

# Jerarquización de competencias mediante diseño, depuración y análisis de la matriz de Morganov - Heredia



ISSN 1870-9095

Jesús Diego Tuero-O'Donnell Zulaica<sup>1</sup>, Juan Carlos López Mejía<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciencias Básicas, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería, Carrera 6#97A-99, Montería, Colombia.

E-mail: jesustuero@hotmail.com

(Recibido el 29 de julio de 2024, aceptado el 28 de agosto de 2024)

## Resumen

Programar los currículos universitarios con una adecuada selección y secuencia de las competencias académicas resulta clave para conseguir cumplir con los resultados de aprendizaje esperados. Este trabajo muestra cómo realizar este proceso, implementando una metodología enfocada hacia la obtención y optimización de una matriz de Morganov-Heredia de prerrequisitos entre competencias, con la que descubrir inconsistencias y redundancias que no son fácilmente advertidas cuando los diseños curriculares se realizan de manera menos metódica. Con el apoyo de la teoría de grafos, se ofrece una estrategia que evita este problema, facilitando el posterior proceso de jerarquización de competencias. La experiencia se puso en práctica para una asignatura de física en la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Los resultados dejaron ver la facilidad con la que se introducen prerrequisitos que no resultan necesarios, dispersando innecesariamente los objetivos en los que debe centrarse la asignatura.

**Palabras clave:** Matriz de Morganov – Heredia, competencias, teoría de grafos.

## Abstract

Programming university curricula with an adequate selection and sequence of academic competencies is key to achieve the expected learning outcomes. This work shows how to carry out this process, implementing a methodology focused on obtaining and optimizing a prerequisite Morganov-Heredia focused on obtaining and optimizing a Morganov-Heredia matrix of prerequisites among competencies, with which to discover inconsistencies and redundancies that are not easily noticed when curricular designs are carried out in a less methodical manner. With the support of graph theory, a strategy is offered that avoids this problem, facilitating the subsequent process of hierarchizing competencies. The experience was put into practice for a physics subject at the Universidad Pontificia Bolivariana, Montería. The results showed the ease with which prerequisites that are not necessary are introduced, unnecessarily dispersing the objectives on which the subject should be focused.

**Keywords:** Morganov-Heredia matrix, competences, Graph theory.

## I. INTRODUCCIÓN

El término competencia puede referirse a diferentes ámbitos y enfoques, desde los más generales, relacionados con el desenvolvimiento ciudadano y sus habilidades cognitivas asociadas, hasta los más científicos, relacionados con el mundo académico y la investigación [1]. En la actualidad, la mayoría de las instituciones académicas han adaptado sus programas a la formación en competencias y a modelos económicos neoliberales [2], supeditadas a las exigencias impuestas en la formación académica actual [3].

Este cambio de perspectiva, unido a la necesidad de una mayor uniformidad y mejora en los procesos de movilidad académica e internacionalización que se solicitaron desde finales del pasado siglo, en un contexto básicamente europeo [4, 5, 6], fue originando una serie de intentos por modificar el orden académico mundial, con vistas a conseguir una mejor adaptación de los planes de estudio de la educación superior a los perfiles laborales solicitados, mediante la

formación por competencias [7, 8]. Partiendo de la Declaración de Bolonia (19 de junio de 1999), origen del posterior Proceso de Bolonia, donde se estableció el denominado Espacio Europeo Común de Educación, sus propuestas influyeron decisivamente en el resto del mundo [9, 10], pero este cambio de planteamiento educativo cedió el protagonismo a los estudiantes, que adquirieron mayores responsabilidades en su formación: la dificultad de llevar a cabo esta transferencia es la que ha podido estar detrás de la fuerte oposición encontrada por muchos docentes, que siguen criticando el modelo [11], sobre todo los más veteranos, quizás, por la escasa capacitación recibida [12].

Volviendo al término de competencia, este fue definido desde el Marco Pedagógico de la Universidad de Deusto como: “eskuratutako ezaguera eta trebetasun multzoa, garapen eta jardun maila onera daramana” [el conjunto de conocimientos y habilidades adquiridos que conducen a un buen nivel de desarrollo y desempeño] [13, p. 28]. El mismo documento sirvió de referencia para que, desde el 2001, el denominado Proyecto Tuning [14] asumiese términos como

los de las competencias generales y específicas, así como la clasificación de las primeras en instrumentales, interpersonales y sistémicas. Dicho proyecto fue una propuesta que puso sobre la mesa el concepto de competencia, encuestándolo entre diferentes actores, buscando afirmaciones que mejor definieran los perfiles de las profesiones y ofreciendo esta información a la comunidad educativa.

El proyecto Tuning América Latina recogió el guante de su homólogo europeo entre las instituciones de América Latina, examinando puntos comunes en cuatro líneas de investigación: competencias, enfoques, créditos y calidad de programas [15, 16]. Dicho proyecto sondeó a académicos, estudiantes, empleadores y graduados del continente, con el objetivo de seleccionar las competencias específicas que deberían satisfacerse en los programas de estudio, y con el de ofrecer una serie de recomendaciones a las instituciones de educación superior, para llevar a cabo su desarrollo e implementación. Con relación a los estudios de Física, que abarcan lo fundamental de esta investigación, el denominado Informe Final presentó un total de 22 competencias específicas, clasificadas en tres categorías: laborales-sociales, cognitivas y metodológicas [17].

### A. Problema de Investigación

Sin embargo, esta propuesta dejó muchas preguntas abiertas, no solo en lo relativo a la propia conceptualización de la competencia [18] y al papel diferenciador de la misma, con respecto a la heterogeneidad de saberes y capacidades acumuladas con metodologías tradicionales [19], sino a la postura determinante por enfocar el perfil académico casi exclusivamente hacia un perfil profesional, resultando en estrategias académicas muy invasivas [20]. Además, el proyecto no consideró la manera de evaluación de dichas competencias, su jerarquización, las áreas concretas de las disciplinas con las que se deben vincular, tiempos de aprendizaje, métodos de implementación, etc., por lo que ha quedado mucha tarea por delante, traduciéndose esta en retos desafiantes por incorporar adecuadamente las competencias a las mallas curriculares [21].

En Colombia, ya desde la formación escolar, se ha detectado un fracaso encubierto con este tipo de formación, principalmente, al comparar los resultados de la pruebas PISA con los de otros países, comprobando que no se están satisfaciendo las competencias esperadas, desde los primeros años de colegio [22], desplazándose después el problema hacia la educación superior.

Se sabe desde hace tiempo que el diseño acertado del orden en el que se asimilan los conocimientos y habilidades constituye un factor determinante en el aprendizaje del estudiante [23], pero no existe una metodología consensuada que fundamente la organización de contenidos y competencias en la educación [24], debido a que uno de los inconvenientes que presenta la actual formación por competencias radica en la necesidad de que estas deban programarse por equipos docentes completos y conjuntados [25], al requerirse acuerdos generales para proponer las competencias adecuadas en cada asignatura o ciclo educativo, la prioridad de las mismas, así como los

prerrequisitos necesarios para satisfacerlas [26]. Sin embargo, en muchas instituciones, este trabajo colaborativo no es llevado a la práctica y la metodología no llega a fructificar, independientemente del nivel educativo y la asignatura [27].

### B. Antecedentes

Se encontraron investigaciones relacionadas con diseños sistemáticos de currículos, cursos, asignaturas y competencias, basadas en aplicaciones de la teoría de redes, teoría de grafos y sus técnicas matriciales asociadas [16, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38] que evitaban la improvisación que supone hacerlo sin seguir ningún método determinado. Sin embargo, en estos trabajos no se llegó a aprovechar todo el potencial matemático que ofrece la teoría de grafos y el cálculo matricial, al manejar, en algunas de estas investigaciones, matrices de prerrequisitos de competencias con inconsistencias y redundancias, que dificultan la posterior fase de jerarquización.

### C. Justificación

Incorporar un proceso sistemático de depuración de tales errores en la matriz de prerrequisitos entre competencias, no solo supone un método sencillo y novedoso, sino que sirve para sacar a la luz fallos en la fase del diseño curricular, permitiendo programar de forma más eficiente los contenidos de las asignaturas y semestres en los que deben presentarse.

Por todo ello, esta investigación se centró en el manejo de una metodología óptima y sistemática con la que realizar una adecuada selección y jerarquización de las competencias asociadas a una asignatura ubicada al final del ciclo de ciencias básicas, en una carrera de ingeniería, por la especial dificultad e importancia en la formación que suelen implicar los temas encontrados en la misma y las altas exigencias de razonamiento implicadas [39, 40, 41], demandando el cumplimiento de un importante conjunto de prerrequisitos, para poder culminar la asignatura con éxito.

Esta propuesta favorece la detección y eliminación de las deficiencias que se encuentran, en ocasiones, en los syllabus académicos [42], por el alto riesgo de introducción de errores operacionales durante la preparación curricular que, en último término, conducen a enseñanzas más deficientes [36], por lo que se contribuye en alcanzar las reformas que demanda la sociedad y la legislación vigente [43], mediante una adecuada y ordenada secuenciación de las competencias necesarias para apuntar al perfil de egreso esperado.

### D. Pregunta de investigación

Así, la investigación pretendió responder esta pregunta de investigación: ¿cuál es la secuencia de jerarquización óptima de las competencias previstas para la asignatura de Ondas y Física Moderna en la Universidad Pontificia Bolivariana?

### E. Objetivos

La actividad tuvo como objetivo general desarrollar un proceso de selección y jerarquización de los criterios de

competencia propuestos para la asignatura de Ondas y Física Moderna, perteneciente al 4º semestre de las carreras de ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería, a partir de la matriz de Morganov – Heredia y la aplicación de la teoría de grafos.

La elección de esta asignatura se debió a que se encuentra ubicada al final del periodo de ciclo básico, por lo que debió abarcar gran parte de las competencias programadas en la malla curricular, siendo óptima para estudiar cómo deben priorizarse las competencias, antes de llegar a ella y durante su aprendizaje.

Para alcanzar ese objetivo general, se plantearon los siguientes específicos:

-Seleccionar los criterios de competencia más relevantes, entre los propuestos en el mapa de capacidades humanas y competencias, vinculados con la asignatura de estudio, mediante consulta entre docentes del departamento.

-Expresar una matriz de prerrequisitos entre las competencias seleccionadas.

-Depurar la matriz, eliminando dependencias redundantes y posibles ciclos encontrados, apoyándose en la teoría de grafos y álgebra matricial.

-Ordenar los criterios de competencia, a partir de las relaciones expresadas en la matriz anterior.

## II. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

El presente trabajo recogió el espíritu dejado por el Proyecto Tuning América Latina, pero lo hizo partiendo de la propia malla curricular, perteneciente a la institución donde laboran los investigadores (Universidad Pontificia Bolivariana), y de los criterios de competencia propuestos, como representativos de los resultados de aprendizaje esperados [44, 45, 46]. La intención fue priorizarlos, después de haber seleccionado los más relevantes, para que, con la referencia del aprendizaje significativo de Ausubel [47], donde los conocimientos previos son fundamentales para construir sobre ellos los nuevos significados, llevar a cabo una jerarquización de las competencias, con el apoyo de la teoría basada en el análisis de contenido y priorización de necesidades, la teoría de grafos y su técnica algebraica asociada [48, 49], permitiendo detectar contradicciones entre las relaciones presentadas por las competencias en estudio, facilitando así la fase de jerarquización.

Se hizo uso del mapa de capacidades humanas y competencias, referente básico del que dispone la institución en la que se desarrolló la investigación, como guía en su Proyecto Educativo Institucional [50, 51]. La asignatura de Ondas y Física Moderna forma parte del ciclo básico, y las competencias se seleccionaron de forma que quedasen identificadas por los denominados criterios de competencia (actualmente, por el carácter multicampus de la institución y falta de homogeneidad en los planes de estudio, se está llevando a cabo una revisión de la formulación de todas las competencias, por ello, se prefirió, para este trabajo, considerar los criterios de competencia, como unidades de análisis).

Se procedió a encuestar a los compañeros del departamento de ciencias básicas, encargados del área de

física, para que, partiendo de las 15 competencias que aparecen en el mapa de capacidades humanas y competencias, las valorasen de 1.0 a 5.0, según:

- Importancia de la competencia.

- Grado de cumplimiento de la misma.

El proceso de jerarquización de competencias se llevó a cabo mediante la técnica de la matriz de Morganov – Heredia [52]. Esta matriz  $M$  se caracteriza por representar, en filas y columnas, las competencias a ordenar:

- El elemento  $M_{ij}$ , ubicado en la fila  $i$ , columna  $j$ , adquiere el valor 1 si la competencia  $i$  es necesaria (prerrequisito) para el cumplimiento de la competencia  $j$ ; y 0 en caso contrario.

- Se ponen 0's en la diagonal.

Por ello, una vez seleccionadas las competencias más relevantes, entre aquellas que obtuvieron una valoración promedio igual o superior a 4.0, resultó fundamental reflexionar sobre aquellas que debían ser prerrequisitos de otras, expresando estas dependencias en la matriz de Morganov – Heredia. Esta fase fue llevada a cabo a partir de las opiniones y resultados recogidos por los docentes del departamento.

Antes de comenzar con el proceso de jerarquización, se buscaron posibles ciclos cerrados de prerrequisitos entre competencias, es decir, trayectorias que comenzasen en una competencia y terminasen, después de implicar a otras intermedias, en la primera, proceso en el que se recurrió también a la teoría de grafos. La identificación de estos casos obligó a reconsiderar la imposición de dichos prerrequisitos, así como el contenido de la propia asignatura. Se siguió depurando la matriz, buscando dependencias redundantes entre pares de competencias, al aparecer de manera directa e indirecta, eliminando las primeras.

Las demostraciones algebraicas en la que se apoya la técnica de búsqueda de ciclos y caminos entre competencias se encuentra bien fundamentada en textos clásicos [53, 54] y más modernos [55, 56] de teoría de grafos, denominándose, genéricamente, matrices de adyacencia a las ahí manejadas.

En particular:

a) Para la detección de ciclos: las entradas de la diagonal en  $M^2, M^3, \dots, M^n$ , indicaron el número de caminos (ciclos) que comenzaban y terminaban en la competencia identificada en dicha diagonal, atravesando exactamente un número de competencias intermedias  $n - 1$ . Identificando las competencias involucradas en la aparición de ciclos, se debieron revisar y eliminar los prerrequisitos que los habían originado, formándose la matriz  $C$ .

b) Para detectar prerrequisitos indirectos: bastó con observar el valor de la entrada  $[C^n]_{ij}$ , la cual indicaba el número de caminos que llevaban desde la competencia  $i$  hacia la  $j$ , atravesando exactamente  $n - 1$  competencias intermedias. Las entradas distintas de 0 indicaban que existía una dependencia indirecta entre ambas competencias, por lo que no era coherente colocar en la matriz  $C$  una relación directa. Si así se había hecho, debía eliminarse tal prerrequisito, el cual ya se imponía, de manera implícita, mediante la relación indirecta. Por tanto, una vez corregidos todos los posibles ciclos encontrados, se calculó el número suficiente de potencias  $C^n$ , hasta conseguir llegar a la matriz nula (proceso que ocurre siempre, tras un número no muy grande de pasos), debido a que las relaciones indirectas

pueden implicar un número desconocido de competencias intermedias. Aunque algunos trabajos clásicos [57] proponen calcular la matriz de relaciones directas a partir de la expresión:

$$D = C - C^2, \tag{1}$$

resultó más conservador incluir todas las demás potencias de  $C$  encontradas, para asegurar que, en el caso de aparecer relaciones indirectas que involucrasen más de una competencia intermedia (proceso difícil de descubrir en la matriz original), se consiguiera detectarlas. Por eso, los autores propusieron calcular la matriz:

$$S = C - \sum_{i=2}^r C^i, \tag{2}$$

siendo  $r$  el menor índice natural con el que se consiguiera  $C^r = 0$ .

Finalmente, se propuso obtener la matriz definitiva de relaciones directas  $D$ , quedándose solo con las entradas que mantuvieron el valor  $S_{ij} = 1$ , colocando ceros en el resto.

Una vez obtenida dicha matriz, se fueron eliminando, como fila y columna, las denominadas competencias fuente (competencias que no tienen prerrequisitos, es decir, con todo 0's en la columna). Cada competencia eliminada se registró en un nivel de prioridad, colocando por encima el resto de

niveles, a medida que se fueron eliminando de la matriz. El procedimiento se repitió hasta que no quedaron vértices fuente. A continuación, se siguió el mismo procedimiento con aquellas competencias que presentaron solo un 1 en sus columnas; después las que tenían dos 1's, etc. Después, se realizó el grafo correspondiente a la matriz, colocando en los niveles más bajos las competencias más básicas.

Para el jerarquizado final, en cada nivel, se podía optar por plantear algún otro criterio que consiguiera romper las posibles igualdades encontradas, como el del consenso entre los investigadores, o analizar la información suministrada por la matriz de prerrequisitos acumulados:

$$R = \sum_{n=1}^r D^n, \tag{3}$$

que fue el adoptado en esta investigación.

### III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En la tabla I se muestran los 15 criterios de competencia seleccionados del mapa de capacidades y humanas y competencias, así como los resultados obtenidos, promediando las respuestas recibidas por los docentes participantes en la encuesta.

**TABLA I.** Valoraciones en importancia y cumplimiento de los criterios de competencias para la asignatura de Ondas y Física Moderna, a partir de las opiniones de los docentes encuestados. *Nota:* El rango de valoración fue propuesto de 1 (mínimo valor) a 5 (máximo valor).

Número Identificador	Criterio de Competencia	Importancia (sobre 5)	Relevancia (sobre 5)
1	Identificar variables, parámetros y sus respectivas restricciones, dentro del planteamiento de problemas formativos en ciencia e ingeniería	4.5	3.6
2	Interpretar y utilizar información en diferentes representaciones y formas de organización: simbólicas, numéricas y verbales; gráficas y tabulares, para dar respuesta a problemas formativos en ciencia e ingeniería	4.8	2.7
3	Argumentar con razonamiento lógico en situaciones concretas o abstractas en contextos formativos en ciencia e ingeniería	4.1	2.3
4	Proponer procedimientos para obtener soluciones en situaciones concretas o abstractas en contextos formativos de ciencia e ingeniería	4.4	2.9
5	Resolver problemas formativos de ciencias básicas e ingeniería, con base en un enunciado	3.6	4.8
6	Modelizar fenómenos en contextos formativos de ciencia e ingeniería	4.4	3.2
7	Usar herramientas computacionales para la solución de problemas formativos, matemáticos o físicos, en el contexto de la ciencia y la ingeniería.	4.0	3.3
8	Seguir procedimientos experimentales adecuados para resolver problemas formativos en el contexto de la ciencia y la ingeniería	3.6	4.4
9	Registrar adecuadamente resultados experimentales para obtener datos que permitan analizar fenómenos en el contexto de la ciencia y la ingeniería	3.7	4.6
10	Interpretar resultados experimentales para comprender fenómenos en el contexto de la ciencia y la ingeniería	4.2	4.3
11	Utilizar técnicas básicas de autoaprendizaje para resolver problemas en el contexto de la ciencia y la ingeniería	4.6	2.8

Número Identificador	Criterio de Competencia	Importancia (sobre 5)	Relevancia (sobre 5)
12	Indagar diversas fuentes de información que permitan la generación de ideas a partir de la utilización de TIC	4.1	3.0
13	Emplear diversas TIC en la exploración de temas o inquietudes investigativas	3.5	4.0
14	Tomar decisiones acordes con la finalidad o necesidad a resolver a partir del uso creativo de la tecnología	2.5	3.0
15	Emplear herramientas digitales de planificación a través de organizadores gráficos avanzados (mapas, tablas, esquemas)	2.5	4.5

Aunque, en último término, es deseable realizar el análisis sobre todas las competencias disponibles, se procedió a seleccionar aquellas que obtuvieron mayor valoración en importancia, adoptando el criterio de aceptar solo aquellas que alcanzaron un valor mayor o igual a 4.0, en ese criterio. En la figura 1 aparecen representadas a la derecha de la línea roja.

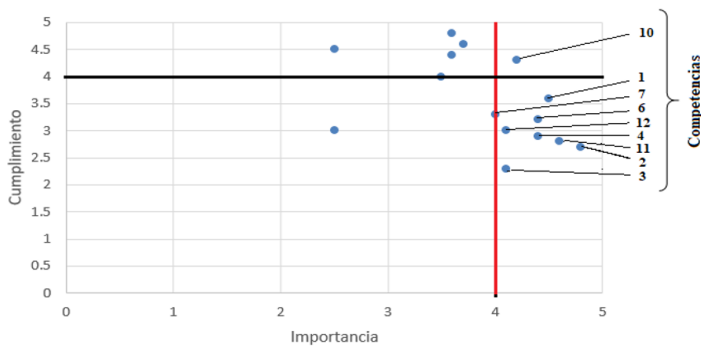


FIGURA 1. Distribución gráfica de criterios de competencias, según grado de importancia y cumplimiento otorgados.

En total, el criterio lo cumplieron nueve competencias, números: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11 y 12. Merece la pena indicar que todas estas, salvo la 10, no alcanzaron el mínimo 4.0 en valoración de cumplimiento, es decir, siendo muy importantes, no existió la sensación, entre los docentes consultados, de estar siendo desarrolladas efectivamente.

Teniendo en cuenta las opiniones recogidas en la encuesta, se plantearon entre los autores del trabajo las competencias que debían condicionar el cumplimiento de otras. Además, se forzó a que si  $M_{ij} = 1 \rightarrow M_{ji} = 0$ , es decir, a que no existieran pares de competencias en las que cada una fuese prerrequisito de la otra. En la tabla II, se muestra el resultado.

TABLA II. Matriz de Morganov – Heredia original, para las competencias más importantes (con valoración igual o mayor a 4.0 puntos).

Identificador de competencia	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_6$	$N_7$	$N_{10}$	$N_{11}$	$N_{12}$
$N_1$	0	0	0	1	0	1	0	0	0
$N_2$	0	0	0	0	1	1	0	0	0
$N_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Identificador de competencia	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_6$	$N_7$	$N_{10}$	$N_{11}$	$N_{12}$
$N_4$	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$N_6$	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$N_7$	0	0	1	0	0	0	0	0	1
$N_{10}$	0	0	1	1	0	0	0	0	0
$N_{11}$	0	1	0	0	0	0	0	0	1
$N_{12}$	1	1	1	0	1	0	1	0	0

Se comenzó el análisis de la matriz original  $M$ , buscando los posibles ciclos introducidos de manera errónea, comenzando por  $M^3$  (no podían existir en  $M^2$ ):

$$M^3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

En lo que sigue, teniendo en cuenta que cada fila o columna está identificada por el número de competencia correspondiente, se entenderá que la entrada  $M_{N_i, N_j}$  se corresponde con el elemento perteneciente a la fila de la competencia  $N_i$  y a la columna de la competencia  $N_j$ . Por ejemplo, la fila o columna séptima es la correspondiente a la competencia  $N_{10}$ .

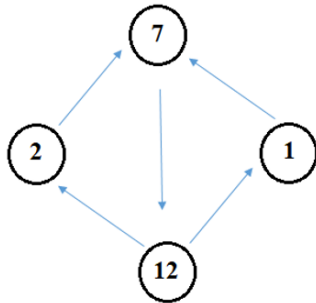
Aquí se detectó la presencia de cuatro competencias involucradas en, al menos, un ciclo, las números 1, 2, 7 y 12, debido a que los correspondientes elementos de la diagonal fueron distintos de cero (marcados en rojo en la ec. 4), significando que existían caminos cerrados de longitud  $n = 3$ , que los involucraban:

$$(M^3)_{N_1, N_1} = 1, (M^3)_{N_2, N_2} = 1, \quad (5)$$

$$(M^3)_{N_7, N_7} = 2, (M^3)_{N_{12}, N_{12}} = 2. \quad (6)$$

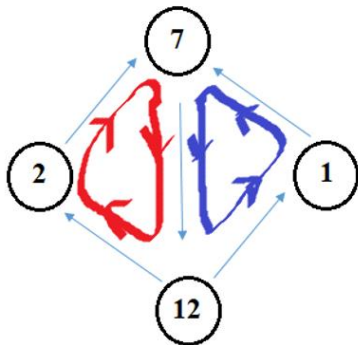
Debido a la inconsistencia de los prerrequisitos impuestos que originaron estos ciclos, los autores procedieron a revisarlos y proponer una solución. Para ello, se representó el

grafo dirigido (figura 2) que involucraba solo a esas competencias, para tener una visión más clara de lo ocurrido (Si la competencia  $a$  era prerequisite de la  $b$ , se dibujaba la flecha  $a \rightarrow b$ ).



**FIGURA 2.** Grafo dirigido con las relaciones de dependencia entre las competencias  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_7$  y  $N_{12}$ .

Con esta representación, se entendieron mejor los valores que aparecieron en la diagonal de  $M^3$ . Por ejemplo,  $(M^3)_{N_7, N_7} = 2$ , debido a que existían dos ciclos de longitud 3 (figura 3) que involucraban a esta competencia:  $7 \rightarrow 12 \rightarrow 1 \rightarrow 7$  y  $7 \rightarrow 12 \rightarrow 2 \rightarrow 7$ .



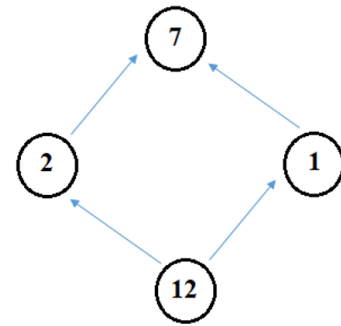
**FIGURA 3.** Representación de los dos ciclos que involucraban a la competencia  $N^{\circ}7$ .

Revisando los enunciados de las cuatro competencias, los autores consideraron que la  $N_7$  no debería haberse considerado prerequisite para la  $N_{12}$ :

-Criterio de Competencia  $N_7$ : usar herramientas computacionales para la solución de problemas formativos, matemáticos o físicos, en el contexto de la ciencia y la ingeniería.

-Criterio de competencia  $N_{12}$ : indagar diversas fuentes de información que permitan la generación de ideas a partir de la utilización de TIC.

Quizás, hubo mala interpretación entre las mismas, debiendo haber considerado que el hecho de ser capaz de poder examinar fuentes de información de distinta naturaleza puede servir para atesorar las habilidades necesarias para poder manejar, después, diferentes herramientas computacionales (y no al revés). Así, eliminando el prerequisite de la competencia 7, para satisfacer la 12 (figura 4), se rompieron ambos ciclos al mismo tiempo.



**FIGURA 4.** Grafo resultante de eliminación de la entrada  $M_{N_7, N_{12}}$ , rompiendo los ciclos encontrados.

Tras la asignación de  $M_{N_7, N_{12}} = 0$ , la matriz resultante  $C$  quedó:

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Se siguieron buscando ciclos de mayor longitud:

$$C^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$C^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

$$C^4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$C^5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Haber eliminado ese prerrequisito, se dejó en 0 todas las entradas de la diagonal de  $C^3$ , como ya se esperaba. Las potencias de índice mayor no reflejaron más ciclos, al no encontrarse valores distintos de 0 en las respectivas diagonales. De las anteriores matrices, se dedujo la existencia de varios prerrequisitos que también eran redundantes, al aparecer tanto en forma directa (como entradas iguales a 1 en  $C$ ), como indirecta (como entradas distintas de cero en alguna de las potencias de  $C$ ). Por ejemplo, ese fue el caso de  $C_{N_{12},N_{13}}$ , que presentó 2 caminos de longitud 2:  $(C^2)_{N_{12},N_3} = 2$ ; 5 caminos de longitud 3:  $(C^3)_{N_{12},N_3} = 5$ ; y 5 caminos de longitud 4:  $(C^4)_{N_{12},N_3} = 5$ ; junto con el camino directo  $(C)_{N_{12},N_3} = 1$ .

Se calculó así la matriz  $S$ , indicadora de relaciones directas:

$$S = C - \sum_{n=2}^4 C^n = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & -10 & -2 & -3 & -3 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & -6 & -2 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Finalmente, se dedujo la matriz de relaciones directas  $D$ , conservando solo las entradas que mantuvieron el valor 1:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Al comparar esta matriz final con la original  $M$ :

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

al margen de la eliminación del prerrequisito que generó dos ciclos ( $N_7 \rightarrow N_{12}$ ), también se observó que desaparecieron: ( $N_{10} \rightarrow N_3$ ;  $N_{11} \rightarrow N_2$ ;  $N_{12} \rightarrow N_6$ ; y  $N_{12} \rightarrow N_3$ ). Por tanto, la matriz resultante, de relaciones directas, con la identificación de sus competencias, resultó:

$$D = \begin{pmatrix} N_i & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_6 & N_7 & N_{10} & N_{11} & N_{12} \\ N_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ N_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ N_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_7 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{10} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ N_{12} & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

A continuación, se comenzó el proceso de jerarquización, eliminando las competencias con ceros en las columnas (competencias fuente): solo apareció la competencia  $N_{11}$ , resultando la matriz:

$$D_{[11]} = \begin{pmatrix} N_i & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_6 & N_7 & N_{10} & N_{12} \\ N_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ N_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ N_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_7 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{10} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{12} & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Seguidamente, se hizo lo mismo con la  $N_{12}$ , resultando la matriz:

$$D_{[11/12]} = \begin{pmatrix} N_i & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_6 & N_7 & N_{10} \\ N_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ N_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ N_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_7 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{10} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (17)$$

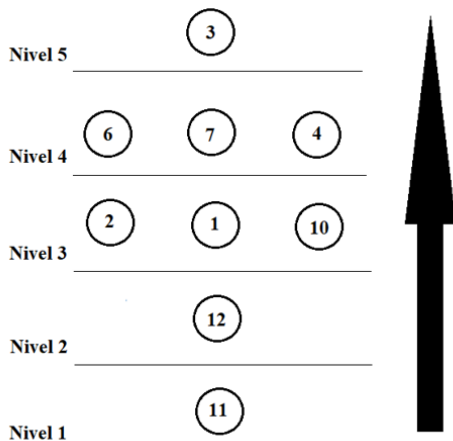
Seguidamente, se hizo lo mismo con las  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_{10}$ , resultando la matriz:

$$D_{[11/12/1:2:10]} = \begin{pmatrix} N_i & N_3 & N_4 & N_6 & N_7 \\ N_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ N_6 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ N_7 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Finalmente, se eliminaron las  $N_4$ ,  $N_6$  y  $N_7$ , resultando la matriz:

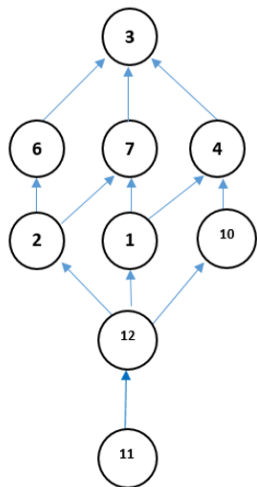
$$D_{[11/12/1:2:10/4:6:7]} = \begin{pmatrix} N_i & N_3 \\ N_3 & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

En la figura 5 se representa cómo quedaron los niveles, con la jerarquización anterior, desde el más básico, conformado por la competencia  $N_{11}$ , que es la primera que debe satisfacerse, hasta la más elevada, la  $N_3$ .



**FIGURA 5.** Distribución por niveles de las competencias seleccionadas, a partir del análisis de la matriz de Morganov – Heredia  $D$ .

A partir de esta fase, se decidió desplegar las relaciones de dependencia directa (figura 6), fijadas por la matriz, para observar la forma resultante del grafo dirigido.



**FIGURA 6.** Grafo dirigido, resultante de la matriz de Morganov – Heredia, de relaciones de dependencia directa entre las competencias analizadas.

La visualización del grafo indicó claramente que la primera competencia a satisfacer debía ser la 11, consistente en utilizar técnicas básicas de autoaprendizaje para resolver problemas en el contexto de la ciencia y la ingeniería,

mientras que a través de todas las demás, se alcanzaba la competencia más elevada, la número 3, consistente en argumentar con razonamiento lógico en situaciones concretas o abstractas en contextos formativos en ciencia e ingeniería.

La manera en la que se pudieron jerarquizar las competencias que se encontraban en un mismo nivel resultó más subjetiva, pudiendo haberlo hecho por consenso entre los investigadores. Sin embargo, se siguió una estrategia relacionada con la desarrollada por Ramírez et al. (2013), aunque con variaciones: como en el presente trabajo la matriz de Morganov – Heredia había sido limpiada de relaciones de dependencia redundantes (solo aparecían las directas), para esta segunda fase de jerarquización se consideró que se tenían que contabilizar las relaciones indirectas que aparecían en las potencias de  $D$ , para el cómputo total de 1's en cada columna, con el objetivo de romper las igualdades en cada nivel. Es importante recordar que la obtención de  $D$  fue necesaria para, precisamente, establecer, de inicio, una forma más coherente de separación inicial de competencias en niveles, debido a que si no se hubieran eliminado las relaciones redundantes y los ciclos que aparecían en la matriz original, se habría corrido el riesgo de proponer una escala de niveles inconsistente, que no habría reflejado la auténtica prioridad que se pretendía establecer.

Por tanto, se propuso hacer uso de las matrices  $D^2$ ,  $D^3$ , ..., para contabilizar las relaciones de dependencia indirectas entre competencias. Así, las matrices empleadas para este propósito fueron:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (20)$$

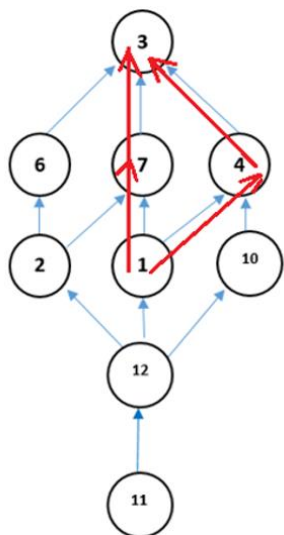
$$D^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$D^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (22)$$



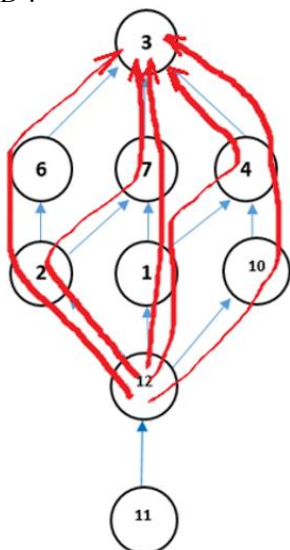
$$D^4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (23)$$

Relaciones indirectas, como la de la competencia 1 sobre la 3, afloraron en  $D^2$ :  $(D^2)_{N1,N3} = 2$ . Este 2 indicaba que existían dos relaciones indirectas, como se expone en la figura 7.



**FIGURA 7.** Relaciones de dependencia indirecta entre la competencia  $N_1$  y la  $N_3$ , pasando por solo una competencia intermedia (la 7 o la 4).

Similares conclusiones se pudieron deducir para el resto de potencias de la matriz. Por ejemplo, para encontrar relaciones de dependencia indirectas que atravesaban otras 2 competencias más (longitud de camino 3), bastó con analizar la matriz  $D^{2+1} = D^3$ .



**FIGURA 8.** Cinco relaciones de dependencia indirectas, entre la competencia 12 y la 3, que pasan por 2 competencias intermedias.

Sin observar el gráfico o analizando solo la matriz  $D$ , no habría sido nada evidente darse cuenta de que la competencia  $N_{12}$  influía en la competencia  $N_3$  indirectamente, por 5 caminos distintos, todos ellos, afectando a 2 competencias intermedias:  $(D^3)_{N12,N3} = 5$  (figura 8).

Por tanto, para darle el peso apropiado a todas estas relaciones (prerrequisitos), los autores propusieron hacer uso de la técnica de suma de entradas, no en la matriz de relaciones directas  $D$ , sino en la resultante  $R$ , de contabilizar todas las posibles relaciones indirectas. En este caso, bastó con llegar hasta  $D^4$ , porque no existían relaciones de mayor orden:

$$R = D + D^2 + D^3 + D^4, \quad (24)$$

resultando

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 5 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (25)$$

En la tabla III se muestran los resultados obtenidos, sumando los valores de cada columna de la matriz  $R$ .

**TABLA III.** Numero de trayectorias de prerrequisitos que culminan en cada competencia, partiendo de la matriz de Morganov – Heredia, limpiada de ciclos y relaciones redundantes.

Identificador de competencia	Número de trayectorias de prerrequisitos que culminan en la competencia
$N_1$	2
$N_2$	2
$N_3$	18
$N_4$	6
$N_6$	3
$N_7$	6
$N_{10}$	2
$N_{11}$	0
$N_{12}$	1

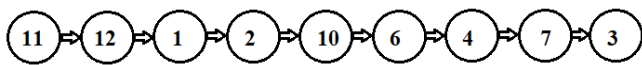
Las competencias  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_{10}$  mostraron el mismo número de trayectorias, pero entre las  $N_4$ ,  $N_6$  y  $N_7$ , se priorizó la  $N_6$ , al tener menos que las otras dos. Antes de llegar a buscar el consenso entre los autores, como último recurso, se pasó a computar el número de trayectorias que abría cada competencia, sumando, en este caso, las entradas de las filas, para intentar romper la igualdad encontrada todavía entre  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_{10}$ , así como entre  $N_4$  y  $N_7$ . En la tabla IV se exponen los resultados.

**TABLA IV.** Numero de trayectorias de prerrequisitos que abre cada competencia, partiendo de la matriz de Morganov – Heredia , limpiada de ciclos y relaciones redundantes.

Identificador de competencia	Número de trayectorias de prerrequisitos que abre la competencia
$N_1$	4
$N_2$	4
$N_3$	0
$N_4$	1
$N_6$	1
$N_7$	1
$N_{10}$	2
$N_{11}$	14
$N_{12}$	13

Como la  $N_{10}$  generó menos trayectorias de prerrequisitos que la  $N_1$  y  $N_2$ , se decidió que debía dejarse más adelante en la secuencia (adoptando un criterio opuesto al anterior: una competencia que abre muchos caminos debe asimilarse antes –es más básica– que otra que abre menos). No hubo forma de discriminar entre  $N_1$  y  $N_2$ , ni entre  $N_4$  y  $N_7$ .

Considerando todos los pasos anteriores, en la figura 9 se muestra la jerarquización final propuesta. En los casos en los que no se pudo romper la igualdad encontrada se optó por criterios personales entre los autores.



**FIGURA 9.** Propuesta de secuencia jerárquica final de las competencias.

#### IV. CONCLUSIONES

La secuencia en la que se plantean las competencias curriculares, en una asignatura o ciclo disciplinar, resulta clave para poder alcanzar eficientemente los resultados de aprendizaje esperados. Cuando se introducen inconsistencias o prerrequisitos redundantes, que ya van a ser satisfechos por otros caminos, se corre el riesgo de la dispersión en los contenidos de la enseñanza, al no direccionar adecuadamente el aprendizaje. Este trabajo muestra una técnica sistemática, fácil de programar e implementar, para detectar esos errores de diseño, haciendo más transparente el proceso de jerarquización.

Para ello, se toma como referencia el mapa de capacidades humanas y competencias de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería, y la asignatura de Ondas y Física moderna, ubicada en el tramo final del ciclo básico. Después de una consulta con docentes del departamento, se seleccionan aquellas más importantes y se sugieren los prerrequisitos entre las mismas, representándose en una matriz de Morganov – Heredia.

Apoyándose en la teoría de grafos y el análisis matricial, se propone un procedimiento de depuración de dicha matriz, para facilitar la posterior jeraquización: búsqueda de relaciones recursivas (ciclos) a evitar en el diseño curricular, así como eliminación de prerrequisitos redundantes, por estar estos ya considerados en otras relaciones de dependencia indirectas.

Durante la implementación del método, salen a la luz ciclos de prerrequisitos que deben eliminarse, así como gran cantidad de procesos redundantes, que también opacan a los que deben llevar un orden coherente, exigiendo un replanteamiento de los mismos.

Hechas algunas correcciones, se encuentra como competencia cima (aquella a la que apuntan las demás), la de argumentar con razonamiento lógico en situaciones concretas o abstractas en contextos formativos en ciencia e ingeniería. No es de extrañar que haya resultado así, puesto que esta habilidad está considerada una de las más exigentes entre las que conforman los niveles de pensamiento crítico.

Entre las competencias de primer nivel, es decir, las primeras que deben asimilarse y fortalecerse, para poder desarrollar las demás, resulta la correspondiente a la capacidad de autoaprendizaje, lo cual tampoco es de extrañar, debido a la fuerte exigencia que impone el mercado para que el profesional sepa reciclarse y asimilar nueva información en tiempos de cambio. Este proceso lo tiene que hacer en soledad el estudiante, siendo por tanto una de las competencias fundamentales que deben aparecer en cualquier programa, desde su primer semestre.

Esta propuesta metodológica, aún siendo fácil de sistematizar, exige que el equipo docente participante en el debate tenga la suficiente experiencia para identificar las verdaderas necesidades que demanda cada asignatura o ciclo de formación, y así seleccionar, de inicio, un conjunto de prerrequisitos acertados, que se prestarán a ser jerarquizados óptimamente con la técnica aquí presentada. Es por ello, que uno de los principales puntos débiles de esta estrategia radica en la insuficiente formación en la enseñanza y evaluación por competencias que suele presentarse entre el personal docente, factor este que limita la obtención de resultados que apunten hacia el perfil de egreso al que se aspira.

Es de esperar que las capacitaciones, puestas a disposición de la comunidad universitaria, junto con la técnica presentada en este trabajo, faciliten a docentes, coordinadores de área y directores de departamento la tarea de mejora de los syllabus y cartas descriptivas, volviéndolos más coherentes y apuntándolos hacia un cumplimiento óptimo de las demandas laborales, sin reducir la calidad académica y el rigor científico.

#### REFERENCIAS

[1] García Barros, B. S., Martínez Losada, C. R. y Rivadulla López, J, *Actividades de textos escolares. Su contribución al desarrollo de la competencia científica*, Enseñanza de las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas **39**, 219-238 (2021).  
 [2] López Castellano, F., *Neoliberalismo, cambio institucional y nueva cultura del profesorado universitario*.

XI Encuentro de la Asociación Ibérica de Historia del Pensamiento Económico (AIHPE) (Facultad de Economía de la Universidad de Barcelona, Barcelona, 2022).

[3] Benarroch, A. y Núñez, G., *Aprendizaje de competencias científicas versus aprendizaje de contenidos específicos. Una propuesta de evaluación*, Enseñanza de las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas **9**, 9-27 (2015).

[4] Neave, G. y Fustagueras, I., *Sobre la reconstrucción de la educación superior en Europa. Una mirada selectiva a una década, 1985 -1995*, Revista Española de Pedagogía **288**, 293-318 (1996).

[5] Teichler, U., *Internationalisation as a challenge for higher education in Europe*, Tertiary Education & Management **5**, 5-23 (1996).

[6] Salaburu, P., Moreno, M., Mees, L. y Pérez, J. I. *La universidad en la encrucijada: Europa y EEUU*, (Academia Europea de Ciencias y Artes, Madrid, 2007).

[7] Saravia Domínguez, H., Saavedra Villar, P., Felices Vizarrata, L. M., Campos Espinoza, M. M. y Janampa Urbano, J. R., *La aplicación del diseño curricular por competencias en la Educación Superior: Una revisión sistemática 2019-2023*, Comuni@cción, Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo **15**, 92-104 (2024).

[8] Vargas Sánchez, M. G. y Lara Lojano, D. G., *La importancia de la formación por competencias para el ámbito laboral*, Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar **7**, 9608-9630 (2023).

[9] King, C., *Internationalisation of higher education in a Canadian context: responses to the Bologna Process from Canadian universities*, European Journal of Higher Education **9**, 58-72 (2019).

[10] Zahavi, H. y Friedman, Y., *The Bologna Process: an international higher education regime*, (en The Bologna Process and its Global Strategy 22-38, Routledge, 2020).

[11] Villa Sánchez, A., *Aprendizaje Basado en Competencias: desarrollo e implantación en el ámbito universitario*, REDU: Revista de Docencia Universitaria **19**, 19-46 (2020).

[12] Guzmán Zapa, R. D. y Perales López, N. J., *Dificultades en la Implementación de Competencias: una Mirada desde la Ruralidad Colombiana*, Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar **7**, 963-978 (2023).

[13] Universidad de Deusto, *Marco Pedagógico*. (Universidad de Deusto, Bilbao, 2001).

[14] González, J. y Wagenaar, R., *Quality and European programme design in higher education*, European Journal of Education **38**, 241-251 (2003).

[15] González, J., Wagenaar, R. y Beneitone, P., *Tuning-América Latina: un proyecto de las universidades*, Revista Iberoamericana de Educación **35**, 151-164 (2004).

[16] Ramírez Díaz, M. H., Méndez-Sánchez, A. F., Pérez-Trejo, L. y Olvera-Aldana, M., *Competencias específicas consideradas más realizadas y más importantes en los programas de física en México*, Perfiles Educativos **38**, 68-87 (2016).

[17] Beneitone, P., Esquetine, C., González, J., Marty Maletá, M., Siufi, G. y Wagenaar, R., *Tuning-América Latina: reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina*, (Universidad de Deusto, Bilbao, 2007).

[18] Pagura, F. y Pacífico, A., *Modelo basado en competencias en la educación superior. Reflexiones e interrogantes*, Ciencias Económicas **2**, 73-82 (2011).

[19] Paricio Royo, J., *"Diseño por competencias" ¿era esto lo que necesitábamos?*, REDU, Revista de Docencia Universitaria **18**, 47-70 (2020).

[20] Menéndez Varela, J. L., *La noción de competencia en el proyecto Tuning. Un análisis textual desde la Sociología de la Educación*, OBSERVAR: Revista Electrónica del Observatorio sobre la Didáctica de las Artes **3**, 5-41 (2009).

[21] Villarroel, V. y Bruna, D., *Reflexiones en torno a las competencias genéricas en educación superior: Un desafío pendiente*, Psicoperspectivas **13**, 22-34 (2014).

[22] Ochoa Moya, N. M., *Fracaso escolar encubierto y políticas educativas en Colombia*, (Universidad de Santiago de Compostela, 2024).

[23] Posner, G. J. y Strike, K.A., *A categorization scheme for principles of sequencing content*, Review of Educational Research **46**, 665-690 (1976).

[24] Ruiz Socarras, J. M., Barreto Argilados, B. y Blanco Sánchez, R., *La organización del contenido de enseñanza en carreras universitarias*, Tecné, Episteme y Didaxis: TED **16**, 113-131 (2004).

[25] Coaquira-Coaquira, W. *Perspectiva docente sobre el diseño curricular por competencias y la calidad educativa en una universidad peruana*, Technological Innovations Journal **3**, 28-36 (2024).

[26] Machado Ramírez, E. F. y Montes de Oca Recio, N., *La formación por competencias y los vacíos del diseño curricular*, Transformación **17**, 459-478 (2021).

[27] Contreras Jordán, O. R., González-Martí, I. y Gil-Madrona, P., *La dificultad de la implementación de una enseñanza por competencias en España*, Education Policy pontAnalysis Archives **27**, 1-24 (2019).

[28] Lightfoot, J. M., *A graph-theoretic approach to improved curriculum structure and assessment placement*, Communications of the IIMA **10**, 58-74 (2010).

[29] Ramírez Díaz, M. H. y Olvera Aldana, M., *Formación de profesores de bachillerato en competencias específicas de la física utilizando cursos intersemestrales en el IPN*, Latin-American Journal of Physics Education **6**, 283-291 (2012).

[30] Rueda Álvarez, G., Pérez Trejo, L., González Álvarez, L., Méndez Sánchez, A., Mramonetes Lira, R. y Díaz Valdés, E., *Estrategia basada en competencias para la construcción natural del conocimiento en un curso de física experimental*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **7**, 58-62 (2013).

[31] Ramírez, M. H., Méndez-Sánchez, A. F., Pérez-Trejo, L. y Olvera-Aldana, M., *Jerarquización de competencias específicas en el programa de física de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN-México utilizando la matriz de Morganov-Heredia*, Formación universitaria **6**, 21-28 (2013).

[32] Galindo, D. M., Osorio, E. A. y Serrano, S., *Objeto de Aprendizaje para las Operaciones con Matrices en el Procesamiento Digital de Imágenes*, (en M. Prieto, S. Pech, y J. J. Angulo, Tecnología, Educación y práctica educativa 18-29, Ciudad Real: CIATA.org-UCLM, 2020).

[33] O'Meara, J. y Vaidya, A., *A network theory approach to curriculum design*, Entropy **23**, 1346 (2021).

- [34] Yu, X., Stahr, M., Chen, H. y Yan, R., *Design and implementation of curriculum system based on knowledge graph*, IEEE International Conference on Consumer Electronics and Computer Engineering (ICCECE), 767-770 (2021).
- [35] Rillo, A. G., Martínez-Carrillo, B. E., Contreras-Mayén, R. G., Valdés-Ramos, R. y Castillo-Cardiel, J. A., *Congruencia de los estándares para evaluar la calidad de la educación médica en México*, Investigación en educación médica **11**, 42-54 (2022).
- [36] Olvera-Aldana, M., Silva Peña, G., Guerrero Arreola, A. y Ramírez Díaz, M. H. *Hierarchization of Education Elements based on Morganov-Heredia Matrices using Hypergraphs*, Migration Letters **40**, 1180-1189 (2023).
- [37] Rivadeneira Broncano, E. N., *Desarrollo de un programa educativo para prevenir complicaciones obstétricas, en base a factores de riesgo modificables y no modificables, dirigido a pacientes gestantes del Hospital Básico Pelileo*, (Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, Ecuador, 2023).
- [38] Robles, E., *Educación y ciencia*, <<https://www.edreirobles.com/educaci%C3%B3n-conciencia/matriz-morganov-heredia-t2e4>>, consultado el 20 de enero de 2024.
- [39] Aguilar Salinas, W. E., de las Fuentes Lara, M., Íñiguez Monroy, C. y Rivera Castellón, R., *Perfiles de estudiantes asociados a las características de reprobación de las asignaturas de ciencias básicas en ingeniería*, Boletín Redipe **7**, 129-145 (2018).
- [40] Garza Rivera, R. G., *La enseñanza de las ciencias básicas en la formación de ingenieros*, Ingenierías **2**, 55-58 (1999).
- [41] Juárez, A. M., Laplace, E., Sequeira, A. y Bravo, B., *Competencias de control en estudiantes de carreras de Ingeniería*, Unión Revista Iberoamericana de Educación Matemática **19**, 1-21 (2023).
- [42] Camacho Quiroga, R. O., *El Currículo de Ingeniería Civil como instrumento transformador*, Revista Ciencia Multidisciplinaria CUNORI **7**, 47-57 (2023).
- [43] Navas-Ríos, M. E. y Ospina-Mejía, J. O., *Diseño curricular por competencias en educación superior. La experiencia de dos universidades en Colombia*, Saber, Ciencia y Libertad **15**, 195-217 (2020).
- [44] Fontalvo, T. J., Delahoz-Dominguez, E. J. y De la Hoz, G., *Resultados de aprendizaje y mecanismos de evaluación en los programas académicos de educación superior en Colombia*, Formación Universitaria **15**, 105-114 (2022).
- [45] López Vélez, B., *Implicaciones curriculares y didácticas de la evaluación* (en Experiencias de Evaluación de los Aprendizajes, Universidad Pontificia Bolivariana 82-100, 2022).
- [46] Sotomayor, M. y Giraldo, C., *Manual para elaborar competencias programáticas* (CENTRUM PUCP. Centro de Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2023).
- [47] Ausubel, D., *Teoría del aprendizaje significativo*, Fascículos de CEIF **1**, 1-10 (1983).
- [48] Solano Flores, G., *El análisis de contenido, la técnica algebraica y el análisis automático de contenido*, Revista de Educación Superior RESU **12**, 1-16 (1983).
- [49] Ruiz Socarras, J., Barreto Argilagos, G. y Blanco Sánchez, R., *Un modelo matemático del contenido de planes de estudio universitario*, Acta Latinoamericana de Matemática Educativa **20**, 282-287 (2007).
- [50] Universidad Pontificia Bolivariana, *Proyecto Educativo Institucional*, UPB, Medellín, (2019).
- [51] Universidad Pontificia Bolivariana, *Actualización del Proyecto Educativo Institucional*. UPB Medellín, Consejo Directivo General de la Universidad Pontificia Bolivariana, (2023).
- [52] Huerta, J. y Heredia, B. *La articulación y estructuración de la enseñanza*, Revista de Educación Superior RESU **5**, 11-33 (1976).
- [53] Harary, F. *Graph Theory*, (Addison Wesley, USA, 1969).
- [54] Bondy, J. A. y Murty, U. S., *Graph theory with applications*, (Macmillan, Londres, 1976).
- [55] Grimaldi, R. P., *Matemáticas discretas y combinatoria: una introducción con aplicaciones*, (Pearson Educación, México, 1998).
- [56] Harris, J. M., Hirst, J. y Mossinghoff, M., *Combinatorics and graph theory*, 2da. Edición, (Springer, London, 2008).
- [57] Solano Flores, G., *El análisis de contenido, la técnica algebraica y el análisis automático de contenido*, Revista de Educación Superior RESU **12**, 1-16 (1983).