

Proceso analítico jerárquico para evaluar tres laboratorios virtuales en la educación superior*

Campo Elías Riaño-Luna

Doctor EaD y Tecnología Instruccional, NOVA University. Docente asistente de la ECBTI de la UNAD - Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá, Colombia.
campo.riano@unad.edu.co

Martha Liliana Palomino-Leiva

Magister en Educación Virtual, UNAD, Docente Ocasional, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades, Dosquebradas - Risaralda, Colombia.
martha.palomino@unad.edu.co

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estandarizar un protocolo bajo un proceso analítico jerárquico (AHP), para evaluar el uso y la pertinencia de los laboratorios virtuales o prácticas académicas simuladas en un ambiente virtual de aprendizaje de la educación superior a distancia. Para el efecto se siguió un enfoque cuantitativo, tipo descriptivo, para evaluar y categorizar jerárquicamente tres laboratorios virtuales comerciales de química. En el proceso participaron diez estudiantes y siete profesores expertos en cursos teóricos prácticos, ofertados en aula virtual bajo la plataforma Moodle. Los criterios analizados fueron: funcionalidad (FUN), fiabilidad (FIA), usabilidad (USAB), eficiencia (EFI), mantenibilidad (MAB), portabilidad (POR), aspectos técnicos (ASPT), aspectos psicopedagógicos (ASPS), aspectos comunicacionales (ASPC) y los aspectos administrativos (ASPA) de los laboratorios virtuales. El análisis y la jerarquización de los criterios y los laboratorios virtuales (LVs) con estas variables se realizaron matrices de comparación pareadas. La razón de consistencia entre las decisiones pareadas que realizaron los evaluadores fue de 0.05885, y al ser esta menor a 0.10, se concluye que es una metodología pertinente para analizar y evaluar objetivamente laboratorios virtuales y además los clasifica jerárquicamente, acorde con sus atributos.

PALABRAS CLAVE

Laboratorios virtuales, proceso analítico jerárquico, matrices de comparación, normalización, índice de consistencia geométrico, razón de consistencia.

Analytical, hierarchical process to evaluate three virtual labs in a higher education setting

ABSTRACT

The purpose of this work was to standardize a protocol using an analytical hierarchical process (AHP) to evaluate the use and relevance of virtual labs or simulated academic practices in a virtual learning environment for distance higher education. To this end, a quantitative, descriptive approach was used for evaluating and making a hierarchical categorization of three virtual commercial chemistry labs. Ten students and seven professors, who are experts in theoretical and practical courses offered in virtual classrooms, participated in the study, using the Moodle e-learning platform. The following criteria were analyzed: functionality (FUN), reliability (FIA), usability (USAB), efficiency (EFI), maintainability (MAB), portability (POR), technical aspects (ASPT), psycho pedagogical aspects (ASPS), communicational aspects (ASPC), and administrative aspects (ASPA) of virtual labs. The review and hierarchical classification of the criteria and virtual labs (VLs) with these variables were carried out using paired comparison matrices. The consistency ratio of the evaluators' paired decisions was 0.05885. Since it was lower than 0.10, it can be concluded that this approach is suitable not only for an objective review and analysis of virtual labs, but also for a hierarchical classification of virtual labs based on their attributes.

Recibido: 06/02/2014 Aceptado: 15/12/2014

* Artículo resultado del proyecto PG-14. Enfoque e implantación de un entorno virtual de prácticas para la enseñanza y el aprendizaje de un curso metodológico experimental. Tecnología de café. Financiado por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21102> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: RIAÑO-LUNA, Campo Elías y PALOMINO-LEIVA, Martha Liliana. Proceso analítico jerárquico para evaluar tres laboratorios virtuales en la educación superior. *En*: Entramado. Enero - Junio, 2015 vol. 11, no. 1, p. 194-204, <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21102>

KEYWORDS

Virtual labs, analytical hierarchical process, comparison matrices, standardization, geometric consistency index, consistency ratio.

Proceso analítico jerárquico para avaliar três laboratórios virtuais na educação superior

RESUMO

O objetivo desse estudo foi o de padronizar um protocolo no âmbito de um processo analítico hierárquico (AHP) para avaliar o uso e a pertinência dos laboratórios virtuais ou práticas acadêmicas simuladas em um ambiente virtual de aprendizagem de educação superior a distância. Para esse efeito foi seguida uma abordagem quantitativa do tipo descritivo para avaliar e categorizar hierarquicamente 3 laboratórios virtuais comerciais de química. No processo participaram 10 estudantes e 7 professores, peritos em cursos teóricos e práticos oferecidos em sala de aulas virtuais na plataforma Moodle. Os critérios analisados foram: funcionalidade (FUN), confiabilidade (FIA), usabilidade (USAB), eficiência (EFI), capacidade de manutenção (MAB), portabilidade (POR), aspectos técnicos (ASPT), aspectos psicopedagógicos (ASPS), aspectos comunicacionais (ASPC) e os aspectos administrativos (ASPA) dos laboratórios virtuais. A análise e a hierarquização dos critérios e laboratórios virtuais (LVs) com essas variáveis foram realizadas com matrizes de comparação pareada. A razão para a consistência entre as decisões pareadas que os avaliadores realizaram foi de 0,05885 e, sendo esta inferior a 0,10 se conclui que essa metodologia é pertinente para analisar e avaliar objetivamente os laboratórios virtuais além de os classificar hierarquicamente de acordo com seus atributos.

PALABRAS-CHAVE

Laboratórios virtuais, processo analítico hierárquico, matrizes de comparação, normalização, índice de consistência geométrico, razão de consistência.

Introducción

Los cursos teórico - prácticos de los programas de ingeniería, y en especial los ofertados en la modalidad de educación a distancia, que se sustentan en un enfoque constructivista, requieren de procesos de comunicación e interacción permanente entre los actores, materiales, recursos tecnológicos y los laboratorios o prácticas en contexto. En estos, los estudiantes aprenden asociando nuevas experiencias a conocimientos previos para construir conocimientos más complejos (Sherman y Kurshan, 2005). De manera que las prácticas en el área de las tecnologías aplicadas son importantes, debido a que en estas el estudiante disipa dudas, comprueba los aspectos teóricos y, en general, fortalece su aprendizaje a través del descubrimiento (Bruner, 1966) y su interacción.

Para potenciar este tipo de aprendizajes el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TICs) ha sido fundamental puesto que a través de multimedia, video juegos, programas de simulación y los micromundos han potenciado el desarrollo de laboratorios virtuales, tal como lo proponen varios autores (Hlupic y Mann, 2002; Le y Le, 2007; Ramos, Peláez, García y Ruiz, 2007; Azadeh, Shirkouhi y Rezaie, 2009).

De estas tecnologías, el laboratorio virtual es un simulador que mediante el uso de lenguajes de programación interactiva, los estudiantes reciben información y realizan actividades de manera autónoma. Laboratorios y prácticas que tie-

nen como propósito potenciar el desarrollo de habilidades y nuevas formas de conocimiento.

Sin embargo, su selección debe ser cuidadosa y hacerse con criterios objetivos de calidad, puesto que se debe determinar si se adecuan al entorno de aprendizaje (Marqués, 1995, 2004; Galvis, 2000, Mcdougal y Squires, 2001). Es decir, si permite el diálogo con el usuario o son interactivos (Marqués, 2004, 2005). Si los estudiantes mejoran sus aprendizajes mediante su aplicación específica (Jadhav y Sonar, 2009), y si su aplicación corresponde con los objetivos específicos del componente práctico del curso o del programa (González y Wagenaar, 2003), sumado a los requerimientos que se necesitan para insertarlos dentro de las plataformas donde se ofrecen los cursos en línea (Verma, Gupta y Singh, 2008).

Igualmente, a juicio de Office of Technology Assessment, 1989; Mcdougal y Squires, 2001; Díaz-Antón, 2002; Lê y Lê, 2007; Cataldi, Donnamaria y Lage, 2009; Cataldi, Chiarenza, Dominighini, Donnamaria y Lage, 2012, la calidad del software está determinada no sólo por los aspectos técnicos del producto sino por el diseño pedagógico y los materiales que le dan soporte.

De acuerdo con los anteriores conceptos, en este trabajo se presenta la técnica de proceso analítico jerárquico (AHP), como herramienta para clasificar jerárquicamente tres laboratorios virtuales comerciales_A, B y C, para cursos de química analítica ofertados en línea. Para el efecto se valoraron 10 criterios, extractados de trabajos científicos sobre la temática (Marqués, 1995, 2004, 2005; Verma, Gupta

y Singh, 2008; Rada, 2013; Riaño y Palomino, s.f.) y se siguió el procedimiento de análisis jerárquico (AHP) propuesto por Davis y Williams (1994) y Saaty (2001, 2009).

Los resultados muestran que con la aplicación de este tipo de herramientas de decisión multicriterio se logra una mayor objetividad en el resultado final de selección y aplicación de un laboratorio virtual en la educación superior.

I. Marco teórico

El proceso analítico jerárquico (AHP), es una técnica multicriterio que busca reducir la brecha entre la subjetividad y la objetividad, cuando de tomar decisiones complejas se trata. El problema de decisión se modela mediante una jerarquía en cuyo vértice superior está el principal objetivo del problema, meta a alcanzar y, en la base, se representan los criterios (los cuales a su vez se pueden estructurar también en jerarquías), con base en los cuales se toma la decisión (Lai, Wong y Cheung, 2002). En los niveles intermedios se hallan las posibles alternativas a evaluar, tal como se ilustra en la Figura 1.

En este trabajo se siguieron los procedimientos propuestos por Davis y Williams (1994) y por Saaty (2001, 2009), quienes recomiendan:

- Partir del interés que puede tener un decisor de seleccionar entre un conjunto de alternativas, cuál de ellas es más interesante para su propósito.
- Definir cuáles criterios se van a utilizar para establecer la selección, es decir, cuáles son las características que pueden hacer más deseable una alternativa sobre otra.
- Y decidir si todos los criterios influyen de la misma forma en la alternativa de interés, o bien influyen en pesos de importancia distintos. El experto puede cuan-

tificar el grado de presencia o ausencia de determinado criterio, generalmente estos pesos de importancia son diferentes y requieren de una ponderación previa.

Para el efecto, en el presente trabajo se utilizó una herramienta validada mediante el método Delphi de consulta a expertos, con el cual se identificaron y se validaron consensuadamente los criterios que determinan la pertinencia de los laboratorios virtuales en la educación superior (Riaño y Palomino, s.f.). Esta herramienta tiene una fiabilidad o alfa de Cronbach de $r=0.814$, y un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0.05$) (Riaño y Palomino, s.f.). Los criterios que se evaluaron en cada uno de los tres laboratorios virtuales se muestran en la Tabla 1 (Ver pág. 197).

Y para comparar objetivamente estos criterios, se construyó una escala de Likert, elaborada siguiendo las orientaciones de la Office of Technology Assessment (1989), de Vargas (1990), de Saaty (2001, 2009), de Davis y Williams (1994), Ossadnik y Lange (1999) y de Cabala (2010) para este proceso analítico jerárquico (AHP), tal como se presenta en la Tabla 2.

2. Metodología

El enfoque fue cuantitativo, puesto que se utilizaron datos de medición numérica y análisis comparativo, para establecer patrones de comportamiento y validar teorías (Sampieri, Collado y Baptista, 2010).

El diseño de la investigación fue transeccional descriptiva; su propósito fue indagar y validar categorías, variables e indicadores para la evaluación de laboratorios virtuales en cursos teórico – prácticos ofertados en la modalidad de educación superior a distancia, realizados bajo el proceso analítico jerárquico (AHP).

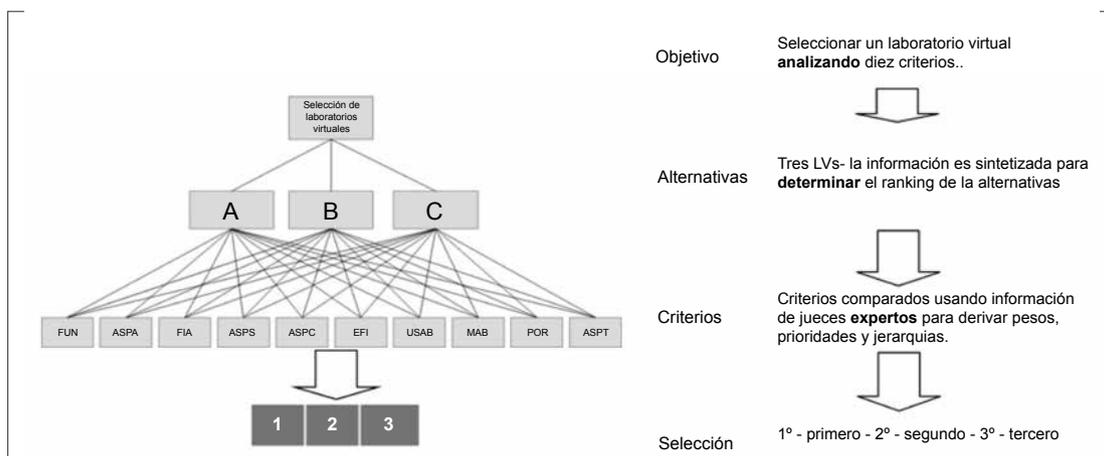


Figura 1. Estructura y metodología para seleccionar laboratorios virtuales (LVs) acorde con la técnica de análisis jerárquico (AHP).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.

Definición de los criterios y escala para la evaluación de laboratorios virtuales (LVs).

Atributos o criterios grupales a evaluar en un laboratorio virtual por análisis jerárquico	Código	Definición del criterio
Funcionalidad	FUN	Capacidad del producto del software para proveer funciones que cumplan con necesidades específicas o implícitas, cuando el software es utilizado bajo ciertas condiciones.
Fiabilidad	FIA	Capacidad del producto de software para mantener un nivel especificado de rendimiento cuando es utilizado bajo condiciones especificadas.
Usabilidad	USAB	Capacidad del producto de software para ser atractivo, entendido, aprendido y utilizado por el usuario bajo condiciones específicas.
Eficiencia	EFI	Capacidad del producto de software para proveer un rendimiento apropiado, relativo a la cantidad de recursos utilizados, bajo condiciones específicas.
Mantenibilidad	MAB	Capacidad del producto para ser modificado.
Portabilidad	POR	Capacidad del producto de software para ser transferido de un ambiente a otro.
Aspectos Técnicos	ASPT	Son todas las características diseñadas para apoyar los procesos educativos de un recurso informático. Comprenden el acceso al programa, su instalación, operación, presentación y navegación del LV.
Aspectos psicopedagógicos	ASPS	Son todas las características del LV que se vinculan directamente a los aspectos que llevan a cabo los procesos de la educación, tales como el currículum, el modelo pedagógico, el maestro y el alumno, considerados como sujetos principales de dicho proceso, las estrategias de enseñanza y aprendizaje, y la evaluación de los aprendizajes, entre otros.
Aspectos Comunicacionales	ASPC	Es la forma en que los usuarios interactúan entre sí y con el LV, sincrónica y asincrónicamente para alcanzar los fines-propósitos y objetivos. Siendo la(s) interfaces con que cuenta la plataforma del equipo, el lenguaje de programación y el ambiente gráfico combinado con otros recursos, utilizados e incorporados de acuerdo al perfil de los usuarios.
Aspectos Administrativos	ASPA	Se refieren al uso, la operación y los costos del LV.

Fuente: Tomado con fines académicos de: Marquès (2004); Mendoza, Pérez y Grimán (2005); Jadhava y Sonar (2009); ISO/IEC 9126-1; Verma, Gupta y Singh (2008).

Tabla 2.

Escala ordinal para la comparación relativa de las características de la Tabla 1.

Escala verbal	Los elementos de la columna y el renglón tienen la misma importancia.	El elemento de la columna es ligeramente más importante que el elemento del renglón.	El elemento de la columna es más importante que el elemento del renglón.	El elemento de la columna es fuertemente más importante que el elemento del renglón.	El elemento de la columna es muy fuertemente más importante que el elemento del renglón.
Explicación	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo.	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.	Un elemento es muy dominante.	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia.
Escala numérica	1	3	5	7	9
Recíproco	1	1/3	1/5	1/7	1/9

Fuente: Tomado con fines académicos de Office of Technology Assessment (1989); Vargas (1990); Saaty (2001, 2009); Davis & Williams (1994); Ossadnik & Lange (1999); Cabala (2010).

Inicialmente, se identificaron los criterios y escalas de evaluación más comunes para construir y evaluar laboratorios virtuales, siguiendo la metodología Delphi (Landeta, 2002; Altschuld, 2003; Riaño y Palomino, s.f), la cual permitió, además, la construcción de la escala de Likert y los valores indicados en las Tablas 1 y 2.

Seguidamente se seleccionaron diez estudiantes que habían cursado la materia y siete docentes expertos en educación a distancia y en tecnologías de la información y la comunicación; quienes por triplicado evaluaron cada uno de los tres laboratorios virtuales de química, con la escala de evaluación construida para este estudio.

Para comparar entre sí los tres laboratorios virtuales, se siguieron los procedimientos desarrollados por Saaty (1990, 2001, 2009) y Davis y Williams (1994), quienes proponen en primera instancia corroborar la consistencia de las respuestas de los decisores. Para el efecto, se siguieron siete etapas: en la primera con los valores otorgados por los decisores se construyó una matriz de decisión o comparación; en la segunda se normalizaron los datos de la matriz de comparación; en la tercera se calcularon los valores propios de las decisiones; en la cuarta se priorizaron los criterios; en la quinta se calculó el máximo valor propio o lambda máximo; en la sexta se calculó la consistencia de las decisiones y en la séptima etapa se realizó la comparación de los laboratorios virtuales objeto de estudio.

Las etapas descritas en el párrafo anterior permitieron comparar pareadamente cada criterio y calcular el vector de prioridad (auto vector o eigen value), el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR) (por sus siglas en inglés) (Saaty, 2001). Estos índices (CI y CR) permiten definir hasta qué punto la decisión en la comparación por pares es consistente y no está influenciada por sesgos o por contradicciones (Ozdemir, 2005; Alonso, 2006). Es decir, validan que los juicios no tengan errores entre ellos, o no se haya producido contradicciones en los mismos. Un valor de este coeficiente inferior a 0.10 es considerado aceptable. Para aquellos casos en que sea mayor, las opiniones y los juicios deben ser reevaluados.

Finalmente, los expertos evaluaron con la misma escala de Likert cada uno de los diez criterios seleccionados en cada uno de los tres laboratorios virtuales comerciales (A, B y C) objeto del trabajo. El procedimiento matemático continuó hasta determinar el orden jerárquico o la prioridad con base en los factores de peso de los criterios que intervienen en la toma de decisiones, según los expertos (Alanbay, 2005; Saaty, 2001, 2009); factores que representan en forma indirecta los elementos de calidad de un laboratorio virtual (ver Tablas 3 a 10).

El tratamiento matemático y la clasificación numérica de los criterios evaluados se realizó en excel, acorde con los conceptos de Vargas (1990), de Davis y Williams (1994), de Lai, Wong y Cheung (2002), de Alanbay (2005) y de Saaty (2001, 2009), como se presentan en las Tablas 3 a 10.

3. Resultados

En este apartado se describe el procedimiento seguido y los resultados generales para cada una de las etapas seguidas:

Etapas 1. Construcción de la matriz de decisión. Con los criterios de calidad definidos en la Tabla 1 y la escala de Likert, Tabla 2, cada decisor realizó el análisis por pares. Es decir, se comparó la importancia de cada uno de los criterios de calidad de manera biunívoca o par a par, los criterios establecidos verticalmente contra los criterios establecidos horizontalmente: fueron Funcionalidad (FUN) con Fiabilidad (FIA); Funcionalidad (FUN) con eficiencia (EFI), hasta llegar a comparar Funcionalidad (FUN) con los aspectos académicos (ASPA). Y así sucesivamente, hasta comparar cada uno de los criterios verticales con los horizontales, tal como se indica en la Tabla 3.

Para el presente trabajo los decisores consideraron que la funcionalidad (FUN), la fiabilidad (FIA), la usabilidad (USAB), la eficiencia (EFI), la mantenibilidad (MAB) y los aspectos técnicos (ASPT), tienen la misma importancia- valor igual a 1 para la selección de laboratorios virtuales. Así mismo, los decisores consideraron que la funcionalidad (FUN) es ligeramente más importante-valor de 3 que la portabilidad (PQR) y que los aspectos académicos (ASPA); y medianamente más importante-valor de 2 que los aspectos comunicacionales (ASPC). También se observa que los aspectos psicopedagógicos (ASPS) fueron considerados más importantes-valor de 3, que la funcionalidad (FUN)- valor de $1/3$ o el recíproco, tal como se indica en la Tabla 3. Igualmente, para los decisores la eficiencia (EFI) es más importante-valor de 3 que la portabilidad (PQR) y que los aspectos académicos (ASPA).

En la fila de los aspectos psicopedagógicos (ASPS) se nota que este criterio fue considerado más importante-valor de 5 que la portabilidad (PQR). Los aspectos psicopedagógicos (ASPS) son ligeramente más importantes-valor de 3 que la funcionalidad (FUN), que la fiabilidad (FIA), la usabilidad (USAB), la mantenibilidad (MAB), los aspectos comunicacionales (ASPC), aspectos académicos (ASPA) y la portabilidad (PQR).

En la Tabla 3, el valor de 1 indica que los dos aspectos comparados tienen la misma preferencia para los pares. Y los valores $1/3$ y $1/2$ corresponden a los inversos de los valores

Tabla 3.

Tabla comparativa para el grupo de características para evaluar laboratorios virtuales.

	FUN	FIA	USAB	EFI	MAB	POR	ASPT	ASPS	ASPC	ASPA
FUN	1	1	1	1	1	3	1	1/3	2	3
FIA	1	1	1	1/3	1	3	1	1/3	1	3
USAB	1	1	1	1	1	1	1	1/3	1	1/3
EFI	1	3	1	1	1	3	1	1/2	3	1
MAB	1	1	1	1	1	3	1	1/3	1	1
POR	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/5	1/3	1
ASPT	1	1	1	1	1	3	1	1/2	1	2
ASPS	3	3	3	2	3	5	2	1	3	3
ASPC	1/2	1	1	1/3	1	3	1	1/3	1	3
ASPA	1/3	1/3	3	1	1	1	1/2	1/3	1/3	1

Fuente: Elaboración propia.

3 y 2 respectivamente, es decir, que la comparación funciona en los dos sentidos.

Etapa 2. Normalización de las decisiones. Después de haber realizado las comparaciones de todos los criterios de la Tabla 3, las calificaciones otorgadas por los decisores se tratan matemáticamente como una matriz, para lo cual se suman cada uno de los valores de las columnas hasta obtener la sumatoria total y la desviación estándar para cada una.

Posteriormente, se normaliza la matriz de la Tabla 3, es decir, se divide cada término de cada una de las columnas de la Tabla 3 por el valor de la suma total de su respectiva columna reportada en la Tabla 4, y se obtiene otra matriz, tal como se presenta en la Tabla 5.

Etapa 3. Cálculo de los valores propios. Con la matriz de la Tabla 5, se calcula el vector de prioridad o auto vector de cada criterio, el cual es el promedio de la suma de las filas de los valores normalizados de cada uno de los criterios, dividido por el número de criterios en evaluación-10 para este trabajo. Ver la columna de auto vector o peso relativo de cada criterio en evaluación en la Tabla 6. La suma de estos auto vectores debe ser igual a 1.00, como lo propuso Saaty (1990, 1994) y se observa en la Tabla 6 (pág. 200).

Etapa 4. Priorización de los criterios. Consiste en ordenar los valores de los auto vectores acorde con el peso calculado de mayor a menor; es decir, los aspectos psicopedagógicos (ASPS)_1eros, la eficiencia (EFI)_2da, la funcionalidad (FUN)_3era, los aspectos técnicos (ASPT)_4tos, laabili-

Tabla 4.

Sumatoria total de las columnas de la matriz del puntaje dado por los decisores.

Suma	10,167	12,667	14,000	9,000	11,333	26,000	9,833	4,200	13,667	18,333
Media	1,017	1,267	1,400	0,900	1,133	2,600	0,983	0,420	1,367	1,833
De.Est.	0,755	0,953	0,843	0,498	0,689	1,265	0,434	0,222	0,974	1,080

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.

Resultados de la normalización de las comparaciones pareadas de los criterios para evaluar laboratorios virtuales.

	FUN	FIA	USAB	EFI	MAB	POR	ASPT	ASPS	ASPC	ASPA
FUN	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,079	0,146	0,164
FIA	0,098	0,079	0,071	0,037	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,164
USAB	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,038	0,102	0,079	0,073	0,018
EFI	0,098	0,237	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,119	0,220	0,055
MAB	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,055
POR	0,033	0,026	0,071	0,037	0,029	0,038	0,034	0,048	0,024	0,055
ASPT	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,119	0,073	0,109
ASPS	0,295	0,237	0,214	0,222	0,265	0,192	0,203	0,238	0,220	0,164
ASPC	0,049	0,079	0,071	0,037	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,164
ASPA	0,033	0,026	0,214	0,111	0,088	0,038	0,051	0,079	0,024	0,055

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resultados de la normalización de las comparaciones pareadas de los criterios para evaluar laboratorios virtuales.

	FUN	FIA	USAB	EFI	MAB	POR	ASPT	ASPS	ASPC	ASPA	Suma	Autovectores
												Peso=Suma/# criterios
FUN	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,079	0,146	0,164	1,055	0,105
FIA	0,098	0,079	0,071	0,037	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,164	0,907	0,091
USAB	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,038	0,102	0,079	0,073	0,018	0,759	0,076
EFI	0,098	0,237	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,119	0,220	0,055	1,216	0,122
MAB	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,055	0,872	0,087
POR	0,033	0,026	0,071	0,037	0,029	0,038	0,034	0,048	0,024	0,055	0,396	0,040
ASPT	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,119	0,073	0,109	0,966	0,097
ASPS	0,295	0,237	0,214	0,222	0,265	0,192	0,203	0,238	0,220	0,164	2,250	0,225
ASPC	0,049	0,079	0,071	0,037	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,164	0,858	0,086
ASPA	0,033	0,026	0,214	0,111	0,088	0,038	0,051	0,079	0,024	0,055	0,720	0,072
TOTAL											10	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Resultados de la jerarquización de los criterios para evaluar laboratorios virtuales.

	FUN	FIA	USAB	EFI	MAB	POR	ASPT	ASPS	ASPC	ASPA	Suma	Autovectores	Jerarquización
												Peso=Suma/# criterios	
FUN	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,079	0,146	0,164	1,055	0,105	3
FIA	0,098	0,079	0,071	0,037	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,164	0,907	0,091	5
USAB	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,038	0,102	0,079	0,073	0,018	0,759	0,076	8
EFI	0,098	0,237	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,119	0,220	0,055	1,216	0,122	2
MAB	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,055	0,872	0,087	6
POR	0,033	0,026	0,071	0,037	0,029	0,038	0,034	0,048	0,024	0,055	0,396	0,040	10
ASPT	0,098	0,079	0,071	0,111	0,088	0,115	0,102	0,119	0,073	0,109	0,966	0,097	4
ASPS	0,295	0,237	0,214	0,222	0,265	0,192	0,203	0,238	0,220	0,164	2,250	0,225	1
ASPC	0,049	0,079	0,071	0,037	0,088	0,115	0,102	0,079	0,073	0,164	0,858	0,086	7
ASPA	0,033	0,026	0,214	0,111	0,088	0,038	0,051	0,079	0,024	0,055	0,720	0,072	9
TOTAL											10		
Media	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
De.Est.	0,074	0,075	0,060	0,055	0,061	0,049	0,044	0,053	0,071	0,059			

Fuente: Elaboración propia.

dad (FIA)_5ta, la mantenibilidad (MAB)_6ta, los aspectos comunicacionales (ASPC)_7mos, la usabilidad (USAB)_8va, los aspectos psicopedagógicos (ASPS)_9nos y la portabilidad (POR)_10ma. Ver la columna de jerarquización de la Tabla 7.

Etapa 5. Cálculo del máximo valor propio o lambda máximo- λ_{max} . Saaty (2001, 2009) lo establece como el producto de la multiplicación de cada uno de los valores pro-

prios o autovectores de los criterios tomados de la Tabla 7 por el total de la suma de los valores de la columna de cada criterio procedentes de la Tabla 6, tal como se describe en la Tabla 8. El máximo valor propio es la suma de todos los máximos valores propios, calculados para cada criterio. Ver Tabla 8.

El máximo valor propio λ_{max} para este trabajo es de 10,785.

Tabla 8. Máximo valor propio λ_{max}

Valores Propios (V.P)	FUN	FIA	USAB	EFI	MAB	POR	ASPT	ASPS	ASPC	ASPA
	0,105	0,091	0,076	0,122	0,087	0,040	0,097	0,225	0,086	0,072
Suma	10,167	12,667	14,000	9,000	11,333	26,000	9,833	4,200	13,667	18,333
Suma x V.P	1,072	1,149	1,063	1,095	0,989	1,029	0,950	0,945	1,173	1,321
Maximo valor propio	10,785									

Fuente: Elaboración propia.

Etap 6. Consistencia de las decisiones. El siguiente paso es determinar si los decisores han sido consistentes en sus evaluaciones. Entonces, siguiendo a Saaty (2001, 2009), con los valores de las Tablas 7 y 8, se calculan los indicadores con las ecuaciones de la Tabla 9.

En la Tabla 9, el resultado a resaltar es la razón de consistencia (RC), Saaty (2001) argumenta que cuando la razón de consistencia es inferior a 0.1, indica que los juicios están dentro de los límites recomendados, son consistentes y se debe continuar con el proceso.

Para este trabajo, la razón de consistencia (RC) fue de 0,05885 y, como es inferior a 0.1, continuamos con la etapa siguiente.

Etap 7. Comparación de los laboratorios virtuales objeto de estudio. Finalmente, y dado que la razón de consistencia es inferior a 0.1, procedemos a comparar los laboratorios virtuales ante cada uno de los criterios, siguiendo el mismo proceso de las etapas 1 a 5 anteriormente descritas: matriz de los puntajes otorgados por los decisores, matriz de normalización, hasta llegar a la columna de priorización, jerarquización o importancia de los laboratorios virtuales acorde con los criterios en estudio, tal como se ilustra en la Tabla 10.

La clasificación relativa demuestra que el peso de los laboratorios virtuales (LVs) A, B y C son (0.35, 0.339 y 0.310 respectivamente), tal como se indica en la Figura 1 (pág. 202).

4. Discusión

La técnica de proceso analítico jerárquico (AHP) se adapta a situaciones muy diversas, su cálculo es sencillo, y consiste en la selección de alternativas, en función de una serie de variables o criterios. En este trabajo se siguieron las siguientes etapas: a) Definición del problema, b) Selección de decisiones, c) Identificación de las alternativas factibles, d) Construcción de los instrumentos para la evaluación, e) Tratamiento o análisis de los juicios, f) Síntesis de los resultados, g) Construcción del modelo jerárquico – toma de la decisión, y h) Validación de la decisión; ruta que valida la metodología propuesta por Saaty (2001, 2009) y Azadeh y Shirkouhi (2009) para el proceso analítico jerárquico (AHP) y la toma de decisiones.

El proceso seguido corrobora que el uso adecuado de las herramientas informáticas para simular y trabajar virtualmente un componente práctico requiere de una cuidadosa selección y ejercitación para garantizar su efectividad, como lo han propuesto varios investigadores (Bourne, Harris y Mayadas, 2005; Cataldi y colaboradores, 2012). El análisis realizado permitió visualizar y analizar la sensibilidad del resultado de la clasificación lograda, puesto que se ordenaron las alternativas de los laboratorios virtuales (LVs) respecto a la importancia de los criterios de comparación o variables de decisión, como lo proponen Alonso (2006), Azadeh y Shirkouhi (2009) y Cabala (2010). Sin embargo, la técnica de análisis multicriterio (AHP), requiere una buena

Tabla 9.
Indicadores de los criterios para evaluar LVs.

Indicador	Ecuaciones	Valor Calculado
Índice de consistencia geométrico (IC) de las respuestas de los decisores	$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ λ_{\max} es la sumatoria de los índices de consistencia geométricos (IC) de cada una de los criterios evaluados.	0,0871
Índice de consistencia aleatorio (IA)	$IA = 1.98 (n - 2) / n$	1.584
Razón de Consistencia (RC)	$RC = IC / IA$	0,05885

Fuente: Ecuaciones tomadas de Saaty (1980).

Tabla 10.
Matriz de comparación de los laboratorios virtuales (LVs) en términos de los criterios seleccionados.

	ASPS	FUN	USAB	EFI	ASPT	ASPC	POR	FIA	ASPA	MAB	Normalización	% Importancia	Jerarquización
A	1/3	3/5	3/7	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	3,505	35,048%	1
B	1/3	1/5	3/7	3/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	3,390	33,905%	2
C	1/3	1/5	1/7	3/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	3,105	31,048%	3
Suma	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	100%	
De.Est	0	0,23	0,16	0,16	0	0	0	0	0	0			

Fuente: Elaboración propia.

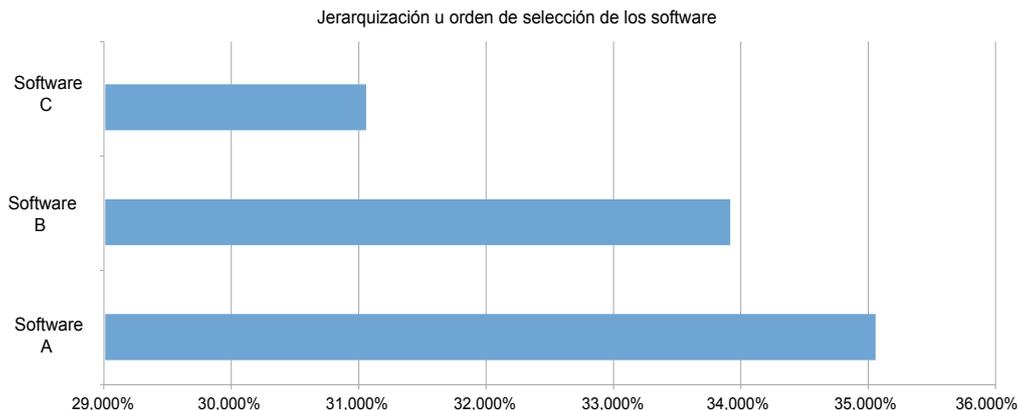


Figura 2. Resultados de la jerarquización-prioridad de los laboratorios virtuales (LVs) en evaluación.
Fuente: Elaboración propia.

selección de los evaluadores o decisores quienes son los que definen los criterios y evalúan las alternativas, como lo proponen Davis y Williams (1994), Ozdemir (2005), Palcic y Lalic (2009) y Riaño y Palomino (s.f.).

Los diez criterios fueron clasificados jerárquicamente evidenciándose que el criterio de aspectos pedagógicos (ASPS) es más importante que el de eficiencia (EFI). Al mismo tiempo, este criterio es mucho más importante que la contribución del criterio de funcionalidad (FUNC) para seleccionar los laboratorios virtuales. Las decisiones que tomaron los expertos son perfectamente aceptables, puesto que la razón de consistencia fue de 0,05885 para el proceso, seguido, como lo recomiendan Saaty (2009), Ozdemir (2005) y Alonso (2006).

5. Conclusiones

Los diez criterios seleccionados dan un referente apropiado para evaluar y seleccionar laboratorios virtuales (LVs) puesto que el proceso seguido fue consistente y hace posible la toma de decisiones razonables para seleccionar laboratorios virtuales. Con el proceso analítico jerárquico (AHP) se pueden seleccionar objetivamente estos laboratorios, puesto que permite verificar la consistencia de cada uno de los criterios evaluados, y por ende, la consistencia de las respuestas de los expertos decisores. La ruta seguida es pertinente para evaluar y/o seleccionar los laboratorios virtuales.

El proceso analítico jerárquico (AHP) es una técnica y metodología que permite desarrollar y actualizar modelos de evaluación y de selección de laboratorios virtuales; puesto que permite depurar y clasificar aquellas especificaciones o criterios que pueden garantizar que el software que se va a utilizar cumple con los criterios necesarios para poder ser aplicado en un determinado contexto.

El instrumento y el método de evaluación propuesto no está orientado a una lista de cotejo, sino que implican la reflexión del docente acerca del valor de ciertos criterios que se consideran importantes dentro de cada uno de los laboratorios virtuales, presentándose una evaluación más precisa y ajustada a la realidad.

El proceso analítico jerárquico (AHP) logra combinar todos los juicios de los expertos en varias matrices, en las cuales las alternativas de los laboratorios virtuales quedan organizadas desde la más hasta la menos indicada. La esencia del proceso analítico jerárquico (AHP) es la determinación de los pesos relativos para clasificar las alternativas de decisión. En este estudio, se ha identificado que mediante el uso del proceso analítico jerárquico (AHP) en los laboratorios virtuales tomados como modelos se pueden evaluar los atributos de estos de manera diferente, a partir de criterios de evaluación simples. Igualmente, el proceso analítico jerárquico (AHP) describe una decisión de compra efectiva, descubriendo los atributos eficaces de las diferentes alternativas de los laboratorios analizadas.

El cuestionario incluyó diez criterios pertinentes para la evaluación y clasificación, jerárquicamente, de laboratorios virtuales (LVs) con una razón de consistencia de 0,05885.

La mejor opción de laboratorios virtuales (LVs) es la A, puesto que es la que recibe la mayor puntuación total_35% (valor máximo próximo a 1), la opción B es la siguiente_33.9% y la última, es la C_31% como lo han determinado para otros casos. Así, de los laboratorios virtuales en evaluación A es el de mayor peso, B es la opción siguiente y C es la menos apropiada para la actividad requerida. De esta forma es posible evaluar laboratorios, softwares multimedia o simuladores, con propuestas que siguen medidas y estándares de evaluación según las normas ISO/IEC 9126 (1991).



Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), a los expertos docentes y a los estudiantes que de una forma u otra colaboraron para la realización de este trabajo; al profesor Marqués y al Grupo de Investigación Social - GIS.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

- ALANBAY, O. An enterprise resource planning (ERP) selection using expert choice software. *In: ISAHF, 2005. Honolulu, Hawaii.*
- ALONSO, J. Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *In: International Journal for Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2006, 14 (4), p. 445-459.*
- ALTSCHULD, J. Delphi technique. *In: Lecture, Applied evaluation design. The Ohio State University, 2003. [Recuperado el 10 de julio de 2013] disponible en internet: <http://link.springer.com/search?facet-author=%22A.+Azadeh%22>.*
- AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION (AERA). Standards for Educational Psychological Test. *In: American Psychological Association, Washington, D C, 1999.*
- AZADEH, A. y SHIRKOUHI, A. Evaluating simulation software using fuzzy analytical hierarchy process. *In: Spring Sim 09 Proceedings of the Spring Simulation Multiconference, 2009. Article No. 41.*
- BELANGER, F. y JORDAN, D. Evaluation and Implementation of Distance Learning: technologies, tools and techniques. *En: Idea Group Publishing, London, 2000. p. 246.*
- BOURNE, J., HARRIS, D. y MAYADAS, F. Online Engineering Education: Learning Anywhere, Anytime. *In: Journal of Engineering Education, 2005, Vol. 94, p. 131-146.*
- BRUNER, J. Toward a Theory of Instruction. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1966. p. 192.
- CABALA, P. Using the analytic hierarchy process in evaluating decision alternatives. *In: Operations Research And Decisions, 2010. Vol. 1.*
- CABERO, J. Diseño y Evaluación de un Material Multimedia y Telemático para la Formación y Perfeccionamiento del Profesorado Universitario para la Utilización de las Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Docencia. Universidad de Sevilla. España, 2002, p. 67- 95.
- CATALDI, Z., DONNAMARÍA M. y LAGE, F. TICs en la enseñanza de la química: Laboratorios virtuales, modelos y simulaciones en cursos universitarios. *En: Eductec, 15, 16 y 17 de septiembre, Manaos, 2009.*
- CATALDI, Z., CHIARENZA, D., DOMINIGHINI, C., DONNAMARÍA, L., y LAGE, F. TICs en la enseñanza de la química. *En: Revista Iberoamericana de Educación en Tecnología y Tecnología en Educación, 2012, Vol. 3, no. 7.*
- COVA, A, ARRIETA X. y AULAR J. Revisión de modelos para evaluación de software educativos. *En: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos, 2008. Vol. 7, no. 1, p. 94 - 116.*
- DAVIS, L. y WILLIAMS, G. Evaluation and selecting simulation software using the analytic hierarchy process. *In: Integrated Manufacturing Systems, 1994., Vol. 51, no. 1, p. 23-32.*
- DÍAZ-ANTÓN, G. Uso de software educativo de calidad como herramientas de apoyo para el aprendizaje. *En: Jornadas educativas: La escuela como instrumento de cambio, IEA, Abril, 2002. Caracas. [Recuperado el 11 de mayo de 2013] disponible en internet: <http://www.academia-interactiva/articulos.html>.*
- GALVIS, A. Ingeniería de software educativo. 1era ed. Sgda reimpresión. Universidad de los Andes, Bogotá, 2000.
- GONZÁLEZ, J. y WAGENAAR, R. Tuning Educational Structures in Europe. *En: Informe Final-Proyecto Piloto, Fase I, 2003. Bilbao: Universidad de Deusto.*
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. Metodología de la investigación. 3th ed. Mc Graw Hill, México, 2006. p. 705.
- HLUPIC, V. y MANN, A. A. System for Simulation Software Selection. *In: Proc. of the 2002, Winter Simulation Conference, Orlando, Florida, p. 720-727.*
- ISO/IEC 9126. Information technology-Software Product Evaluation-Quality Characteristics and guidelines for their use. [Recuperado el 19 de julio de 2013] disponible en internet en: <http://www.cse.dcu.ie/essiscope/sm2/9126ref.html>.
- JADHAV, A. y SONAR, R. Evaluating and selecting software packages: A review. *In: Information and Software Technology. 2009. Vol. 51, no 3, p. 555-563.*
- LANDETA, J. El método Delphi. Una técnica de previsión del futuro. Ariel, Barcelona, 2002. p. 223.
- LAI, V., WONG, B. y CHEUNG, W. Group decision making in a multiple criteria environment: A case using the AHP in software selection. *In: European Journal of Operational Research, 2002, Vol. 137, p. 134-144.*
- LÊ, Q. y LÊ, T. Evaluation of educational software: theory into practice. *In: Technology and Teaching. Nova Science Publishers, 2007. 10 p.*
- MARQUÈS, P. Software educativo. Guía de uso y metodología de diseño. *En: Editorial Estela, Barcelona, 1995. 256 p.*
- MARQUÈS, P. Plantilla para la Catalogación y Evaluación Multimedia. 2004 [Recuperado el 8 de septiembre de 2012] disponible en internet: <http://dewey.uab.es/pmarques/evalua.htm>.
- MARQUÈS, P. Entorno formativo multimedia: elementos, plantilla de evaluación/criterios de calidad. 2005. [Recuperado el 8 de junio de 2010] disponible en internet: <http://dewey.uab.es/pmarques/calidad.htm>.
- MCDUGAL, A y SQUIRES, D. Cómo elegir y utilizar software educativo. Ediciones Morata, Madrid, 2001. 176 p.
- MENDOZA, L., PÉREZ, M. y GRIMÁN, A. Prototipo de Modelo Sistémico de Calidad (MOSCA) del Software. *En: Computación y Sistemas, 2005, Vol. 8, no. 3, p. 196-217.*
- OSSADNIK, W. AND LANGE, O. AHP based evaluation of AHP software. *In: European Journal of Operational Research, 1999, vol. 118, no. 3, p. 578-588.*
- OZDEMIR, M. Validity and inconsistency in the analytic hierarchy process. *In: Applied Mathematics and Computation. 2005, vol. 161, no. 3, p. 707-720.*
- Office of Technology Assessment (OTA). Power on! - New tools for teaching and Learning. *In: Congress of the United States, Office of Technology Assessment, OTA SET-379, Washington D.C. US Government Printing Office, 1988.*

33. PALCIC, I. y LALIC, B. Analytical hierarchy process as a tool for selecting and evaluating projects. *En: International journal simulations model*, 2009, Vol. 8, no. 1, p. 16-26.
34. RADA, M. Instrumento de análisis y evaluación de software multimedia educativo. *En: Revista educarnos*, 2013. [Recuperado el 19 de julio de 2013] disponible en internet: <http://www.revistaeducarnos.com/art%C3%ADculos/educaci%C3%B3n/iaesme-instrumento-de-an%C3%A1lisis-y-evaluaci%C3%B3n-de-software-multimedia-educativos1>.
35. RAMOS, B., PELÁEZ, J., GARCÍA, E. y RUIZ, J. Design, Navigation, and Structure of a Hypermedia Application for the Teaching—Learning of Pneumatic Engineering Design Drawing. *In: Computer Applications in Engineering Education*, 2007, Vol. 15, p. 248-259.
36. RIAÑO y PALOMINO. Diseño y Elaboracion de un Cuestionario Acorde con el Método Delphi, para Seleccionar Laboratorios Virtuales (Lvs). *En: Revista de Investigación en Educación*. (s.f.).
37. SAATY, T. The Analytic Network Process. *In: Decision Making with the Analytic Network Process*. Pittsburg University Press, 2001, p. 1-26.
38. SAATY, T. Extending the Measurement of Tangibles to Intangibles. *In: International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2009, Vol. 8, no. 1, pp.7-27.
39. SAMPIERI, COLLADO y BAPTISTA. Metodología de la Investigación. 5ta edición. *In: McGraw-Hill*, 2010. p. 704.
40. SHERMAN, T. y KURSHAN, B. Constructing Learning Using Technology to Support Teaching for Understanding. *In: Learning & Leading with Technology*, 2005, Vol. 32. no. 5, p. 1-13.
41. VAIDYA, O. y KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *In: European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 169, p. 1-29.
42. VARGAS, L. An overview of the analytical hierarchy process and its application. *In: European Journal of Operations Research*, 1990, Vol. 48, No. 1, p. 2-8.
43. VERMA, R., GUPTA, A. y SINGH, K. Simulation Software Evaluation and Selection: A Comprehensive Framework. *In: J. Automation & Systems Engineering*, 2008, Vol. 2, p. 221-234.
44. VERMA, R., GUPTA, A. y SINGH, K. A critical evaluation and comparison of four manufacturing simulation softwares. *In: Kathmandu University Journal Of Science, Engineering And Technology*, 2008, Vol. 5, no. 1, p. 104- 120.