

Diseño y validación de un objeto virtual de aprendizaje que permita el aprendizaje de heurísticas y metaheurísticas

Design and validation of a virtual learning object that allows the learning of heuristics and metaheuristics

Carlos A. Vega A., Ing. & Juan A. Chica U., Ing

Universidad de Córdoba, Colombia

sel_ig@hotmail.com, j_angelchaurzola@yahoo.es

Recibido para revisión 07 de septiembre de 2010, aceptado 28 de octubre de 2010, versión final 24 de noviembre de 2010

Abstract—Next in this document is presented how this project was developed and its implications, the objective of this project is to allow the students to have basic knowledge about the usage of four algorithms (heuristics and metaheuristics), which are: Ant colony, Depth first search, Kruskal's algorithm and Taboo search; this would help in the industrial engineering students' education, allowing them to understand basics about these tools that can help them solve different problems in their professional exercise, this is done through the development of a virtual learning object (VLO), so it could be accessible from the internet for a high number of students.

Keywords— Virtual learning object, heuristics, metaheuristics, education, solving engineering problems.

Resumen— En este documento se presenta a continuación como fue el desarrollo de este proyecto y sus implicaciones, este proyecto tiene como finalidad el permitir a los estudiantes el tener conocimientos básicos sobre el uso de cuatro algoritmos (heurísticas y metaheurísticas), que son: colonia de hormigas, búsqueda en profundidad, algoritmo de Kruskal y búsqueda tabú; esto permitiría ayudar a la formación de los estudiantes de ingeniería industrial, permitiendo que entiendan conceptos básicos de estas herramientas que les permiten solucionar diferentes problemas en su ejercicio profesional, esto se logra mediante el desarrollo de un objeto virtual de aprendizaje (OVA), de forma que pueda ser accesible desde internet para un gran número de estudiantes.

Palabras Clave—Objeto virtual de aprendizaje, Heurísticas, Metaheurísticas, formación, solución de problemas de ingeniería.

I. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se diseñará un objeto virtual de aprendizaje que permita comprender de una manera práctica la utilización de diferentes algoritmos de búsqueda o metaheurísticas, quedando éste como un producto del semillero de investigación ECEIA (Equipo creativo para el estudio y la enseñanza de la ingeniería industrial aplicada) de la Universidad de Córdoba, reforzando así su labor de instrucción en la formación y preparación de profesionales en el área de ingeniería industrial, abriendo así la posibilidad de que se pueda convertir, en un futuro, en proveedor de objetos de aprendizaje virtuales para entidades o personas particulares.

El OVA deberá permitir que el usuario cree un problema sencillo para cada metaheurística que deseé ver y posteriormente vea, paso a paso, como se soluciona un problema o que perciba como se llega a una solución por medio de la metaheurística elegida, permitiendo que obtenga conocimientos básicos del tema.

Las razones por las cuales se decide diseñar y validar un objeto virtual de aprendizaje con estas características son, en primer lugar, que los temas de heurísticas y metaheurísticas son de una complejidad alta, puesto que requieren que el estudiante sea capaz de abstraer un problema, identificar sus características y modelarlo de forma matemática, aunque las clases magistrales hacen uso de gráficos (en los tableros) que permiten una mejor comprensión de la explicación, se hace tedioso y extenso el explicar las múltiples fases de éstas herramientas con un gráfico estático, sumándole a eso el hecho de que cada estudiante aprende a un ritmo distinto, lo que implica que el docente deba devolverse muchas veces en el proceso para aclarar dudas, lo cual a la larga termina demorando el proceso de enseñanza, es ahí donde entramos a la segunda razón: en el departamento de

Ingeniería Industrial de la Universidad de Córdoba, los contenidos programáticos de las asignaturas no son muy fuertes en éste capo de la optimización combinatoria o de la investigación operativa ya que la política administrativa del mismo tiende a lo que solicita el mercado laboral local en la actualidad (administración y gestión de calidad), sin embargo es también muy importante que los estudiantes se fortalezcan en éstas áreas que les llegarían a resultar de mucho provecho puesto que en un problema combinatorio de optimización se desea encontrar un orden específico sobre un conjunto de elementos discretos[1] y esto puede representar cualquier sistema sobre el que estén trabajando; por otra parte los estudiantes notan que es posible que se imparten inadecuadamente los contenidos programáticos de las distintas asignaturas por razones de tiempo, esto implica que los estudiantes de un grupo puedan comprender un tema mejor que los de otro y esto es debido a las demoras que puedan presentarse de la forma como se expresó anteriormente, es decir, un docente puede extenderse mucho tiempo explicando las bases de estos temas ocupando más tiempo en la explicación y aclaración de dudas en el concepto básico de una temática y menos en la parte aplicativa, al tiempo que otro grupo de estudiantes entienda rápidamente estos conceptos y se pueda pasar a la aplicabilidad más rápidamente, lo que hace que la calidad de la enseñanza varíe mucho; el objeto virtual de aprendizaje tiene como finalidad el que al ser usado como herramienta de enseñanza, permita que los estudiantes aprendan, a su propio ritmo y de forma independiente, las bases de, en este caso específico, el uso de una heurística y tres metaheurísticas, esto con el fin de que el docente enfatice más en el uso de éstas herramientas y menos en explicar qué son y para qué sirven, en pocas palabras, el objeto virtual de aprendizaje se encargará de enseñar, de forma independiente, esos conceptos básicos que son complejos y tediosos de enseñar en una clase magistral.

En los ambientes modernos, tanto en el ámbito informático como en el de ejercicio profesional se hace necesario el uso de metodologías tanto procedimentales como matemáticas que permitan la obtención de resultados óptimos, o por lo menos favorables, en problemas o situaciones complejas que poseen ciertas características similares a otros que, a pesar de estar en contextos diferentes, poseen un comportamiento igual o comparable, para esto se usa la optimización combinatoria, en el cual se hace uso de heurísticas y metaheurísticas, los cuales son métodos aproximados diseñados para resolver problemas de optimización combinatoria, en los que las heurísticas clásicas no son efectivas. Las metaheurísticas proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos, combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evolución biológica y los mecanismos estadísticos. [2]

El sistema educativo, institución social por excelencia, y las instituciones que lo conforman, han venido recibiendo impactos serios debido a las innovaciones tecnológicas, una de las razones a las cuales se debe este cambio tan generalizado

que se pueden encontrar, apunta al vertiginoso desarrollo de las tecnologías de la información y de la comunicación en la última década, que han generado cambios sustanciales en las relaciones entre tecnología y sociedad, tecnología y educación y por ende tecnología y educación. Y son precisamente las relaciones entre ésta triada de componentes de la postmodernidad en que se gestan las inquietudes acerca de la necesidad de plantear cambios en los modelos educativos que soporten las características tanto del sujeto que entra en el proceso de formación como de los distintos escenarios en donde éstos se pueden desarrollar.[3]

II. MARCO TEÓRICO

Un objeto de aprendizaje es una entidad digital, autocontenido y reutilizable, con un claro propósito educativo, constituido por al menos tres componentes internos editables: contenidos, actividades de aprendizaje y elementos de contextualización. A manera de complemento, los OA han de tener una estructura (externa) de información que facilite su identificación, almacenamiento y recuperación: los metadatos.” Esta conceptualización fue la base para la construcción de la definición propuesta por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia y que se encuentra en el portal Colombia aprende.[4]

La heurística se refiere a una técnica, método o procedimiento inteligente de realizar una tarea que no es producto de un riguroso análisis formal, sino de conocimiento experto sobre la tarea. En especial, se usa el término heurístico para referirse a un procedimiento que trata de aportar soluciones a un problema con un buen rendimiento, en lo referente a la calidad de las soluciones y a los recursos empleados. Las metaheurísticas son estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento [5]

El objetivo de la optimización combinatoria es encontrar un objeto matemático finito (por ejemplo, un vector de bits o permutación) que maximice o minimice, dependiendo del problema, una función especificada por el usuario de la metaheurística. A estos objetos se les suele llamar *estados*, y al conjunto de todos los estados candidatos se le llama *espacio de búsqueda*. La naturaleza de los estados y del espacio de búsqueda son usualmente específicos del problema.

III. LOS ALGORITMOS

A. Colonia de hormigas

Ésta fue desarrollada mediante la observación del comportamiento de las hormigas, éstos animales viven en colonias con un único objetivo, la supervivencia, pero no se enfocan en la supervivencia de individuos sino en la de toda la colonia en general (óptimo global en vez de óptimo local). El proceso en particular que inspiró esta metaheurística fue el proceso de recolección de alimentos, al iniciar la búsqueda de alimento, una hormiga aislada se mueve a ciegas, es decir,

sin ninguna señal que pueda guiarla, pero las que le siguen deciden con buena probabilidad seguir el camino con mayor cantidad de feromonas.[6]

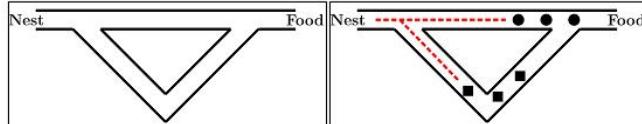


Figura 1. Inicio del algoritmo tenemos el nido (nest) y el alimento (food) separados por dos caminos que las hormigas podrían seguir donde cada camino tiene la misma probabilidad de ser seguido, en el segundo vemos que unas hormigas siguen el camino corto (simbolizadas con círculos) y otras el largo (simbolizadas con rombos).



Figura 2. Evolución del algoritmo: podemos ver que las hormigas del camino corto llegan primero, por lo que es más probable para ellas regresar por el mismo camino y reforzar las feromonas de ese camino, por lo que será más probable para otras hormigas seguirlo.

B. Búsqueda tabú

La búsqueda Tabú surge, en un intento de dotar de “inteligencia” a los algoritmos de búsqueda local. Según Fred Glover, su primer definidor, “la búsqueda tabú guía un procedimiento de búsqueda local para explorar el espacio de soluciones más allá del óptimo local”. Esta memoria se logra mediante la creación de un “historial de búsqueda”. Las estrategias que usan memoria se basan en el hecho de que la historia de la búsqueda puede aportar información útil para las decisiones futuras [7].

El paradigma de la búsqueda tabú es utilizar información del historial de búsqueda para guiar aproximaciones de búsqueda local acercándola más a la optimalidad local. En su forma básica, se logra mediante la prohibición de ciertos movimientos durante la selección en el vecindario de búsqueda para diversificar la búsqueda. Las diferentes estrategias en la búsqueda tabú difieren especialmente en la forma en que el criterio de tabú es especificado (entendiendo como tabú un movimiento o resultado que no es admisible), teniendo en consideración el historial de búsqueda.

C. Búsqueda en profundidad

Es un algoritmo que permite recorrer todos los nodos de un grafo o árbol de manera ordenada, pero no uniforme. Su funcionamiento consiste en ir expandiendo todos y cada uno de los nodos que va localizando, de forma recurrente, en un camino concreto. Cuando ya no quedan más nodos que visitar en dicho camino, regresa (*Backtracking*), de modo que repite el mismo proceso con cada uno de los hermanos del nodo ya procesado, básicamente su implementación maximiza el recorrido a través de toda la red o grafo, en el caso de grafos en forma de árbol recorre todas las rutas posibles sin repetir alguna.

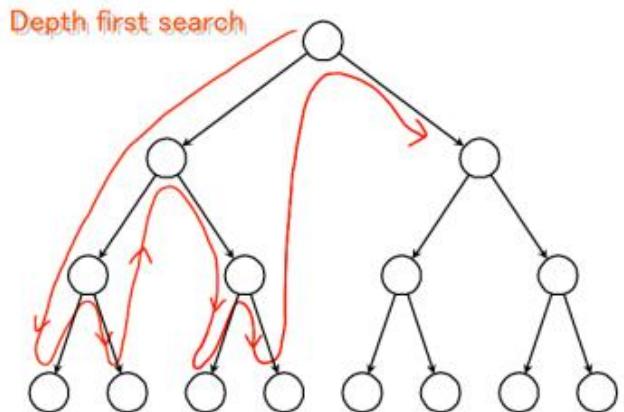


Figura 3. Funcionamiento del algoritmo, es posible notar que una vez que llega a un nodo sin vecinos visitables regresa al anterior y visita los nodos vecinos a éste repitiendo el proceso hasta haber recorrido todo el grafo.

D. Algoritmo de Kruskal

Éste es un algoritmo de la teoría de grafos para encontrar un árbol de cobertura mínimo en un grafo conexo y ponderado. Es decir, busca un subconjunto de aristas que, formando un árbol, incluyen todos los vértices y donde el valor total de todas las aristas del árbol es el mínimo. Si el grafo no es conexo, entonces busca un bosque expandido mínimo (un árbol expandido mínimo para cada componente conexa), la figura 4 muestra como es éste proceso. El Algoritmo hace crecer el árbol de expansión mínima uniendo cada nodo con una arista de valor mínimo que no una elementos del mismo árbol[8]

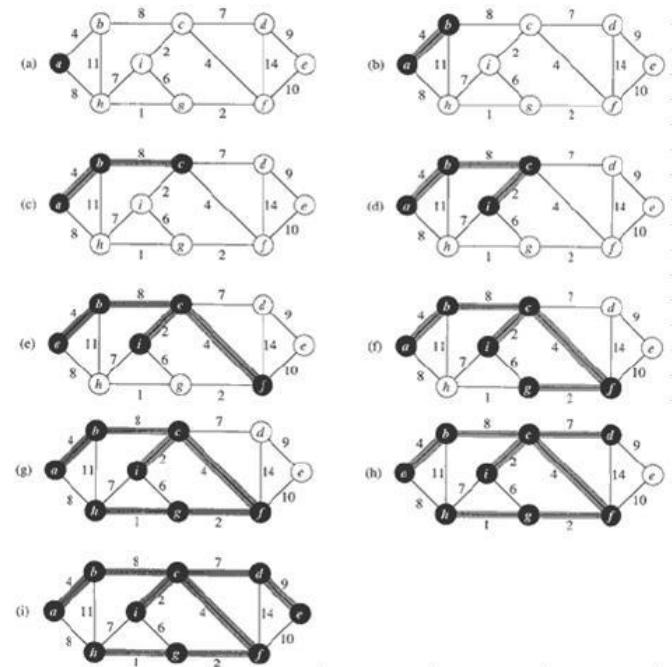


Figura 4. Desarrollo del algoritmo, resolución paso a paso de un problema mediante ésta metaheurística.

IV. EL OBJETO VIRTUAL DE APRENDIZAJE (OVA)

El diseño y programación del OVA se realizó en el software Adobe Flash mediante el lenguaje de programación ActionScript, esto debido a la facilidad para el manejo de entornos gráficos los cuales son de alta relevancia para lograr la facilidad de manejo y captar la atención de los usuarios (estudiantes), con el fin de poder garantizar que la información sea mejor recibida y la enseñanza garantizada.

Se decide enseñar este tema por medio de un OVA ya que éste tiene un uso más personalizado, haciendo uso de su cualidad de retroalimentación (feedback) cada estudiante puede ir aprendiendo a su ritmo, de modo que si aun tiene dudas bien puede revisar, cuantas veces lo necesite, el OVA sin tener que gastar materiales adicionales o tiempo de clases magistrales (reusabilidad), así también la accesibilidad del mismo permite que un gran número de los estudiantes pueda hacer uso del OVA, llevando el conocimiento que contiene a muchos de ellos en poco tiempo; este OVA fue diseñado teniendo como objetivo que su usuario final fuesen estudiantes de ingeniería industrial.

Durante la ejecución del programa el usuario constantemente se encuentra con información en forma de texto explicando el referente teórico del tema siendo tratado (alguno de los algoritmos que seleccione) y explicaciones de forma gráfica con el fin de que le sea más fácil entender su implementación.

Lo más importante es que el usuario tenga control del OVA, esto es un diseño centrado en el usuario, para esto se permite que el usuario no solo cree los problemas sino que sea él quien pueda permitir que el desarrollo de la solución del mismo se dé; antes de que el usuario tenga contacto con los algoritmos se le presenta un menú en el cual puede ver de forma gráfica y sencilla como controlar el OVA, se hizo también consulta a expertos que pudieran dar recomendaciones para el diseño y éstas fueron tomadas en cuenta, como por ejemplo, el no hacer uso de imágenes de fondo, el no usar tipos de letra que dificultaran la legibilidad, entre otros.

Posterior se le permite al usuario crear un problema cualquiera para el algoritmo seleccionado y resolverlo haciendo uso del algoritmo en cuestión, paso a paso se le va mostrando como el algoritmo resuelve el problema.

Para los algoritmos “Colonia de hormigas”, “Algoritmo de Kruskal” y “Búsqueda en profundidad”, ya que éstos pueden trabajar con teoría de grafos de forma fácil y clara, se utilizó el mismo espacio de creación del problema por medio del diseño de un grafo por parte del usuario, el cual agrega nodos al grafo haciendo click en el fondo y luego interconectándolos (creando aristas) haciendo click en uno y luego click en el otro, así mismo se tiene un botón “Eliminar” para corregir errores o realizar cambios en el grafo que se está creando, en todo momento se tiene siempre un cuadro de texto en la parte

Heurísticas y Metaheurísticas

Este objeto virtual de aprendizaje tiene como objetivo la enseñanza de 4 herramientas entre heurísticas y metaheurísticas, útiles para la resolución de problemas, centrándonos en sus aplicaciones para la ingeniería industrial, las heurísticas y metaheurísticas presentadas se basan en teoría de grafos (gráficos a modo de redes compuestos por nodos y arcos) y una en procedimientos matemáticos, éstas herramientas permiten obtener resultados no necesariamente óptimos pero si útiles y buenos para la satisfacción de las restricciones de un problema.

Siguiente

Controles

Autor: Carlos Antonio Vega Atencia
Tutor: Ing. Juan Ángel Chica Urzola

Figura 5. Screenshot inicial del objeto virtual de aprendizaje, se encuentra un botón “Controles” en el cual se puede ver cómo reacciona el OVA a acciones del teclado, controlando así el OVA; con el botón “Siguiente” accedemos al menú principal.

Colonia de hormigas

Algoritmo de Kruskal

Búsqueda en profundidad

Búsqueda tabú

Terminar

No hay mas arcos que seguir, entonces regresamos al nodo anterior

Es un algoritmo que permite recorrer todos los nodos de un grafo o árbol de manera ordenada, pero no uniforme. Su funcionamiento consiste en ir expandiendo todos y cada uno de los nodos que va localizando, de forma recurrente, en un camino concreto. Cuando ya no quedan más nodos que visitar en dicho camino, regresa (Backtracking), de modo que repite el mismo proceso con cada uno de los hermanos del nodo ya procesado, básicamente su implementación intenta maximizar o minimizar (dependiendo del objetivo) el recorrido a través de toda la red o grafo; también puede simplemente recorrerlo (ningún objetivo).

Figura 6. El menú principal del OVA, en éste podemos elegir la metaheurística o heurística que deseemos, en el recuadro blancuzco de la derecha se muestra una explicación gráfica del funcionamiento del algoritmo, en el recuadro inferior se muestra la teoría relacionada.

inferior que indica al usuario que hace cada botón o en qué fase del OVA se encuentra, así como dando instrucciones para que el usuario sepa que hace en todo momento.

Luego de la creación del grafo se procede a que el usuario agregue valores a las aristas y por último el OVA, dependiendo de cual metaheurística o heurística se haya elegido al principio, navegará a un espacio adecuado para la resolución del problema creado por el usuario según las pautas de la heurística y metaheurística seleccionada al principio, en todo momento el usuario puede volver al paso anterior e incluso al menú principal si así lo desea.

Haciendo click en un área vacía se crea un nuevo nodo, haciendo click sobre un nodo se selecciona. Crea arcos entre los nodos seleccionando dos nodos.

FUNCIÓN OBJETIVO

No. de restricciones: 3

Función objetivo

Max[F(x,y)] = 1 x + 2 y

Terminar

Para ésta metaheurística se plantea un problema de programación lineal bidimensional (solo dos variables) para efectos de facilitar la explicación.

Figura 7. Arriba (Azul) podemos ver un screenshot (toma de pantalla) del proceso de creación de un problema de grafos por parte del usuario; en la parte inferior hay un texto que da una indicación básica o identifica los nodos/arcos sobre los cuales se coloque el cursor. Abajo (verde) se visualiza un screenshot el proceso de creación de un problema de programación lineal de dos variables para el algoritmo de búsqueda tabú.

Una vez terminada esta parte, el usuario puede ver que aplicaciones tiene dicho algoritmo en la ingeniería industrial, con un ejemplo sencillo de aplicación.

EJEMPLO DE APLICACIÓN (BUSQUEDA EN PROFUNDIDAD)

Tiene aplicabilidad también en distribución de plantas, o problemas de ruteo en logística. Para el ejemplo que mostraremos utilizaremos la parte logística: Supongamos que hay que establecer una ruta para abastecer 6 ciudades, minimizando la distancia recorrida.

Figura 8. Ejemplo de cómo se muestra la aplicación del algoritmo elegido en el menú principal, posterior a resolver el problema planteado por el usuario.

Al final se le hace un pequeño cuestionario de cinco preguntas referentes al tema visto, con el fin de que la persona pueda ver cuánto ha aprendido y en qué aspectos no está del todo claro el tema, ésta evaluación consiste en una serie de cinco preguntas sencillas relacionadas directamente con el algoritmo inicialmente elegido, el cuestionario es de selección múltiple con única respuesta ya que esto fue recomendado por los expertos evaluadores, además que facilita enormemente el diseño y la programación.

Búsqueda tabú

(Cuestionario)

1.) ¿Qué se entiende por "tabú"?

>> Es un elemento admisible >> Es un elemento que degenera los resultados

>> Resultado con tendencia óptima >> Un elemento que no se debe considerar

Figura 9. Se puede ver la forma del cuestionario, el cual es un cuestionario sencillo de 5 preguntas de selección múltiple con única respuesta, el sistema arroja al final una calificación según el número de preguntas respondidas correctamente.

El diseño en si hace que el OVA sea sencillo, con pocos pasos, lo que logra que el usuario no pase mucho tiempo frente al computador ya que por el tedio que eso puede causar se puede perder la atención y por ende la motivación del usuario.

V. VALIDACIÓN

Para la validación del objeto virtual de aprendizaje se hizo uso de la herramienta LORI (*Learning Object Review Instrument*), mediante el cual se hace una revisión y medición de diversas variables que componen un objeto de aprendizaje, como lo son:

1. Calidad de los contenidos: veracidad, exactitud, presentación equilibrada de ideas y nivel adecuado de detalle.
2. Adecuación de los objetivos de aprendizaje: coherencia entre los objetivos, actividades, evaluaciones, y el perfil del alumnado.
3. *Feedback* (retroalimentación) y adaptabilidad: contenido adaptativo o *feedback* dirigido en función de la respuesta de cada alumno/a y su estilo de aprendizaje.
4. Motivación: capacidad de motivar y generar interés en un grupo concreto de alumno/as.
5. Diseño y presentación: el diseño de la información audiovisual favorece el adecuado procesamiento de la información.
6. Usabilidad: facilidad de navegación, interfaz predictiva para el usuario y calidad de los recursos de ayuda de la interfaz.

7. Accesibilidad: el diseño de los controles y la presentación de la información están adaptadas para discapacitados y dispositivos móviles.
8. Reusabilidad: capacidad para usarse en distintos escenarios de aprendizaje y con alumno/as de distintos bagajes.
9. Cumplimiento de estándares: Adecuación a los estándares y especificaciones internacionales.

Estas variables son evaluadas de 1 (bajo) a 5 (alto). [9]

El proceso de validación mediante este instrumento se hizo por medio de un grupo de expertos evaluadores que, por medio del formato del instrumento, valoraron según lo estipulado, cada una de las variables mencionadas, sin embargo, el instrumento permite omitir algunas de estas variables según los objetivos del objeto de aprendizaje, se omitieron las variables “Cumplimiento de estándares” y “accesibilidad” ya que, para la primera, nuestro OVA está enfocado principalmente para uso de la Universidad de Córdoba, para la segunda, no disponemos de las tecnologías para permitir que el objeto de aprendizaje sea accesible a personas con discapacidad visual o mental, ya que se intenta subir el OVA a la plataforma de objetos de aprendizaje de la Universidad, el mismo sería accesible y visible desde dispositivos móviles con acceso a internet y con capacidad para visualizar objetos de Adobe Flash, mas sin embargo, ya que la variable estaría incompleta (pues se tiene acceso vía internet o algunos dispositivos móviles pero no es adecuado para personas con discapacidades visuales o mentales) se decidió mejor omitirla.

Los expertos evaluadores fueron cuidadosamente seleccionados teniendo en cuenta sus calidades, se tomó un experto en heurísticas y metaheurísticas, dos en desarrollo de software para enseñanza, uno en educación y otro en diseño para sistemas informáticos, la media de las calificaciones dadas por cada uno de los expertos (dando la misma ponderación e importancia a cada una de las variables evaluadas) fue de 4,46 lo cual, según la escala del Lori, equivaldría a “medio-atlo”.

VI. CONCLUSIONES

El instrumento de validación del objeto virtual de aprendizaje (LORI) nos permite darnos cuenta del nivel de calidad del OVA, midiéndolo en 3,86, lo que se entiende como un nivel medio-alto, esta calidad es medida de acuerdo a los objetivos del OVA, es decir, el Lori nos indica que el objeto de aprendizaje es adecuado y de buen nivel de calidad para el objetivo que nos hemos fijado, el cual es diseñar un objeto de aprendizaje virtual que permita a su usuario comprender y utilizar diferentes algoritmos de búsqueda (heurísticas y metaheurísticas).

Se desea subir el OVA a la plataforma de objetos virtuales de la Universidad de Córdoba desde la cual sería accesible a todo aquel que quiera verlo, ya que, en el caso particular del departamento de ingeniería industrial, los contenidos

programáticos de las asignaturas incluidas en el pensum de la carrera no incluyen temas similares, sería bueno para los estudiantes pues les permitiría aprender un tema extra de gran nivel de utilidad en el campo profesional y que no pueden ver en los salones de clases, de paso, despertar en ellos la curiosidad para conocer más acerca de éstos algoritmos y de otras heurísticas y metaheurísticas que puedan existir, el semillero de investigación ECEIA (Equipo creativo para el estudio y la enseñanza de la ingeniería industrial aplicada) de la Universidad continuará desarrollando mas objetos virtuales de aprendizaje con este mismo fin, cumpliendo así con su objetivo principal y facilitando al mismo tiempo este proceso.

En un futuro se puede hacer una revisión y adecuación a este proyecto con el fin de que pueda cumplir con estándares internacionales, de esa forma pueda tener mayor aceptación y ser “vendido” con mayor facilidad a otras instituciones que puedan requerirlo.

BIBIOGRAFÍA

- [1] Mario C. Vélez y José A. Montoya (2007). Metaheurísticos: Una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración e operaciones. Pag. 1 - Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).
- [2] Mario C. Vélez y José A. Montoya (2007). Metaheurísticos: Una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración e operaciones. Pag. 2 - Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).
- [3] Andres Chiappe Laverde – La virtualidad como estrategia de modernización Educativa, 2002, p. 12
- [4] Colombia Aprende (Ministerio de Educación Nacional, de Colombia) <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/directivos/1598/article-99393.html>
- [5] Eduardo A. Cruz T., Jorge H. Restrepo y Albeiro Moreno A. (2006) Negociación de portafolios de acciones usando la metaheurística recocido simulado, Universidad Tecnológica de Pereira.
- [6] Benjamín Barán - Marta Almirón - Colonia de Hormigas en un Ambiente Paralelo Asíncrono, Universidad Nacional de Asunción, Centro Nacional de Computación, San Lorenzo, Paraguay
- [7] Rivera A. Juan Carlos (2008). Comparación entre búsqueda tabú y búsqueda en vecindarios variables para resolver el problema de programación de proyectos con recursos limitados. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- [8] Vitaly Osipov, Peter Sanders and Johannes Singler (2009). The Filter-Kruskal Minimum Spanning Tree Algorithm.
- [9] Leacock, T.L. & Nesbit, J.C. (2007). The quality of learning objects. Educational technology and society, 10(2), 44-59.

Carlos A. Vega Estudiante de último semestre de ingeniería industrial, nacido en Cartagena, Colombia el 18 de Julio de 1988, graduado bachiller en el Colegio El Rosario, año 2004.

Juan A. Chica Ingeniero industrial. Especialista en Ingeniería de Producción, M. Sc. en Ingeniería Industrial.