estos trabajos son relevantes en la evaluación de un plan de estudios español?

El resto del trabajo está organizado de la siguiente forma: en el punto Metodología se explica con detalle los modelos en red de los trabajos citados y sus indicadores propuestos o utilizados. En el apartado Caso de estudio se aborda la construcción del modelo en red del plan de estudios del Grado en Ingeniería Química de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII), de la Universitat Politècnica de València (UPV). En el apartado Resultados se muestran los indicadores obtenidos.

2. Metodología

Se realizó una búsqueda en la Web of Science (WOS) sobre modelos en red de asignaturas o evaluación de estudios universitarios que plantearan modelos en red o grafos. No se obtuvieron otros a los ya indicados. A continuación, se describen estas propuestas.

Figura 1. Ejemplos de relaciones entre asignaturas



En los trabajos de (Slim et al., 2014a; Slim et al., 2014b) se propone generar el modelo del grafo abstrayendo las asignaturas en nodos y conectando dos nodos con un arco dirigido si

hay un prerrequisito de relación entre las asignaturas asociados a los nodos. En la Figura 1 se presentan algunos ejemplos.

La crucialidad de una asignatura dentro de una red está relacionada con dos características principales, su factor de retardo y su factor de bloqueo, y estos dos factores se caracterizan por dos parámetros adicionales, el camino más largo y la conectividad. El factor de retardo L_i del nodo i se define como la longitud del camino más largo que pasa por el nodo i . La conectividad, V_i , de un nodo i se define como el número total de nodos conectados a i . Es decir, n_{ij} es 1 si hay un camino de i a j y 0 si no existe tal camino. Entonces la conectividad V_i viene dada por V_i (suma de las columnas):

$$V_i = \sum_j n_{ij} \quad (1)$$

Esta conectividad es el parámetro de análisis de redes conocido como grado de salida.

La crucialidad de la asignatura i , denotada C_i , se define de la siguiente manera:

$$C_i = V_i + L_i \quad (2)$$

Para el currículo de cada programa calculamos su complejidad definida como la suma de crucialidad de todas las asignaturas dentro del currículo, S :

$$S_i = \sum_{i=1}^n C_i \quad (3)$$

donde n es el número total de asignaturas del currículo.

En (Slim et al., 2014a) se proponen otros indicadores en el contexto de que los planes de estudios compartan asignaturas, para evaluar la complejidad de los planes de estudios, pero no son relevantes en el presente trabajo, porque no estamos evaluando diferentes planes de estudios, y en la UPV las asignaturas son diferentes para cada plan de estudios.

En (Fjallstrom et al., 2019) se propone representar los planes de estudios mediante matrices y grafos de Asignaturas-Conceptos (*Courses-Concepts-Matrix*, CCM; *Courses-Concepts-Graphs*, CCG). En su forma más simple, una CCM es una tabla que recoge en sus columnas las asignaturas del programa y en filas los contenidos del programa. El valor del elemento (k, j) sirve para cuantificar qué tan relevante es el concepto k para la asignatura j en una escala predefinida. Estas valoraciones pueden proceder de profesores y/o estudiantes. Esta CCM se puede convertir en un gráfico bipartito ponderado no dirigido, denominado Grafo de Conceptos-Asignaturas (en adelante CCG). Los dos conjuntos de nodos en este gráfico corresponden a las asignaturas y a los conceptos del programa. Cada elemento (k, j) -ésimo en la CCM corresponde entonces al peso del arco entre el nodo de concepto k y el nodo de la asignatura j . Sea CCG el grafo $G = \{V, E\}$, donde $V = \{1, \dots, S\}$ es el conjunto de los nodos que conforman el grado, y $E \subseteq V \times V$ es el conjunto de aristas entre los nodos. Cada arista $(i, j) \in E$ tiene asociado un peso de la arista $w_{ij} \geq 0$. Este grafo es estático, no varía en el tiempo, y no dirigido, es decir, $(i, j) \in E \Leftrightarrow (j, i) \in E$, $w_{ij} = w_{ji}$. El conjunto de vecinos de un nodo i se define como $N_i := \{j \mid (i, j) \in E\}$. Además, V es bipartito, esto es, $V = V_{\text{cursos}} \cup V_{\text{conceptos}}$, y si la arista $(i, j) \in E$ entonces $i \in V_{\text{cursos}}$ y $j \in V_{\text{conceptos}}$ o viceversa.

Una vez obtenido el gráfico, estos autores reinterpretan los índices de centralidad teóricos clásico de los grafos o redes, en términos pedagógicos. Concretamente, propone usar los siguientes indicadores:

- Grado de centralidad de un nodo (*degree centrality*). Suma de los pesos de todas las aristas conectadas con el nodo. Interpretación pedagógica: indica a cuántas asignaturas

relevante un concepto. Formalmente este indicador se define:

$$d(i) = \sum_{j \in N_i} w_{ij} \quad (4)$$

- Centralidad basada en la proximidad (*closeness centrality*): la inversa de la distancia media entre un nodo y todos los nodos accesibles desde él. Interpretación pedagógica: indica cuán lejos está un concepto o asignatura de los otros conceptos o asignaturas. Si i es una asignatura, y tiene un valor alto de centralidad basada en la proximidad, significa que se centra en conceptos que se usan en otras asignaturas. Cuando i es un concepto, el índice indica cuan diversos son los conceptos relacionados. Cuando se usa para conceptos, los autores esperan que esta métrica sea alta para los conceptos que se enseñan o plantean en asignaturas cuyos contenidos abarcan todo el programa. En consecuencia, se espera que conceptos que sólo son impartidos por algunas asignaturas sean menos cercanos. Formalmente este indicador se define:

$$c(i) = \frac{1}{\sum_j dist(i,j)} \quad (5)$$

donde $dist(i,j)$ es la distancia entre el nodo i y el nodo j

- Centralidad basada en el autovector (*eigenvector centrality* o *eigencentrality*). Este índice asigna puntuaciones sobre la idea de que las conexiones a nodos con valores más elevados contribuyen a la puntuación de un nodo que las conexiones a nodos de menos puntuación con los mismos pesos. Interpretación pedagógica: mide cuan influyente es una asignatura o concepto en el programa. Estos autores creen que esta métrica puede aportar conocimiento significativo de la estructura del programa por dos motivos: 1) es probable que sea elevado para asignaturas que cubren conceptos que son relevantes en otras asignaturas; 2) es una medida más compleja que la simple suma de pesos y por tanto sea menos sensible a la recogida de datos. En resumen, esperan que complemente otras métricas más simples e intuitivas. Formalmente este indicador se define:

$$e(i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N(i)} e(j) = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N(i)} w_{ij} e(j) \quad (6)$$

donde λ es el autovalor máximo de la matrix de adyacencia

- Centralidad basada en PageRank (*PageRank centrality*). Es una adaptación de la centralidad basada en el autovector (anterior), que asigna diferentes factores de escala a las aristas. Su interpretación pedagógica sería similar a la centralidad basada en el autovector. Formalmente este indicador se define:

$$p(i) = \alpha \sum_{j \in N(i)} w_{ij} \frac{p(j)}{\sum_{k \in N_j} w_{jk}} + \frac{1 - \alpha}{N} \quad (7)$$

donde el factor de atenuación $\alpha \in (0,1)$

- Centralidad basada en la intermediación (*Betweenness centrality*). Mide cuan a menudo un nodo actúa como puente en los caminos más cortos entre otros dos nodos cualesquiera, o la fracción de caminos más cortos que pasan por ese nodo. Un nodo con un valor elevado indica que es un nodo clave en la estructura y flujo de información en la red. En cuanto a su interpretación pedagógica, estos autores indican que tiene una importancia limitada en el modelo CCG porque se trata de un modelo bipartito, y el índice no discrimina entre diferentes nodos. Formalmente este indicador se define:

$$b(i) = \sum_{j \neq i, k \in V} \frac{\sigma_{jk}(i)}{\sigma_{jk}}$$

donde σ_{jk} es el número de caminos más cortos entre j y k ; y $\sigma_{jk}(i)$ es el número de ellos que pasan por i (8)

Otras fuentes de referencia sobre el Análisis de Redes Sociales que se pueden consultar para ampliar en indicadores son (Scott & Carrington, 2011; Wasserman & Faust, 2013).

3. Caso de estudio

El plan de estudios del título universitario de Grado en Ingeniería Química (GIQ) de la UPV se imparte en dos centros de la UPV, la ETSII y la Escuela Politécnica Superior de Alcoy (EPSA), bajo la misma memoria de verificación (Universitat Politècnica de València, 2016). Requiere superar un total de 240 créditos ECTS (European Credit Transfer System), distribuidos en cuatro cursos (ocho semestres) de 60 créditos. En este plan de estudios las enseñanzas se estructuran en módulos, los módulos a su vez se desglosan en materias, y estas, en asignaturas. Concretamente, los módulos son:

1. Módulo de formación básica (60 ECTS)
2. Módulo común a la rama industrial (61.5 ECTS)
3. Módulo de tecnología específica (química industrial) (49.5 ECTS)
4. Módulo obligatorio de universidad (21 ECTS)
5. Módulo de itinerarios (36 ECTS)
6. Módulo Trabajo Fin de Grado (12 ECTS)

El módulo de itinerarios agrupa una serie de materias de carácter optativo, pudiendo elegir el alumno entre tres itinerarios posibles. El itinerario 1 se imparte en la ETSII y los itinerarios 2 y 3 en la EPSA. En este trabajo aplicaremos las propuestas anteriores al plan de estudios particular de la ETSII. Dentro del Itinerario 1, se propone una materia denominada Menciones, en las que los estudiantes pueden elegir entre cuatro menciones: 1) Recursos y sostenibilidad, 2) Procesos industriales, 3) Diseño y seguridad industrial, 4) Generalista. Las tres primeras menciones están orientadas a los estudiantes que quieren acceder directamente al mercado profesional. La mención Generalista ofrece al estudiante una formación encaminada a su continuidad en Máster Universitario en Ingeniería Química. En la ETSII, durante el curso 2021-2022 se han ofertado 85 asignaturas (Universitat Politècnica de València, 2022). En el plan de estudios se establecen los contenidos de las materias, no el contenido de las asignaturas. Estos contenidos deben impartirse en las asignaturas de la materia, que pueden estar en el mismo semestre o en diferentes semestres.

Para conocer los contenidos de las asignaturas, hay que consultar las guías docentes de las asignaturas. Estas guías docentes se elaboran cada año por los profesores de la asignatura y son aprobadas por la Entidad Responsable del Título (ERT), que en nuestro caso de aplicación es la ETSII.

Descartando las asignaturas de idiomas, de intercambio y alguna asignatura ofertada únicamente en inglés, quedan 51 asignaturas (Tabla 1) para elaborar el modelo en red.

En lo que respecta a requisitos de las asignaturas, a diferencia de la UNM, en el plan de estudios de GIQ no hay establecidos unos requisitos entre asignaturas. En las guías docentes se pueden indicar conocimientos y asignaturas recomendados. En las instrucciones de

complimentación de las guías docentes se indica a los profesores que deben incorporar por una parte asignaturas cuya formación es indispensable para cursar la asignatura y, por otra parte, conocimientos concretos que son de especial interés o de los que se va a hacer uso amplio en la asignatura. En el caso de las guías docentes estudiadas en la mayoría se indican asignaturas, en algunas se indican conocimientos de asignaturas concretas, y en otras se indican conocimientos sin especificar asignaturas. También hay algunas asignaturas que indican que no se requieren conocimientos previos y otras que no indican nada.

Para nuestro caso de estudio, se ha considerado que las asignaturas recomendadas equivalen a requisitos. Cuando se indicaban únicamente conocimientos recomendados, se ha seleccionado la asignatura que según su guía docente mejor encajaba en dichas recomendaciones.

Por otro lado, la UPV establece unas restricciones de matrícula y avance en los estudios (Normativa Progreso y Permanencia En Titulaciones Oficiales de La Universitat Politècnica de València, 2020). En esta normativa se distingue entre los alumnos con dedicación a tiempo completo o a tiempo parcial. Para la elaboración del modelo en red, nos vamos a centrar en la situación de un estudiante a tiempo completo. Para estos alumnos, se establece una matrícula mínima de 40 créditos (o todos los créditos pendientes para finalizar sus estudios, cuando estos sean menos de 40). Esta normativa establece las siguientes condiciones generales de Progreso en los estudios de Grado:

- Para hacer efectiva la matrícula en el segundo curso, será preciso haber superado al menos 39 créditos del primer curso de la titulación.
- El máximo número de créditos de matrícula anual, excluido el Trabajo Final de Grado (TFG), será de 60.
- Para matricularse de alguna asignatura ubicada en un determinado curso, será necesario hacer efectiva la matrícula en todas las asignaturas pendientes de superar ubicadas en el curso anterior.

Estas restricciones pueden considerarse condiciones de requisitos adicionales dónde, las asignaturas del semestre (x-3) son requisitos de las asignaturas del semestre x, excepto para el último semestre la condición será (x-4) para permitir la matrícula del TFG.

Adicionalmente, podría considerarse que la propia temporalización del plan de estudios es en sí mismo una expresión de requisitos entre asignaturas: las asignaturas de un semestre son asignaturas recomendadas del siguiente semestre.

Tabla 1: Asignaturas modelo en red

Código asignatura	Nombre	Semestre
12260	Estadística	2
12261	Matemáticas II	2
12262	Matemáticas I	1
12265	Química	1
12266	Química-Física	3
12267	Informática	2
12268	Expresión Gráfica	1
12269	Empresa y Economía industrial	2
12271	Control e instrumentación de procesos químicos I	6
12272	Control e instrumentación de procesos químicos II	7

26th International Congress on Project Management and Engineering
Terrassa, 5th-8th July 2022

Código asignatura	Nombre	Semestre
12273	Ampliación de Ciencia de Materiales	7
12274	Fundamentos de Máquinas y Resistencia de Materiales	5
12275	Ciencia de materiales	5
12276	Termodinámica	3
12277	Termodinámica química y Transmisión de calor	4
12278	Mecánica de fluidos	4
12279	Tecnología del medio ambiente	6
12280	Proyectos de Ingeniería Química	7
12281	Organización de empresas y Sistemas de Producción	6
12282	Bases de la Ingeniería Química	3
12283	Tecnología de Bioprocesos	6
12284	Transferencia de materia	4
12285	Operaciones de separación	5
12286	Cinética química y Catálisis	4
12287	Reactores químicos	5
12288	Procesos industriales de Ingeniería Química	7
12289	Análisis y simulación de procesos	6
12290	Experimentación en Ingeniería Química I	4
12291	Experimentación en Ingeniería Química II	5
12292	Experimentación en Ingeniería Química III	6
12293	Química orgánica	3
12294	Experimentación en análisis químico	3
12295	Métodos de cálculo en Ingeniería Química	3
12297	Calor y Frío industrial	5
12298	Máquinas de fluidos	7
12309	Fuentes de energía	8
12310	Optimización del consumo energético	8
12311	Tecnología Química nuclear	8
12313	Control de contaminantes en la industria	8
12315	Ingeniería de los procesos electroquímicos	8
12316	Operaciones y procesos unitarios en la industria de alimentos	8
12318	Procesos de fabricación de los materiales de construcción	8
12323	Diseño de plantas químicas asistido por ordenador	8
12325	Seguridad industrial	8
12326	Construcción y arquitectura industrial	8
13963	Física	1
13985	Ampliación de Física	2

Código asignatura	Nombre	Semestre
13988	Análisis y determinación estructural en Química Orgánica	7
13989	Sistemas eléctricos y electrónicos	4
14415	Control y mejora de la calidad en la ingeniería química	8
14667	Internet y Servicios en Red	8

Partiendo de las recomendaciones de asignaturas de las guías docentes, se obtiene el modelo que se muestra en la Tabla 2, donde si la celda es 1 significa que la asignatura de la fila es recomendada en la guía docente de la asignatura de la columna.

Al intentar obtener el factor de retardo, se vio que no se podía obtener porque la red obtenida no era un grafo dirigido acíclico. Ante este problema, se modelizó la red usando la técnica del camino crítico (CPM) y tras analizar las relaciones se identificaron las siguientes circunstancias:

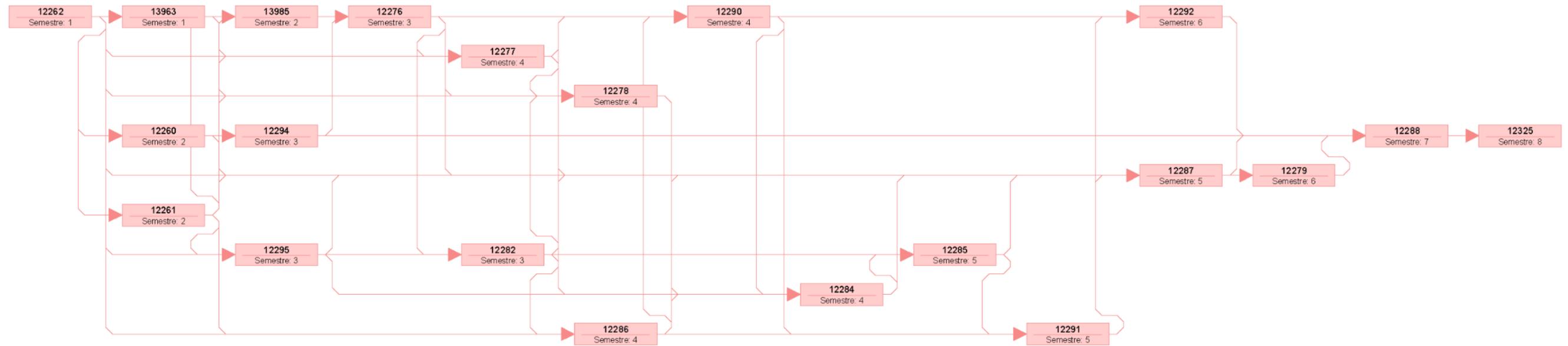
1. Hay 13 asignaturas que recomiendan otras asignaturas que se imparten simultáneamente, con un total de 24 relaciones.
2. Hay 4 parejas de asignaturas que se recomiendan entre sí, estableciendo un bucle, y que se imparten simultáneamente:
 - Las asignaturas 12284-Transferencia de materia y 12290-Experimentación en Ingeniería Química I, semestre 4.
 - Las asignaturas 12287-Reactores químicos y 12291-Experimentación en Ingeniería Química II, semestre 5.
 - Las asignaturas 12271-Control e instrumentación de procesos químicos I y 12289-Análisis y simulación de procesos, semestre 6.
 - Las asignaturas 12289-Análisis y simulación de procesos y 12292-Experimentación en Ingeniería Química III, semestre 6.
3. Las asignaturas 12287-Reactores químicos, del semestre 5, y 12289-Análisis y simulación de procesos, semestre 6, se recomiendan entre sí. Además de establecer un bucle, se recomienda haber cursado una asignatura de un semestre posterior.
4. La asignatura 12284-Transferencia de materia, del semestre 4, recomienda la asignatura 12297-Calor y Frío industrial, del semestre 5, que es de un semestre posterior.
5. La asignatura 12287-Reactores químicos, del semestre 5, recomienda la asignatura 12292-Experimentación en Ingeniería Química III, del semestre 6, que es de un semestre posterior.

Puede llegar a ser entendible que asignaturas simultáneas se recomienden entre sí, para que los alumnos que no se matriculen de cursos completos, tengan la precaución de matricularse de ambas. Si la recomendación es recíproca, se producen bucles en la red que dificultan obtener algunos indicadores. Por el contrario, no parece razonable que una asignatura recomiende haber cursado asignaturas de semestres posteriores. Así pues, se procedió a eliminar las relaciones de recomendaciones de asignaturas de futuros semestres, obteniendo el modelo 2, que aún conserva los bucles por las asignaturas que se recomiendan entre sí.

Figura 2: Modelo 1. Red obtenida de la información de las guías docentes

Semestre	1				2				3				4				5				6				7				8																						
Código	12262	12265	12268	13963	12260	12261	12267	12269	13985	12266	12276	12282	12293	12294	12295	12277	12278	12284	12286	12290	13989	12274	12275	12285	12287	12291	12297	12271	12279	12281	12283	12289	12292	12272	12273	12280	12288	12298	13988	12309	12310	12311	12313	12315	12316	12318	12323	12325	12326	14415	14667
1			1		1	1			1	1	1	1		1	1	1	1		1		1								1				1					1													
2									1		1			1	1		1		1		1				1								1											1							
3											1	1	1			1	1	1	1	1					1	1		1	1				1					1	1		1	1									
4																	1	1	1	1					1	1							1											1							
5																										1							1																		
6																									1	1		1	1			1	1																		
7																																																			
8																																																			

Figura 3: Modelo 2. Caminos críticos método CPM



4. Resultados

Para obtener los resultados se han utilizado los programas UCINET versión 6.688 (Borgatti, S.P.; Everett, M.G.; Freeman, 2002), Microsoft Project versión Professional 2019 y R con la librería igraph 1.2.11.

Para el cálculo de los caminos más largos de los nodos, se procedió a transformar el modelo 2 en una red CPM convirtiendo las relaciones entre tareas simultáneas en relaciones Comienzo-Comienzo, obteniendo el conjunto de caminos críticos mostrado en la Figura 2. Se obtuvo que el camino más largo es de 8 asignaturas, y el conjunto de caminos críticos engloba a asignaturas de todos los semestres. El parámetro Factor de retardo (L_i) se ha calculado restando en cada asignatura su holgura total al camino más largo de la red (8).

El resto de valores se han obtenido del programa UCINET, salvo la centralidad PageRank obtenida con R. UCINET recomienda usar los indicadores de Centralidad Beta para modelos no simétricos (como el nuestro) en lugar de la Centralidad basada en el autovector. La Centralidad Beta también obtiene una centralidad para cada vértice en función de la centralidad de los vértices a los que está conectado.

Figura 4: Indicadores modelo 2

Semestre	Código POD	Factor de retardo (L _i)	Conectividad (V _i) Centralidad salida	Crucialidad (C _i)	Centralidad entrada	Centralidad beta entrada	Centralidad beta salida	Centralidad PageRank	Centralidad intermediación
1	12262	8	14	22	0	84.962.77	0.0	0.00889	0.0
1	12265	7	9	16	0	29.823.18	0.0	0.00889	0.0
1	12268	2	1	3	0	1.00	0.0	0.00889	0.0
1	13963	8	6	14	1	21.740.46	1.0	0.00943	1.0
2	12260	8	3	11	1	2.168.01	1.0	0.00943	1.5
2	12261	8	11	19	1	33.202.68	1.0	0.00943	1.2
2	12267	7	1	8	0	6.715.99	0.0	0.00889	0.0
2	12269	1	0	1	0	0.00	0.0	0.00889	0.0
2	13985	8	2	10	3	9.824.48	4.23	0.0115	1.0
3	12266	7	6	13	2	15.504.07	2.0	0.01027	4.833
3	12276	8	9	17	5	15.972.97	8.831	0.01723	47.303
3	12282	8	8	16	4	11.551.32	12.883	0.01553	39.311
3	12293	7	3	10	2	1.325.44	3.23	0.01119	4.0
3	12294	8	2	10	4	2.149.51	7.831	0.01703	22.2
3	12295	8	5	13	3	10.919.68	3.615	0.01772	24.819
4	12277	8	7	15	5	7.184.67	11.66	0.01397	19.789
4	12278	8	2	10	6	2.360.70	27.754	0.01647	10.617
4	12284	8	4	12	7	3.835.64	123.102	0.03393	50.883
4	12286	8	7	15	5	6.340.50	14.767	0.01411	17.222
4	12290	8	3	11	6	3.491.20	116.121	0.03003	47.103
4	13989	3	0	3	3	0.00	6.216	0.01505	0.0
5	12274	4	1	5	2	1.00	3.23	0.01096	3.0
5	12275	3	2	5	0	2.62	0.0	0.00889	0.0
5	12285	8	5	13	2	1.368.53	85.624	0.01775	29.417
5	12287	8	7	15	10	1.371.15	326.6	0.04128	98.056
5	12291	8	2	10	4	1.222.75	337.983	0.02714	12.339
5	12297	6	1	7	2	1.00	14.601	0.01222	0.0
6	12271	7	2	9	6	378.58	64.227.551	0.05734	23.667
6	12279	8	3	11	4	3.62	265.417	0.01941	44.167
6	12281	2	1	3	0	1.00	0.0	0.00889	0.0
6	12283	6	0	6	4	0.00	297.545	0.02448	0.0
6	12289	7	2	9	6	612.38	64.226.371	0.05733	11.575
6	12292	8	4	12	3	614.00	39.777.855	0.0533	23.933
7	12272	7	0	7	1	0.00	39.497.336	0.03326	0.0
7	12273	3	1	4	2	1.00	2.0	0.01351	1.0
7	12280	7	0	7	2	0.00	165.216	0.02195	0.0
7	12288	8	1	9	6	1.00	24.838.006	0.04198	14.067
7	12296	5	0	5	4	0.00	22.297	0.0185	0.0
7	13988	3	0	3	1	0.00	2.986	0.01206	0.0
8	12309	4	0	4	1	0.00	6.431	0.01052	0.0
8	12310	6	0	6	3	0.00	24.58	0.0226	0.0
8	12311	1	0	1	0	0.00	0.0	0.00889	0.0
8	12313	7	0	7	1	0.00	164.216	0.01439	0.0
8	12315	6	0	6	5	0.00	222.197	0.01943	0.0
8	12316	6	0	6	1	0.00	53.654	0.01191	0.0
8	12318	3	0	3	2	0.00	3.23	0.02416	0.0
8	12323	1	0	1	0	0.00	0.0	0.00889	0.0
8	12325	8	0	8	2	0.00	39.737.125	0.0559	0.0
8	12326	4	0	4	2	0.00	3.986	0.02577	0.0
8	14415	3	0	3	1	0.00	1.615	0.01157	0.0
8	14667	1	0	1	0	0.00	0.0	0.00889	0.0

De los resultados obtenidos se puede ver que:

- Hay cuatro asignaturas aisladas de las 51.
- Las asignaturas con mayor crucialidad son de los primeros semestres. Siendo las 5 más cruciales: Matemáticas I (12262), Matemáticas II (12261), Termodinámica (12276), Química (12265), Bases de la Ingeniería Química (12282). De estas Química es la única que no es tarea crítica en el modelo CPM.

Respecto a las asignaturas con mayor importancia teniendo en cuenta las relevancias de las asignaturas con las que están relacionadas, vemos que se desplaza la relevancia desde los primeros semestres hacia los semestres centrales, destacando las asignaturas del semestre 6:

- Las cinco asignaturas con mayor Centralidad Beta de Salida: Control e instrumentación de procesos químicos I (12271), Análisis y simulación de procesos (12289), Experimentación en Ingeniería Química III (12292), Seguridad industrial (12325), Control e instrumentación de procesos químicos II (12272).
- Las cinco asignaturas con mayor Centralidad PageRank: Control e instrumentación de procesos químicos I (12271), Análisis y simulación de procesos (12289), Seguridad industrial (12325), Experimentación en Ingeniería Química III (12292), Procesos industriales de Ingeniería Química (12288).
- Las cinco asignaturas con mayor Centralidad de Intermediación: Reactores químicos (12287), Transferencia de materia (12284), Termodinámica (12276), Experimentación en Ingeniería Química I (12290), Tecnología del medio ambiente (12279).

De todas estas cabe destacar el caso de Seguridad industrial (12325), optativa del último semestre de la titulación.

5. Conclusiones

La modelización en red de los requisitos entre asignaturas, tanto en modelos de ARS como en red CPM, se ha mostrado útil en la evaluación de un plan de estudios universitario. Y por tanto, en respuesta a la primera pregunta de investigación, sí se pueden establecer modelos similares

En relación con la segunda pregunta de investigación, desde el punto de vista procedimental y de publicidad de la información del plan de estudios, se ha identificado que ni la ETSII ni la web del vicerrectorado correspondiente de la UPV, tienen publicado el plan de estudios completo y actualizado. Ha sido necesario ir visitando y contrastando la información en varias páginas web y documentos que sí están publicados.

En relación con la tercera pregunta de investigación, empezando desde el punto de vista cualitativo, es evidente el fruto de modelizar en red las restricciones de las asignaturas. Con el simple hecho de haber identificado requisitos de asignaturas futuras, o bien se identifican errores en la temporalización del plan de estudios, o bien se identifican errores en las propuestas de conocimientos y requisitos de las asignaturas.

Desde el punto de vista cuantitativo, queremos resaltar que los indicadores de ARS no indican de por sí la importancia de una asignatura en el plan de estudios. Por ejemplo, en base a los parámetros relacionados con la conectividad de entrada (número de asignaturas que son requisitos para cursar una asignatura), las asignaturas de primer semestre serían irrelevantes. Lo mismo con las asignaturas de último semestre que no son requisitos de ninguna asignatura si usamos parámetros relacionados con las salidas. Además, asignaturas transversales a la rama de conocimientos del plan de estudios, tendrán pocos o ningún requisito y seguramente será requisito de pocas o ninguna asignatura, pero es fundamental que el alumno reciba esta formación.

Lo que sí podemos obtener de estos resultados cuantitativos es hasta qué punto una asignatura puede interrumpir o frenar el avance del alumno. Con los indicadores temporalizados, se puede identificar si se da la circunstancia de que coincidan temporalmente varias asignaturas bloqueantes o relevantes en el tiempo, y ayudar en la mejora del diseño del plan de estudios.

También puede ser interesante que los alumnos conozcan esta información de cara a afrontar sus matrículas, especialmente en el caso de alumnos con matriculación a tiempo parcial.

En el modelo estudiado únicamente se han incluido las relaciones de requisitos indicados en las guías docentes de las asignaturas. En futuros trabajos debería estudiarse como influyen en los parámetros incluir los requisitos implícitos por la propia secuenciación de asignaturas en el plan de estudios, y/o la normativa de progreso y permanencia.

También hay que identificar en futuros trabajos cuáles de los múltiples parámetros de ARS son los más adecuados en las redes de asignaturas de planes de estudios universitarios.

Referencias

- Borgatti, S.P.; Everett, M.G.; Freeman, L. C. (2002). *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis* (6.6888). Harvard: Analytic Technologies.
- Fjallstrom, E., Forsberg, C., Trulsson, F., Knorn, S., Staffas, K., Varagnolo, D., & Wrigstad, T. (2019). Courses-concepts-graphs as a tool to measure the importance of concepts in university programmes. *2019 18th European Control Conference, ECC 2019*, 3076–3083. <https://doi.org/10.23919/ECC.2019.8795910>
- Scott, J., & Carrington, P. J. (Eds.). (2011). *The SAGE Handbook of Social Network Analysis*. SAGE Publications Ltd.
- Slim, A., Kozlick, J., Heileman, G. L., & Abdallah, C. T. (2014a). The Complexity of University Curricula According to Course Cruciality. *2014 Eighth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, 242–248. <https://doi.org/10.1109/CISIS.2014.34>
- Slim, A., Kozlick, J., Heileman, G. L., Wigdahl, J., & Abdallah, C. T. (2014b). Network analysis of university courses. *WWW 2014 Companion - Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web*, 713–718. <https://doi.org/10.1145/2567948.2579360>
- The University of New Mexico. (2022). *Chemical Process Engineering, BS. Degree Plan*. [consultado 5 de abril de 2022] <https://degrees.unm.edu/units/9065/periods/108/plans>
- Universitat Politècnica de València. (2016). *Modificación del título del Grado en Ingeniería Química de la Universitat Politècnica de València*. [consultado 5 de abril de 2022] <http://www.upv.es/entidades/AGT/infoweb/aeot/info/739727normalc.html>
- Normativa Progreso y Permanencia en Titulaciones Oficiales de la Universitat Politècnica de València, 66 (2020). <http://www.upv.es/entidades/SA/ciclos/528837normalc.html>
- Universitat Politècnica de València. (2022). *Asignaturas Grado Ingeniería Química Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial Curso 2021-2022*. [consultado 5 de abril de 2022] https://www.upv.es/titulaciones/GIQ/menu_1014755c.html
- Wasserman, S., & Faust, K. (2013). *Análisis de redes sociales: métodos y aplicaciones*. Centro de Investigaciones Sociológicas CIS.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

