

Análisis de rutas de aprendizaje de los estudiantes en el área de Programación usando grafos de conocimiento
Analysis of student learning paths in the area of Programming using knowledge graphs

Cerón-Garnica, C.¹, Moyao- Martínez, Y.², Martínez-Guzmán Gerardo³ y Beltrán Martínez, B.⁴
^{1,2,3,4}Facultad de Ciencias de la Computación
Av. 14 sur y esq. Blvd. Valsequillo s/n .CU, Puebla, México.
¹carmen.ceron@correo.buap.mx, ²yolanda.moyao@correo.buap.mx, ³gerardo@martinezg@correo.buap.mx
⁴beatriz.beltran@correo.buap.mx

Fecha de recepción: 3 de agosto de 2024

Fecha de aceptación: 17 de septiembre de 2024

Resumen. El propósito de este trabajo es presentar el análisis de las rutas de aprendizaje y del nivel de dominio de los saberes adquiridos por los estudiantes en el área de Programación II. El estudio tiene un enfoque cuantitativo, de tipo exploratorio y con una muestra conformada por 30 estudiantes de tres secciones a quienes se les aplicó la evaluación mediante rúbricas. Los resultados obtenidos muestran el nivel de dominio de aprendizaje mediante el uso de grafos de conocimiento, donde se identificó el nodo Objetivo (O) de cada departamental, a los que se le asignó una Ponderación Actual (PA) respectivamente de 86%, 86.2% y 88.3% siendo los aprendizajes relevantes, donde los estudiantes obtuvieron un promedio de aprovechamiento de 8.94 alcanzado un nivel de dominio de la competencia como suficientemente desarrollada. Finalmente, las rutas de aprendizaje logran atender las necesidades personales de aprendizaje y los grafos de conocimiento profundizan el dominio de los saberes.

Palabras Clave: Rutas de Aprendizaje, Competencias Disciplinarias, Proceso Enseñanza-Aprendizaje, Grafos de Conocimiento.

Summary. The purpose of this work is to present the analysis of the learning paths and the level of mastery of the knowledge acquired by students in the area of Programming II. The study with a quantitative approach, exploratory type and with a sample made up of 30 students from three sections to whom the evaluation was applied through rubrics. The results obtained show the level of learning mastery through the use of knowledge graphs that randomly identified the Objective node (O) to which a Current Weight (PA) of 86%, 86.2% and 88.3 were assigned, being the learning relevant where the students obtained an average of 8.94 reaching a level of mastery of the competence as sufficiently developed. Finally, the learning paths manage to meet personal learning needs, and the knowledge graphs deepen the mastery of knowledge.

Keywords: Learning Paths, Disciplinary Competences, Teaching-Learning Process, Knowledge Graphs.

1 Introduction

La evaluación educativa, es uno de los procesos más importantes en este ámbito, para lograr la calidad e innovación de esta con la finalidad de revisar los resultados y objetivos alcanzados por los estudiantes y las instituciones. Así como para reorientar, guiar y reflexionar sobre la toma de decisiones para mejorar la formación de los estudiantes. Los enfoques de la evaluación desde lo cuantitativo y/o cualitativo logran identificar los avances, logros o deficiencias del proceso enseñanza-aprendizaje que conlleva a una serie de acciones para lograr mejoras significativas en el rendimiento académico de los estudiantes y en las actualizaciones de los programas educativos ofertados por las instituciones.

Actualmente, la dinámica y flexibilidad de las plataformas educativas, ofrecen personalizar el aprendizaje, lo que conlleva a plantear rutas de aprendizaje eficientes para que los estudiantes logren interactuar con contenidos y materiales en el que pueden estar más interesados, según sus preferencias para adquirir el dominio de saberes, una de las alternativas en las plataformas educativas es el uso de rutas que pueden utilizar sistemas de recomendación, grafos de conocimiento, entre otros, que permita al estudiante interactuar y realizar actividades, lecciones, tutoriales de aprendizaje y evaluaciones.

Según [1], las rutas de aprendizaje son “trayectorias de desarrollo en las que algunas de las cuales terminan en el mismo lugar en términos de logro o desempeño de aprendizaje”, la diferencia es que realizan diferentes interacciones con actividades o materiales usando caminos diferentes de acuerdo con su motivación, preferencias y nivel de dominio de los saberes.

En [2], las rutas de aprendizaje individuales son diferentes a las rutas de aprendizaje colaborativas que se trabajan en equipos, donde se reflejan las diferentes formas de interactuar y explorar los contenidos de aprendizaje. Las rutas de aprendizaje individuales son generalmente representadas con grafos lineales mientras que las colaborativas su estructura básica es fragmentada o aparentemente irregular, se repite a diferentes direcciones que conlleva a ver patrones significativos en los mismos equipos de trabajo.

La evaluación educativa debe cumplir con un propósito que conlleve a la identificación del dominio de los saberes adquiridos por los estudiantes y detectar posibles problemas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de manera cuantitativa o cualitativa mediante el uso de instrumentos que tengan validez, pertinencia y consistencia en su aplicación. Según el diseño curricular por competencias [3,4] se debe caracterizar por ciertos atributos como son:

1. Correlacional, lo cual implica que debe tener actividades y prácticas situadas, atributos y habilidades en su estructura conceptual que responda a la profesión.
2. Holístico, enfocada a las tareas profesionales, la cual tiene factores determinantes para lograr un desempeño profesional exitoso.
3. Contextual, vinculado al contexto sociocultural y disciplinar en el cual se llevará a cabo la competencia en el plano profesional.

Además, se debe considerar que el proceso de adquisición de los saberes es:

4. Gradual, se necesita un proceso de aprendizaje, lo cual, se centra más en cómo se aprende y no como se enseña, las actividades deben propiciar y movilizar aprendizajes significativos, logrando procesos inventivos dando lugar a respuestas innovadoras y creativas que conllevan a nuevas estrategias y procedimientos para la solución de problemas
5. Nivel de dominio o desempeño de la competencia, que en general se define mediante dos parámetros: nivel de profundización y el nivel de evaluación alcanzado.

El propósito de este estudio es presentar el análisis de las rutas de aprendizaje y del nivel de dominio de los saberes adquiridas por los estudiantes en el área de Programación II y la representación mediante grafos de conocimiento de las interacciones realizadas a los contenidos y materiales que conlleva a la adquisición y/o desarrollo de los saberes.

La metodología que se aplicó fue cuantitativa, un diseño exploratorio y aplicando el uso de grafos de conocimiento para dar seguimiento de las competencias del Perfil de Egreso en la Ing. en Cs. de la Computación con respecto a la competencia profesional relacionada a la “Resolución de problemas” con respecto al nivel de dominio “modelar y desarrollar programas mediante el uso de un lenguaje de alto nivel *para la resolución de problemas* a través del paradigma orientado a objetos”

Este artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2 se describen los trabajos relacionados. En la Sección 3 se presenta la metodología con enfoque cuantitativo y el seguimiento con respecto al desarrollo de las competencias de los estudiantes. En la Sección 4 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas. Por último, en la Sección 5 se describen las conclusiones y trabajos futuros de la investigación.

2 Trayectorias o Rutas de aprendizaje y grafos de conocimiento

La necesidad del aprendizaje personalizado ha crecido con el reconocimiento de la individualidad y las características del individuo considerando diferentes “los conocimientos previos, las capacidades y las percepciones de los estudiantes en los procesos de enseñanza y aprendizaje, siendo centrado en el alumno” [5]. En [6] las RA se definen como propuestas formativas personalizadas y diversas que integran tecnología y pedagogía que permiten conectar conocimiento, aprendizajes, intereses, necesidades, expectativas, contenidos y actividades seleccionados por el estudiante a partir de unas alternativas propuestas por los expertos.

La trayectoria o rutas de aprendizaje (RA), se refiere al recorrido de los aprendizajes que el estudiante realiza mediante la interacción de lecciones, actividades, materiales educativos, evaluación y recursos o medios tecnológicos (plataformas, software, etc.), donde de manera permanente se realiza una construcción de saberes

brindados a partir de los contenidos y de la planificación de la asignatura de acuerdo con el objetivo del programa de estudio.

En la propuesta de [7] investigaron que los grafos de conocimiento son utilizados para personalizar el aprendizaje mejorando los resultados en el estudiante, ya que revisan los prerrequisitos requeridos para la realización de ejercicios, logrando identificar el dominio del aprendizaje adquirido por el estudiante mediante un algoritmo, propusieron un sistema de recomendación de rutas que identifican los aprendizajes aun no comprendidos para realizar la recomendación de ejercicios para fortalecer el logro de aprendizaje del estudiante.

Para [2] la ruta de aprendizaje individual personalizada (RAP) permite identificar las actividades que debe realizar un estudiante, para la promoción del aprendizaje logrando adquirir los saberes de alguna temática. Para esta investigación se debe tener un nivel de dominio que aplica en diferentes escenarios para la resolución de problemas utilizando algoritmos y el lenguaje de programación en la asignatura de Programación II. Tal como se muestra en la Figura 1, con un diagnóstico inicial y que puede realizar un repaso de la lección o directamente realizar las actividades (A1, A2), quiz (Q1) o práctica o proyecto (P1) que le permita lograr la resolución de problemas.

Por lo tanto, en la Figura 1, usando un grafo se representa como un conjunto de tripletas en la forma de $RA = \{(t, e, r) \mid t, e \in DCA, r \in \mathbb{R}\}$ donde t es un tema, e una estrategia de aprendizaje, DCA el dominio de construcción de aprendizaje y $r = \{0,1\}$ que indica la relación entre los nodos, siendo 0 una nula relación y 1 una dependencia de prerrequisito del aprendizaje.

Así también el $RAP = \{(t, e, r) \vee (e, e, r) \mid t, e \in DA, r' \in \mathbb{R}\}, r' = \{0,1\}$ que indica la relación entre los nodos, siendo 0 una nula relación y 1 una dependencia.

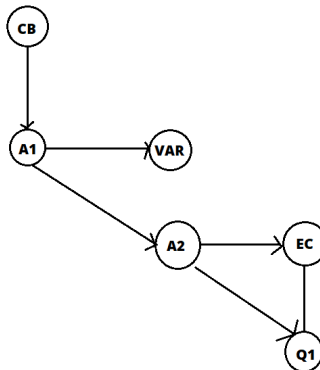


Figura 1. Prueba de diagnóstico de los conocimientos previos de los estudiantes.

Por otra parte, en la materia de Programación II, se observa que conforme el estudiante puede construir sus aprendizajes de acuerdo con las interacciones las cuales personaliza y son lineales como se observa en la Figura 2, mientras que en equipo se observa que tienen una interacción entre todos ver Figura 3, los elementos generando son redes de conocimiento entre los integrantes.

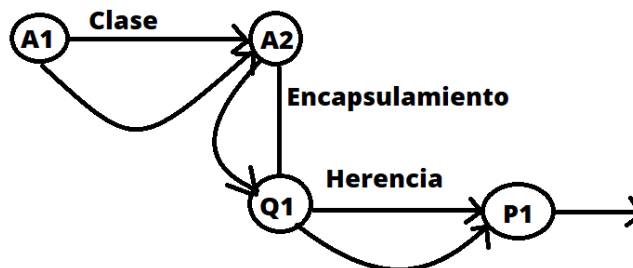


Figura 2. Ruta de aprendizaje individual (RAI) en Programación II.

Programación Orientada a Objetos



Figura 3. Ruta de aprendizaje colaborativa (RAI) en Programación II.

En el trabajo realizado por [4] utilizan los grafos de conocimiento para determinar el dominio de aprendizaje adquirido por el estudiante el cual se basa en un enfoque que evita una evaluación exhaustiva para todos los nodos, a través del efecto “causal”, partiendo de un grafo experto. Para ello, va clasificando y ponderando cada uno de los nodos, los cuales representan los temas de un grafo de conocimiento para un Área Disciplinar (AD) y se crea un Grafo de Conocimiento (GC) que representa el dominio de un estudiante sobre un AD. A continuación, se describe la metodología utilizada en [4] para diseñar el grafo que consta de varios niveles, donde el primer nivel representa el AD, el siguiente nivel las subáreas y, finalmente, en los siguientes niveles se representan los temas para cada subárea, el método consta de tres fases y reglas que se aplican se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Metodología del diseño del grafo de conocimiento (Fuente: elaboración a partir de [4]).

Fase	Regla	Descripción
Fase 1: Establecer nodo O (objetivo)	1	Un nodo O se asigna a partir del tema sobre un nodo que se encuentre debajo de los primeros dos niveles del grafo (el primer nivel es el AD y el segundo nivel son las áreas del AD).
	2	Un nodo O es evaluado objetivamente una sola ocasión y se le asigna al nodo el porcentaje obtenido por el estudiante. En esta fase se ponderan los nodos descendientes, es decir que están interrelacionados al nodo O. Así, el efecto causal del nodo O impacta a los nodos (temas).
Fase 2: Ponderar los nodos descendientes	1	El efecto causal del nodo O impacta a sus nodos hijos, nietos y bisnietos. Los nodos que están a máximo tres niveles de distancia del nodo O
	2	Los nodos hijos reciben una ponderación de 50% de su padre. El método asume que el estudiante domina el nodo siguiente (hijo del nodo O) en 50% de la PA del nodo O, y así sucesivamente.
	3	El efecto causal del nodo O impacta a los nodos posteriores de sus bisnietos. Es decir, a los nodos que están a partir del cuarto salto del nodo O.
	4	La PA de los nodos identificados por la regla 3, es de 2 porque se asume que el estudiante tiene un grado de dominio bajo en estos temas, que son más lejanos al nodo O.
Fase 3: Ponderar los nodos ascendientes	1	Los nodos interrelacionados y que preceden al nodo O, también se ponderan. Para ello, se les asigna una ponderación de un 25% más alta que la PA de su hijo, y este proceso se repite sucesivamente hasta llegar al nodo raíz, el cual representa el tema principal.
	2	Si la PA del nodo que precede al nodo O es mayor que 100, la PA se actualiza a a 100 para no rebasar el límite máximo de ponderación.

3 Metodología

El enfoque de la investigación es una metodología cuantitativa, no experimental y de carácter exploratorio, la cual permitió acercarnos al análisis y diagnóstico de la situación de estudio.

El objetivo fue analizar las rutas de aprendizaje de los estudiantes de la asignatura de la Programación II de licenciatura de Ingeniería en Ciencias de la Computación durante el periodo de otoño 2023.

La muestra se conforma por tres secciones de la materia de programación II con un total de 30 estudiantes y tres docentes que participaron en la aplicación de las tres evaluaciones usando rúbricas. Se utiliza la metodología de [4] y la propuesta de RAP para la valoración del dominio de aprendizajes y la ruta de aprendizaje personalizada al detectar las necesidades e intereses de los estudiantes en plataforma. El grafo experto del primer parcial se muestra en la Figura 4, en donde el nodo objetivo O = relaciones entre clases, y aplicando las reglas de la tabla 1, se tiene el diseño que a continuación se describe.



Figura 4. Grafo de conocimiento experto del Parcial 1 en Programación II.

- 1) Primero se establece el área disciplinar (AD) siendo el área de Programación y las subáreas (asignaturas) como son Metodología de la Programación (MP), Programación I (Prog I), Programación II (Prog II) y Estructuras de Datos (EstDatos). Para la asignatura de Programación II (Prog II) se representa el grafo de conocimiento construido por expertos docentes de la primera evaluación, cuyo dominio se centra del tema “Relación de clases” y se considerando la calificación obtenida por el estudiante se asigna el 86% como nodo O (objetivo).
- 2) La ponderación de los nodos descendientes se parte al aplicar el efecto causal, y posteriormente se ponderan los nodos descendientes, es decir que están interrelacionados al nodo O, donde los nodos siguientes son ponderados con la regla 2 obteniendo la PA como programas 43%, variables 21.4%, estructuras de control 10.7%, y estos últimos de acuerdo a la regla 3, es de 2 porque se asume que el estudiante tiene un grado de dominio bajo en estos temas, que son más lejanos al nodo O como son abstracción, sobrecarga, excepciones y flujos-E/S.
- 3) Se realiza la ponderación de los nodos ascendientes se les asigna una ponderación de un 25% más alta que la PA de su hijo, y este proceso se repite sucesivamente hasta llegar al nodo raíz, el cual representa el tema principal, aunque exceda al 100% siempre se limita a este porcentaje tal como se observa entre el nodo hijo “Relaciones de clases” y el nodo padre “clases” $86+25=111\%$ y se limita al 100%

Lo anterior, representa que las relaciones que implicarán la construcción de aprendizajes que serán relacionados con los aprendizajes previos requeridos indispensables y relevantes para cada materia. Así también con respecto a la asignatura de Programación II, en el primer parcial se observa que los principales interacciones de contenidos, materiales y actividades se concentran en las iteraciones con el nodo O “relaciones entre clases 86%” y sus descendientes nodos como “Programación en lenguaje orientado a objetos” en un 43%, donde “Tipos de datos”, “Control de estructuras” y “Variables” representan un 21.5% mientras que “Herencia”, 10.7%, “Abstracción” 2% “Sobrecarga” 2%, “Excepciones 2%” y “Flujo E/S” 2%, lo que representa que los estudiantes no han alcanzado el dominio de los saberes sino están en proceso de desarrollo, ya que esto es aplicado al primer parcial.

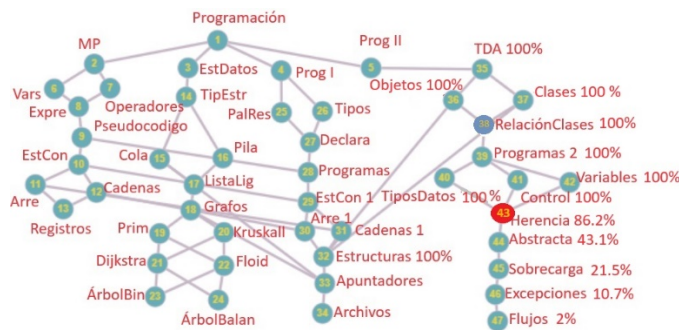


Figura 5. Grafo experto de conocimiento segundo parcial de Programación II.

Para la Figura 5 aplicando la metodología, se observa el grafo experto del segundo parcial y el nodo objetivo O es “Herencia” con 86.2%, abstracción 43.1% sobrecarga 21.5%, excepciones 10.7% y Flujo E/S 2%, lo que representa que los estudiantes han alcanzado el dominio de ciertos saberes que se logran para la resolución de problemas. El grafo experto del parcial 3 se observa en la Figura 6, donde todos los nodos objetivos se han alcanzado.

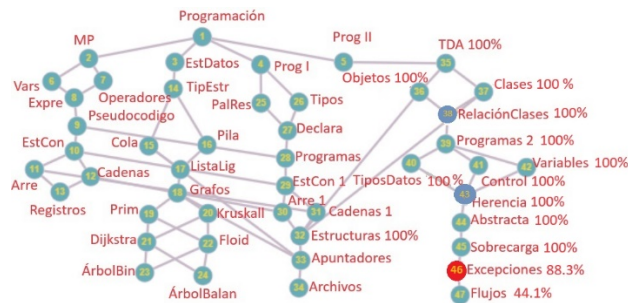


Figura 6. Grafo de conocimiento tercer parcial de Programación II.

4 Resultados

Los resultados obtenidos en el desarrollo de esta investigación aplicado a la asignatura de Programación II utilizando el método propuesto en [4] se ajusta al grafo de conocimiento experto para cada evaluación que representa al nodo O (objetivo) a partir del principal tema y de los temas descendentes o ascendentes que permiten evaluar el desarrollo de las competencias disciplinares como es la “resolución de problemas” con respecto al nivel de dominio “modelar y desarrollar programas mediante el uso de un lenguaje de alto nivel para la resolución de problemas a través del paradigma orientado a objetos” al comparar el desarrollo de las competencias es satisfactorio en cada nodo objetivo que se logra observar en las secciones en las Tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2. Iteraciones del Grafo de Conocimiento Sección 1.

Iteración	Nodo O	Parcial 1 % de dominio estudiante										P
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Relaciones entre clases	86	86	72	72	86	86	3	86	86	86	81.9
2	Herencia	86.2	86.2	86.2	82	82	82	70	86.2	86.2	86.2	83.3
3	Excepciones	88.3	83	88.3	88.3	88.3	88.3	79	88.3	88.3	88.3	86.8

Tabla 3. Iteraciones del Grafo de Conocimiento Sección 2.

Iteración	Nodo O	Parcial 2 % de dominio estudiante										P
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

1	Relaciones entre clases	68	86	60	60	86	86	73	68	86	86	75.9%
2	Herencia	86.2	86.2	86.2	82	82	82	65	86.2	86.2	86	82.8%
3	Excepciones	88.3	88.3	88.3	88.3	79	79	79	88.3	79	88.3	84.5%

Tabla 4. Iteraciones del Grafo de Conocimiento Sección 3.

Iteración	Nodo O	Parcial 3 % de dominio estudiante										P
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Relaciones entre clases	86	86	86	86	86	86	77	86	86	86	85.1%
2	Herencia	86.2	86.2	86.2	84	84	84	84	86.2	86.2	86.2	85.3%
3	Excepciones	88.3	88.3	88.3	88	88.3	88.3	79	88.3	88.3	88.3	87.3%

En cada Tabla anterior se presenta los porcentajes de dominio de cada estudiante adquirido en cada examen parcial lo cual representa que en comparación del grafo experto de conocimiento los estudiantes han adquirido aprendizajes significativos en cada nodo objetivo, lo cual se ve reflejado en el promedio del dominio en cada parcial conforme interactúa y adquiere el aprendizaje ya que se demuestra la relación entre nodos ascendientes y descendientes, que representan los conocimientos previos e indispensables para lograr construcción de saberes en la ruta de aprendizaje.

Así también, los registros de las rutas de aprendizaje individuales difieren en cada sección, pero la calificación obtenida es similar o igual. Con respecto a los estudiantes que reprobaron el curso no realizaron las estrategias de aprendizaje (e) propuestas pertenecientes al (DCA) y las relaciones $r = \{0\}$ lo cual no puede darse las iteraciones para obtener el grafo de conocimiento ni la ruta de aprendizaje.

En las bitácoras de trabajo utilizadas los estudiantes lograron comentar sobre la RAP, cada estudiante reconoció la construcción de la ruta de aprendizaje les permitió solucionar problemas mediante la aplicación de programas usando el modelado y construcción de programas orientados a objetos, así también a tener el dominio de hábitos de aprendizaje al realizar las actividades, evaluaciones y proyectos les propicio una mayor comprensión y entendimiento de aprendizajes relevantes y auténticos [8].

Con respecto a las evaluaciones finales para las secciones se muestra en la Figura 7, la sección 1 con un promedio de 8.5 es un nivel de dominio es “Suficiente desarrollada” (arriba de la media), la sección 2 con promedio 9.5 Sobresaliente (muy arriba de la media) y sección 3 con promedio de 8.8 es “Suficiente desarrollada”.

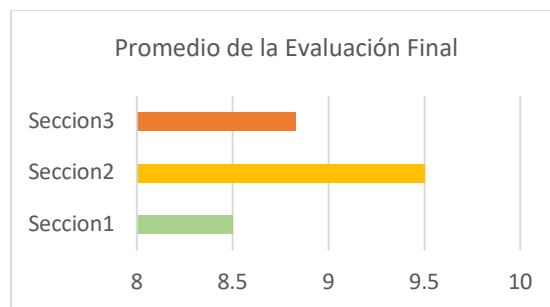


Figura 7. Grafica de evaluaciones finales de las secciones de Programación II.

5 Conclusiones y trabajos futuros

De acuerdo con el objetivo de este trabajo el cual se enfocó en analizar las rutas de aprendizaje y del nivel de dominio de los saberes adquiridos por los estudiantes en la materia de Programación II, utilizando grafos de conocimiento ha permitido mostrar que los estudiantes a través de las evaluaciones han adquirido los saberes que la materia tiene como objetivo. Además, al aplicar el método propuesto, se identifican los nodos objetivos para lograr la iteración de temas y una revisión del 100% de los contenidos que permita identificar aprendizajes esenciales y relevantes en cada nodo ascendente o descendente del grafo. Siendo esto una herramienta innovadora que permitirá realizar un análisis similar en otras áreas del aprendizaje de los estudiantes.

Como resultado se tienen que las rutas de aprendizaje integra tecnología y pedagogía que permiten incluir estrategias de aprendizaje como actividades, lecciones, quiz, prácticas y proyectos de acuerdo con los interés,

expectativas y necesidades de los estudiantes RAP, los estudiantes lograron un aprovechamiento del 8.5 y el uso por rúbricas evidenció la resolución de problemas en cada evaluación realizada mediante la plataforma de ECAA's (Evaluación Colegiada del Aprendizaje por Asignatura).

Por otra parte, se deben diseñar estrategias de aprendizaje que se enfoquen a propiciar situaciones reales para la formación académica de los estudiantes, es decir, que los motive a mejorar el desempeño de los estudiantes.

El trabajo a futuro es profundizar en el uso de grafos de conocimiento para apoyar la evaluación con respecto a las necesidades de la academia de Programación que permita realizar el seguimiento de las evaluaciones para detectar deficiencias en el desarrollo de las competencias disciplinares y proponer acciones que permita apoyar a los estudiantes en mejorar el rendimiento académico y emprender acciones para asegurar la calidad del programa educativo y actualizaciones de los programas.

References

1. Ramirez-Arellano, A.: Students learning pathways in higher blended education: An analysis of complex networks perspective. *Computers & Education*, Vol. 141, pp. 103634 (2019)
2. Pintrich, P.R: Multiple goals, multiple pathways: The role of goal orientation in learning and achievement. *Journal of educational psychology*, Vol. 92, No 3, p. 544 (2000). Accedido el 15 de abril de 2024
3. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería.: *Diseño Curricular por Competencias*. ANFEI. (2008)
4. Moreno, O. T.: La Evaluación de Competencias en Educación. *Sinéctica*, No. 39, pp. 1-20. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-109X2012000200010&lng=es&tlng=es. Accedido el 28 de abril de 2024
5. UNESCO: *Herramientas de Formación para el Desarrollo Curricular Aprendizaje Personalizado*. Ginebra, Suiza: OEI-UNESCO. Recuperado de: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000250057_spa UNESCO. (2013).
6. Garduño, E.: Rutas de Aprendizaje en la Inducción, Ingreso y Seguimiento de un Proceso de Formación. *Revista Educación*, vol. 44, No. 2, p. 386-406 (2020)
7. Hernández-Almazán, J. A., Lumbreras-Vega, J. D., Amaya Amaya, A., Machucho-Cadena, R.: Grafo de conocimiento para determinar el dominio del aprendizaje en la educación superior. *Apertura*, Vol. 13, No. 1, p. 118-133, (2021). Accedido el 20 de abril de 2024
8. Vallejo, R. M.; Molina, S.J.: La Evaluación Auténtica de los Procesos Educativos. *Revista Iberoamericana De Educación*. No. 64, pp. 11-25 (2014)