METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD DE MAPAS CURRICULARES. PARTE 1

CURRICULUM MAPS RELIABILITY MEASUREMENT METHODOLOGY. PART 1

Víctor M. Carrillo Saucedo, *Sergio Flores García, María D. González Quezada, Osiel Ramírez Sandoval, María D. Cruz Quiñones, Juan E. Chávez Pierce

RESUMEN

En toda institución de educación superior se evalúa la eficiencia de sus programas educativos a través de indicadores estadísticos. Dichos estimadores estadísticos son una valiosa herramienta para la evaluación y mejoramiento de los mapas curriculares. La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) no dispone de una metodología, para la evaluación de la confiabilidad de los mapas curriculares asociados a cada programa educativo. La confiabilidad es un concepto de la ingeniería. Se define como "La habilidad o capacidad de un sistema o de un componente para funcionar u operar bajo las condiciones para que fue construido". Las retículas de los programas educativos, se pueden considerar como sistemas de componentes los cuales son precisamente las materias que integran cada mapa curricular o retícula. Matemáticamente, la confiabilidad de un sistema es la probabilidad de que éste continúe funcionando bajo las condiciones de operación del mismo durante un periodo de tiempo dado. La metodología se implementó en una sección de la retícula de la carrera de Ingeniería Física. Los resultados indican una confiabilidad cerca del 80%. Esto indica que el programa es confiable. Sin embargo, otros indicadores deben mejorarse.

Palabras clave: Confiabilidad de sistemas, indicadores de evaluación curricular, mapas curriculares, medida de Birbaum.

ABSTRACT

Most of high level educational institutions evaluate their programs' efficiency base on statistical indicators. These indicators represent a great tool for curriculum maps improvement. The University of Juarez does not have a statistical methodology to evaluate its educational programs. Reliability is an engineering concept. It is defined as "the ability of a system to work under the conditions it was created". The educational programs maps can be considered as a components system. Courses could be these elements. Mathematically, reliability is the probability a system works under operation conditions along an specific period of time. This methodology was implemented based on the curriculum of the Engineering Physics program. Results indicate approximated reliability of 88%. It seems that this program is reliable. However, other evaluation indicators should be improved.

Keywords: System reliability, curriculum evaluation indicators, curriculum maps, Birbaum index.

Recepción artículo: 16.09.2016 Aprobado 20.12.2016

*seflores@uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez, México.

Introducción

En toda institución de educación superior se evalúa la eficiencia de sus programas educativos a través de indicadores estadísticos. Dichos estimadores estadísticos son una valiosa herramienta para la evaluación y mejoramiento de los mapas curriculares. El Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) cuenta con indicadores de eficiencia de los programas académicos ofrecidos (Dirección General de Planeación y Desarrollo Institucional, 2015). Algunos de estos indicadores son: 1) Eficiencia terminal, 2) Deserción de estudiantes, 3) Aprobación de materias, 4) Retención, y 5) Número de estudiantes titulados. Sin embargo, actualmente no se dispone de una metodología para la evaluación de la confiabilidad de los mapas curriculares, los cuales se asocian a los programas educativos. Se entiende por confiabilidad: La habilidad o capacidad de un sistema o de un componente para funcionar u operar bajo las condiciones para que fue construido durante un tiempo determinado (Clemente, 1982), (Meeker & Escobar, 1998). En este sentido, las retículas de los programas educativos se pueden considerar como sistemas de componentes, los cuales son precisamente las materias que integran cada mapa curricular o retícula. Cada retícula está formada por sub retículas o subsistemas de materias. Matemáticamente, la confiabilidad de un sistema es la probabilidad de que éste continúe funcionando, bajo las condiciones de operación del mismo durante un periodo de tiempo dado.

Este articulo muestra los resultados de un proyecto de investigación basado en la evaluación de la confiabilidad de un mapa curricular de la carrera de Ingeniería Física en la UACJ. El cálculo de la confiabilidad de este mapa curricular se efectuó promediando las confiabilidades basadas en el promedio por materia, y el porcentaje de aprobación de cada uno de los componentes del sistema formado por las materias del mapa curricular. Además se calculó el coeficiente de máxima importancia en confiabilidad o medida de Birbaum por materia. Esto con el fin de detectar el curso de mayor atención por las academias correspondiente, y así mejorar sus niveles de aprobación y de calificaciones promedio.

Justificación

La UACJ genera indicadores estadísticos a través del departamento de planeación para vigilar, estudiar, corregir y mejorar la eficiencia sus programas educativos. Sin embargo, no se ha evaluado la confiabilidad de los programas educativos a través del análisis de sus retículas como se propone en este proyecto de investigación.

El propósito de este trabajo es calcular la confiabilidad de un programa educativo universitario, con el fin de mostrar que el procedimiento es viable para aplicarse en cualquier programa educativo universitario. Como se citó anteriormente, matemáticamente, la confiabilidad de un sistema es la probabilidad de que éste continúe funcionando bajo las condiciones de operación del mismo durante un periodo de tiempo dado. Las posibles aplicaciones que se podrán obtener de esta metodología son entre otras: 1. Estimar la confiabilidad del egreso por programa educativo para su comparación con el índice de egreso estadístico, 2; Estimar la cantidad de grupos a ofertar semestre con semestre para cada programa, 3; A partir de la confiabilidad calculada para cada programa, tener indicadores para la revisión, ajuste, modificación o reestructuración de la retícula del programa y/o de sus sub retículas.

Esta herramienta puede contribuir en la evaluación y mejoramiento de los mapas curriculares de los programas educativos de la UACJ

Objetivo general

El objetivo general de este estudio es el proporcionar una metodología basada en la confiabilidad de sistemas para evaluar la confiabilidad de los actuales programas educativos de la UACJ a través del análisis de sus mapas curriculares.

Objetivos específicos

Se decidió implementar esta metodología en el mapa curricular de la carrera de Ingeniería Física. Esto debido a que este programa cuenta con tasas de deserción y reprobación altas, así como una eficiencia terminal muy baja (Dirección general de Planeación y Desarrollo Institucional, 2015). De esta manera se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Diseño el modelo matemático.
- Implementación directa del modelo
- Detección del componente o curso con mayor importancia en confiabilidad de un mapa curricular. Una vez detectado tal componente se revisarán en Junta de Academia los contenidos, y los antecedentes en conocimiento pedagógicos. Con esto se intentará incrementar el índice de aprovechamiento, y en consecuencia se elevará la confiabilidad del mapa curricular.

Metodología

Se selecciona una retícula para su representación como un sistema de componentes. Como ya se mencionó, se decidió trabajar con la retícula de Ingeniería Física. Se procede a calcular la confiabilidad del sistema representado por esta retícula. Después se obtiene la *función de estructura* con auxilio del software Blocksim (Reliasoft Corporation, 1992). Esto para proceder con el desarrollo de un algoritmo en Matlab para la obtención del componente (curso) de *mayor importancia* en confiabilidad.

Marco referencial

A continuación se explican los elementos de la teoría de la confiabilidad de sistemas usados para el desarrollo de la investigación, donde los mapas curriculares son interpretados como sistemas de componentes.
Sistema:

Un sistema es una colección de n componentes (Leemis, 1995), (Ebeling. 2010). Por ejemplo:

1. Una serie de focos en serie o en paralelo o en ambos
2. Una circuito eléctrico
3. El Motherboard de una computadora
4. el alambrado de un automóvil etc.

El funcionamiento de un sistema depende del estado de todas sus componentes. Definiremos el estado de una componente por:
Definición: El estado x_i de una componente *i*ésima es

$$x_i = \begin{cases} 1 & , \; si\ la\ componente\ i\ esta\ funcionando \\ 0 & , \; si\ la\ componente\ i\ no\ \ esta\ funcionando \end{cases} \qquad para\ i = 1, \dots, n$$

Los *n* posibles valores de un sistema se pueden expresar mediante un vector de estado del sistema $\boldsymbol{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Puesto que hay *n* componentes, entonces hay 2^n posibles valores que el vector de estado del sistema según los principios de conteo. El estado del sistema al igual que el de cada una de sus componentes se determina mediante la función de estructura que se define como: La función $\emptyset$ de estructura (Leemis, 1995), (Ebeling. 2010) de un sistema es:

$$\emptyset(\boldsymbol{X}) = \begin{cases} 1 & si\ el\ sistema\ esta\ funcionando\ para\ \boldsymbol{X} \\ 0 & si\ el\ sistema\ falla\ para\ \boldsymbol{X} \end{cases}$$

Esta función también se puede expresar en términos de los estados de los componentes del vector de estado del sistema. A continuación se muestran dos ejemplos.

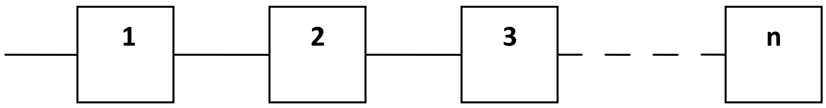
Ejemplo 1: Un sistema en serie funciona cuando todos sus componentes funcionan y falla si al menos un componente falla. Usaremos diagramas de bloque Figura 1 para representar los componentes de los sistemas. Entonces la función de estructura de un sistema en serie es:

$$\emptyset(\boldsymbol{X}) = \begin{cases} 1 & x_i = 1 \quad \forall\, i = 1, \dots, n \\ 0 & si \;\; x_i = 0 \; para \; algun \; i \end{cases}$$

$$= \prod_{i=1}^{n} x_i$$

$$= min\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

Figura 1.
Diagrama de Bloque en serie



Otra estructura muy usada es el arreglo en paralelo mostrado en la Figura 2.

Ejemplo 2: Un sistema en paralelo funciona cuando al menos uno de sus componentes funciona. Entonces la función de estructura queda:

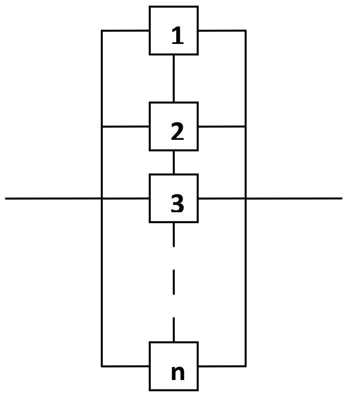
$$\emptyset(\boldsymbol{X}) = \begin{cases} 1 & si \; \exists \; j \; tal \; que \;\; x_j = 1 \\ 0 & si \;\; x_i = 0 \quad \forall\, i = 1, \dots, n \end{cases}$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^{n} x_i$$

$$= max\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

Las tres formas de definir el valor de la función de estructura son equivalentes. Existen numerosos ejemplos de sistemas en serie. Un ejemplo es el de os riñones, ya que basta con que funcione uno para que sea posible vivir. También, el sistema de frenos de un auto tiene dos depósitos de líquido de frenos, así que puede fallar uno y el otro servirá para frenar.

Figura 2.
Diagrama de Bloque en paralelo



Confiabilidad

Definición: La confiabilidad *r* de un sistema es $r_{\emptyset} = P[\emptyset(\boldsymbol{X}) = 1]$ (Leemis, 1995), (Ebeling. 2010)..La confiabilidad de un vector de estado $\boldsymbol{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, donde las componentes $X_1, X_2, \dots, X_n$ del son variables aleatorias independientes se denota por $r_{\boldsymbol{X}} = P[\boldsymbol{X}]$ y su valor es:

$$r_{\boldsymbol{X}} = P[\boldsymbol{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)] = \prod_{i=1}^{n} P[X_i] = \prod_{i=1}^{n} p_i^{x_i} q_i^{1-x_i}$$

Donde:

$$P[X_i] = \begin{cases} p_i & si \ X_i = 1 \\ q_i & si \ X_i = 0 \end{cases} \quad donde \ \ q_i = 1 - p_i$$

Se conocen varias técnicas para calcular la confiabilidad de un sistema [Leemis, 1995), (Ebeling, 2010), las cuales son:

1. Usando la definición de confiabilidad o de vectores de trayectoria
2. Calculando la esperanza de la función de estructura, $r = E[\phi(\mathbf{X})]$
3. Técnica de los vectores de corte y
4. Técnica de descomposición

Cálculo de la confiabilidad de un sistema usando una de las técnicas mencionadas

La confiabilidad de un sistema es
$r_{\emptyset} = P[\emptyset(\boldsymbol{X}) = 1]$

la "Probabilidad de que el sistema esté funcionando"**.** Formalmente es igual a:

$$r_{\emptyset} = P[\emptyset(\boldsymbol{X}) = 1] = P[\boldsymbol{X} \in VT] = \sum_{\boldsymbol{X} \in VT} P[\boldsymbol{X}]$$

La primera técnica para encontrar la confiabilidad de un sistema de n componentes independientes es la de usar la definición para el cálculo de la confiabilidad directamente. También se le conoce como *Técnica de vectores de trayectoria*, la cual se mostrará a través del siguiente ejemplo:

Consideremos el diagrama de la Figura 3 cuya función de estructura es:

$$\emptyset(\boldsymbol{X}) = 1 - (1 - x_1x_2)(1 - x_1x_3)\,(1 - x_2x_3) = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3 - x_1^2x_2x_3 - x_1x_2^2x_3 - x_1x_2x_3^2 + (x_1x_2x_3)^2$$

y tiene vectores de trayectoria $(0,1,1), (1,0,1), (1,1,0)\ y\ (1,1,1)$, los cuales indican el funcionamiento de cada una de las tres componentes. En la tabla 1 se muestran los resultados y se calcula la confiabilidad del sistema el cual es igual a:

$$r = p_1p_2p_3 + p_1p_2q_3 + p_1q_2p_3 + q_1p_2p_3$$

Figura 3.
Diagrama de bloques

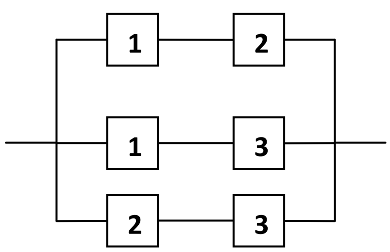


Tabla 1
Cálculo de la confiabilidad del sistema de la figura 3.

$\mathbf{X}$	$\phi(\mathbf{X})$	$r_X = \prod_{i=1}^{n} P[X_i]$
$(1,1,1)$	1	$p_1 p_2 p_3$
$(1,1,0)$	1	$p_1 p_2 q_3$
$(1,0,1)$	1	$p_1 q_2 p_3$
$(0,1,1)$	1	$q_1 p_2 p_3$
$r = P[\mathbf{X} \in VT] = \sum_{\mathbf{X} \in VT} P[\mathbf{X}]$		$p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 q_3 + p_1 q_2 p_3 + q_1 p_2 p_3$

Si las confiabilidades de sus componentes son $p_1 = 0.99, p_2 = 0.95, p_3 = 0.96$ entonces la confiabilidad del sistema es:

$$r = .99(.95)(.96) + .99(.95)(.04) + .99(.05)(.96) + .01(.95)(.96) = 0.99714$$

Ahora presentaremos un ejemplo donde se simula una sub retícula del programa de la licenciatura en matemáticas de la UACJ. La sub retícula consiste de las materias seriadas obligatorias de la licenciatura en matemáticas de la UACJ en la Figura 4. Supongamos que los índices de aprobación son los señalados en la Figura 5. Para calcular su confiabilidad se re expresa el anterior diagrama de bloques como un diagrama en serie-paralelo y se calcula su función de estructura.

Figura 4.
Sub retícula de la carrera de Licenciatura en Matemáticas

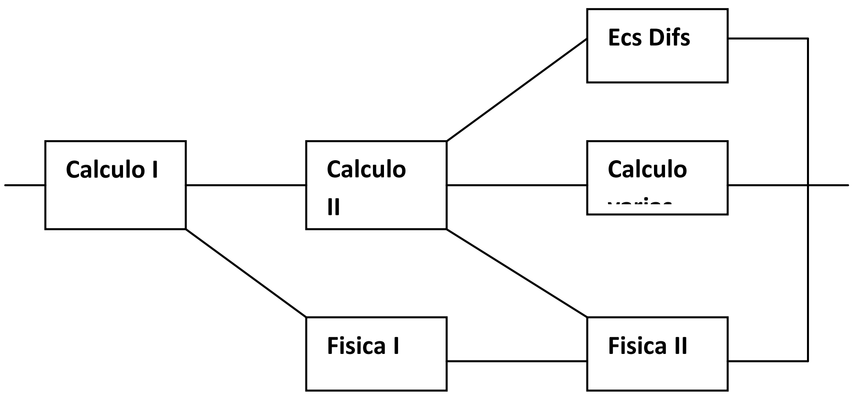
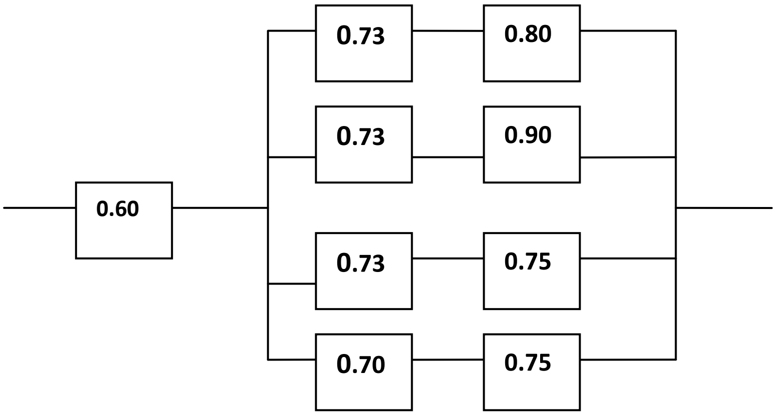


Figura 5.
Diagrama de bloques de la sub retícula Lic. en matemáticas.



La función de estructura correspondiente al diagrama de bloques es:

$\emptyset(\boldsymbol{X}) = x_1[1-(1-x_2x_4)(1-x_2x_5)(1-x_2x_6)(1-x_3x_6)]$ y su confiabilidad se calcula por el valor esperado [1]
$r = E[\emptyset(\boldsymbol{X})]$ el cual es igual a

$$\begin{aligned} r = E[\emptyset(\boldsymbol{X})] = {} & Ex_1Ex_2Ex_4Ex_5Ex_6 - Ex_6Ex_4Ex_1Ex_2 - Ex_5Ex_4Ex_1Ex_2 \\ & - Ex_4Ex_1Ex_2 + Ex_6Ex_5Ex_1Ex_2Ex_3 - Ex_6Ex_1Ex_2Ex_3 \\ & - Ex_6Ex_5Ex_1Ex_2Ex_3 + Ex_6Ex_1Ex_3 - Ex_6Ex_5Ex_1Ex_2 + Ex_6Ex_1Ex_2 \\ & + Ex_5Ex_1Ex_2 \\ = {} & p_1p_2p_4p_5p_6 - p_1p_2p_4p_6 - p_1p_2p_4p_5 - p_1p_2p_4 - p_1p_2p_3p_6 + p_1p_3p_6 \\ & - p_1p_2p_5p_6 + p_1p_2p_6 + p_1p_2p_5 \end{aligned}$$

Por lo tanto

$$r = p_1p_2p_4p_5p_6 - p_1p_2p_4p_6 - p_1p_2p_4p_5 - p_1p_2p_4 - p_1p_2p_3p_6 + p_1p_3p_6 - p_1p_2p_5p_6 + p_1p_2p_6 + p_1p_2p_5$$

Donde las variables x_i representan las materias en el orden siguiente:
$x_1 = Cálculo\ I$, $x_2 = Cálculo\ II$, $x_3 = Física\ I$, $x_4 = Ecs. Diferenciales$, $x_5 = Cálculo\ multivariable$, $x_6 = Física\ II$

De lo anterior se tiene que la confiabilidad del sistema está dada por:
$r = 0.1008 - 0.2016 - 0.168 + 0.336 + 0.945 - 0.189 - 0.0945 + 0.27 - 0.126 + 0.252 + 0.21 = 0.4842,$

para los valores:
$p_1 = 0.60,\quad p_2 = 0.73,\quad p_3 = 0.70,\quad p_4 = 0.80,\quad p_5 = 0.90, p_6 = 0.75$

Se obtuvo que la confiabilidad de la sub retícula es igual a 0.4842. Para calcular la importancia en confiabilidad (Leemis, 1995) de cada componente de un sistema coherente se usa la fórmula mostrada a continuación, también conocida como medida de Birbaum (Leemis, 1995), (Kececeioglu, 1992).

$$I_r(i) = \frac{\partial r(\boldsymbol{p})}{\partial p_i} \quad i = 1, \dots, n \;\; y \;\; \boldsymbol{p} = (p_1, p_2, \dots, p_6)$$

Posteriormente se calcula el índice *k*, el cual corresponde al componente cuyo incremento en confiabilidad proporciona el máximo incremento en la confiabilidad del sistema.

$$k = max \left\{ i: I_r(i) = \frac{\partial r(\boldsymbol{p})}{\partial p_i} |_p \;\; donde\; \boldsymbol{p} = (p_1, p_2, \dots, p_6) \right\}$$

Está demostrado en la teoría de la confiabilidad que el incremento de la confiabilidad del componente x_k con mayor medida de Birbaum maximiza la confiabilidad del sistema. Se procede a la actualización hacía con un valor mayor de confiabilidad en la componente k, comparado con un aumento en cualquier otra componente. Para obtener *k* son necesarias una gran cantidad de operaciones si k es grande, por ello es necesario diseñar un algoritmo que realice los voluminosos cálculos requeridos. Se propone realizarlo en Matlab (The MathWorks Incorporation, 1994), (Kumar et.al, 2006) o en lenguaje C. El resultado obtenido para la obtención del componente de mayor importancia en confiabilidad es para el componente $x_6 = Fisica\ II$. De aquí la necesidad de atender el curso de Física II, incrementando su índice de aprobación, el cual proporcionara el máximo incremento en la confiabilidad total del sistema. El sentido común indicaría que el curso que requiere mayor atención es el de Cálculo I, por tener el menor índice de aprovechamiento. Sin embargo, la medida de Birbaum indica que incrementar el índice de aprovechamiento del curso de Física II dará como resultado el mayor valor de confiabilidad de la sub retícula. En la Tabla 2 siguiente se proporcionan los valores numéricos obtenidos:

Tabla 2.
Medidas de Birbaum

i	$I_r(i) = \frac{\partial r(\boldsymbol{p})}{\partial p_i}$
1	-0.29990
2	-0.67800
3	0.12150
4	-0.86505
5	0.02190
6	0.122160

Confiabilidad de la Carrera de Ingeniería Física

La implementación de esta metodología permitirá la detección de los cursos que requieren mayor atención para obtener el máximo incremento en confiabilidad de un mapa curricular, o de las sub retículas que lo constituyen. La metodología expuesta a través de una sub retícula del programa de Licenciatura en Matemáticas de la UACJ se aplicó al programa de Ingeniería Física, usando las calificaciones históricas del segundo semestre del 2010 mostradas en la Tabla 3 (Dirección general de planeación y desarrollo institucional, 2010). A partir de estos datos se diseñó el sistema de componentes asociado obteniéndose el gráfico que se muestra en la Figura 6. Los colores que se muestran en la figura se refieren una clasificación de las materias que pertenecen a la sub retícula (Tabla 4) (Departamento de Física y Matemáticas, 2010). La clasificación obedece a la afinidad de estos cursos asociados por grupos.

Tabla 3.
Datos históricos de calificaciones promedio y aprobación de Ing. Física.

Materias	Calificacion	% Aprobados	% rep
Algebra I	0.73	0.6	0.4
Algebra Lineal	0.7	0.65	0.35
Aplic Computacionales I	0.7	0.7	0.3
Aplic Computacionales II	0.75	0.75	0.25
Aplic Computacionales III	0.75	0.75	0.25
Calculo I	0.7	0.6	0.4
Calculo II	0.85	0.8	0.2
Calculo multivariable I	0.85	0.8	0.2
Calculo multivariable II	0.9	0.9	0.1
Dibujo asistido por computadora	0.85	0.7	0.3
Ec Diff Ordinarias	0.85	0.85	0.15
Ec Diff Parciales	0.8	0.7	0.3
Electiva I	0.9	0.9	0.1
Electiva II	0.9	0.9	0.1
Electiva III	0.9	0.9	0.1
Electiva IV	0.9	0.9	0.1
Electrodinamica	0.9	0.9	0.1
Fenomenos Ondulatorios	0.9	0.99	0.01
Fisica aplicada	0.9	0.99	0.01
Fisica Conceptual	0.9	0.95	0.05
Fisica de medios continuos	0.75	0.75	0.25
Fisica Estadistica	0.87	0.9	0.1
Fisica Estado Solido	0.9	0.9	0.1
Fisica experimental	0.9	0.99	0.01
Fisica General I	0.7	0.7	0.3
Fisica General II	0.8	0.8	0.2
Fisica General III	0.8	0.99	0.01
Fisica Moderna	0.95	0.99	0.01
Int. a la Fisica de materiales	0.9	0.99	0.01
Lab Fisica Moderna	0.9	0.9	0.1
Mecanica Clasica	0.85	0.75	0.25
Mecanica Cuantica I	0.92	0.99	0.01
Metodos Matematicos de la Fisica I	0.85	0.75	0.25
Metodos Matematicos de la Fisica II	0.75	0.75	0.25
Probabilidad y estadistica	0.9	0.99	0.01
Proy. Titulacion I	0.95	0.99	0.01
Proy. Titulacion II	0.95	0.99	0.01
Quimica	0.75	0.75	0.25
Termodinamica	0.8	0.95	0.05
Variable compleja	0.7	0.7	0.3

Figura 6.
Sistema de componentes asociado a la retícula de Ingeniera Física.

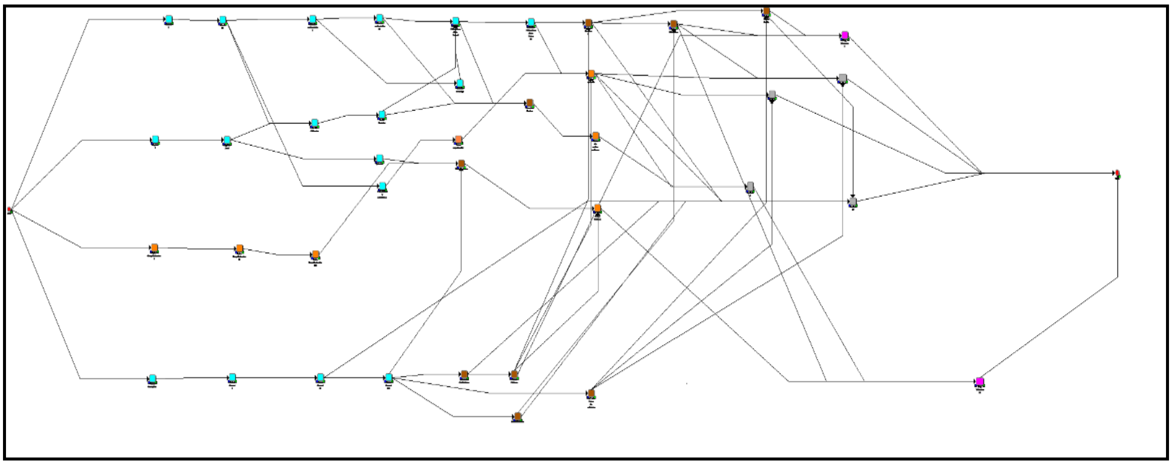


Tabla 4.
Clasificación de materias de subretícula de Ingeniería Física.

COLORES	Materias	Calificacion	% Aprobados	% rep	COLORES
	Algebra I	0.73	0.6	0.4	
	Algebra Lineal	0.7	0.65	0.35	
	Aplic Computacionales I	0.7	0.7	0.3	
	Aplic Computacionales II	0.75	0.75	0.25	
	Aplic Computacionales III	0.75	0.75	0.25	
	Calculo I	0.7	0.6	0.4	
	Calculo II	0.85	0.8	0.2	
	Calculo multivariable I	0.85	0.8	0.2	
	Calculo multivariable II	0.9	0.9	0.1	
	Dibujo asistido por computadora	0.85	0.7	0.3	
	Ec Diff Ordinarias	0.85	0.85	0.15	
	Ec Diff Parciales	0.8	0.7	0.3	
	Electiva I	0.9	0.9	0.1	
	Electiva II	0.9	0.9	0.1	
	Electiva III	0.9	0.9	0.1	
	Electiva IV	0.9	0.9	0.1	
	Electrodinamica	0.9	0.9	0.1	
	Fenomenos Ondulatorios	0.9	0.99	0.01	
	Fisica aplicada	0.9	0.99	0.01	
	Fisica Conceptual	0.9	0.95	0.05	
	Fisica de medios continuos	0.75	0.75	0.25	
	Fisica Estadistica	0.87	0.9	0.1	
	Fisica Estado Solido	0.9	0.9	0.1	
	Fisica experimental	0.9	0.99	0.01	
	Fisica General I	0.7	0.7	0.3	
	Fisica General II	0.8	0.8	0.2	
	Fisica General III	0.8	0.99	0.01	
	Fisica Moderna	0.95	0.99	0.01	
	Int. a la Fisica de materiales	0.9	0.99	0.01	
	Lab Fisica Moderna	0.9	0.9	0.1	
	Mecanica Clasica	0.85	0.75	0.25	
	Mecanica Cuantica I	0.92	0.99	0.01	
	Metodos Matematicos de la Fisica I	0.85	0.75	0.25	
	Metodos Matematicos de la Fisica II	0.75	0.75	0.25	
	Probabilidad y estadistica	0.9	0.99	0.01	
	Proy. Titulacion I	0.95	0.99	0.01	
	Proy. Titulacion II	0.95	0.99	0.01	
	Quimica	0.75	0.75	0.25	
	Termodinamica	0.8	0.95	0.05	
	Variable compleja	0.7	0.7	0.3	
	Reliability = 0.882				

Es importante señalar que por las limitaciones del software usado para el cálculo de la confiabilidad del sistema, los cursos del área de las ciencias sociales y de superación personal se eliminaron del mapa curricular original. Estas clases no son consideradas vitales para la formación de un ingeniero físico, reduciéndose el tamaño del sistema de componentes a 38.

A cada componente se le asignó un valor de confiabilidad dado por el porcentaje de aprobación de cada materia, y el promedio en forma porcentual. Posteriormente se calcularon las respectivas confiabilidades generándose dos polinomios de confiabilidad. Se calcularon sus derivadas parciales con el auxilio de un programa desarrollado con Matlab para el cálculo de los coeficientes de Birbaum para cada uno de los componentes, y así elegir los de máximo valor para cada uno de los casos mencionados. Se incluye el polinomio de confiabilidad del mapa curricular generado por el software usado, así como la confiabilidad del sistema y de cada uno de sus componentes (Carrillo, 2016), (Carrillo & Flores, 2016).

Resultados

Con un tiempo de ejecución de coeficientes de Birbaum [Leemis, 1995), (Kececeioglu, 1992) igual a 303.86 segundos, se obtuvo una confiabilidad de 0.8802, la cual se basa en *promedios de calificaciones* de la carrera de Ingeniería Física. El mayor de estos coeficientes es de Birbaum es 0.22, el cual corresponde al curso de Cálculo I. Con un tiempo de ejecución coeficientes de Birbaum de 301.67 segundos, se encontró una confiabilidad de 0.8695 en base al *porcentaje de aprobación*. El mayor de los coeficientes de Birbaum es 0.189, el cual corresponde al curso de Álgebra I. En la tabla 5 se muestran los coeficientes de Birbaum para cada uno del componente, y los valores máximos para porcentajes de aprobación y para los promedios expresados como porcentajes.

Tabla 5.
Medidas de Birbaum y sus valores máximos

Materias formativas del programa de Licenciatura en Ingeniería Física UACJ			$I_r(i) = \frac{\partial r(\mathbf{p})}{\partial p_i}$	
i	Curso	Eiqueta	Medidas de Birbaum para los promedios	Medidas de Birbaum para los porcentajes
1	Fisica Conceptual	1	0.084184604	0.12717576
2	Calculo I	2	0.21979335	0.120419518
3	Algebra I	3	0.10982883	0.189342213
4	Aplic Computacionales I	4	0.050432065	0.087009325
5	Fisica General I	6	0.108237348	0.101740608
6	Calculo II	7	0.181006288	0.130454478
7	Algebra Lineal	8	0.11453578	0.165674436
8	Aplic Computacionales II	9	0.047069927	0.081571242
9	Fisica General II	11	0.094707679	0.08478384
10	Calculo multivariable I	12	0.045951529	0.029483567
11	Ec Diff Ordinarias	13	0.033978916	0.021707382
12	Aplic Computacionales III	14	0.047069927	0.072507771
13	Fisica General III	16	0.094707679	0.08478384
14	Calculo multivariable II	17	0.011628692	0.00125256
15	Ec Diff Parciales	18	0.036102599	0.016883519
16	Quimica	19	0.04187702	0.078818217
17	Probabilidad y estadistica	20	0.055089094	0.073468435
18	Fenomenos Ondulatorios	21	0.018792787	0.011443506
19	Variable compleja	22	0.005961032	0.002647324
20	Metodos Matematicos de la Fisica I	23	0.03596412	0.020278017
21	Termodinamica	24	0.054781945	0.082930794
22	Fisica experimental	25	0.055089094	0.080815279
23	Fisica Moderna	26	0.017803693	0.011443506
24	Metodos Matematicos de la Fisica II	27	0.011305193	0.002632632
25	Mecanica Clasica	28	0.008446409	0.007935867
26	Electrodinamica	29	0.005628964	0.000639923
27	Dibujo asistido por computadora	30	0.058329628	0.073468435
28	Mecanica Cuantica I	31	0.001640969	0.000982873
29	Lab Fisica Moderna	32	0.002018441	0.001776251
30	Int. a la Fisica de materiales	33	0.009420994	0.002457123
31	Fisica de medios continuos	34	0.009572597	0.006412822
32	Fisica aplicada	35	0.055089094	0.096978334
33	Fisica Estadistica	36	0.000269259	0.000244806
34	Fisica Estado Solido	37	0.000307522	0.000378772
35	Electiva I	38	0.010016199	0.038791334
36	Electiva II	39	0	0
37	Electiva III	43	0.000307522	0.000535691
38	Electiva IV	44	0.000260283	0.000262292

Comentarios asociados a los resultados

La confiabilidad de acuerdo al promedio de calificaciones en la Carrera de Ingeniería Física es del 0.8802. Esto indica que se tiene un porcentaje del 88% de confiabilidad del programa basado en este indicador. El valor máximo de la medida de Birbaum para cada uno de los cursos corresponde al de Calculo I, cuyo promedio de calificación es de 7.0 (en una escala del1.0 al 10.0). A pesar de que hay otros cursos con la misma calificación promedio, la teoría de la confiabilidad señala que si se desea incrementar al máximo la confiabilidad total del sistema, se debe incrementar la confiabilidad de un solo componente. Para lograr esto, debe estimularse el máximo valor de Birbaum. Este corresponde al curso de Cálculo I. Efectivamente existen otros cursos con la misma calificación promedio, los cuales corresponden a los cursos de: Álgebra Lineal, Aplicaciones Computacionales, Física General I y Variable Compleja.

La confiabilidad basada en los porcentajes de aprobación en la Carrera de Ingeniería Física es igual a 0.8695. Es decir se tiene un porcentaje del 87% de confiabilidad del programa basado en los porcentajes de aprobación. El valor máximo de la medida de Birbaum para cada uno de los cursos corresponde al de Álgebra I, cuyo porcentaje de aprobación es de 60%. A pesar de que existe otro curso con la misma calificación promedio, la teoría de la confiabilidad señala que si se desea incrementar al máximo la confiabilidad total del sistema, se debe incrementar la confiabilidad de un solo componente. Este componente debe ser el que tenga máximo valor de Birbaum. En este caso corresponde al curso de Álgebra I. Además, el curso de Cálculo I tiene el mismo porcentaje de aprobación. Esto sugiere el un incremento en el porcentaje de aprobación en cualesquiera de estos dos cursos. Tal aumento implicará un valor máximo en la confiabilidad calculada, a partir del porcentaje de aprobación.

La estimación de la confiabilidad del mapa curricular del programa de Ingeniería Física, basada en los promedios históricos y los porcentajes de aprobación de cada una de las materias, se calcula como el promedio de ambas confiabilidades. Esto es:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{0.8802 + 0.8695}{2} = 0.87485$$

Este resultado indica que el programa de Ingeniería Física es confiable al 87.5%. De aquí se interpreta que la metodología propuesta puede ser aplicada al mapa curricular de cualquier programa educativo a nivel universitario.

Conclusiones

La metodología utilizada en este reporte para calcular la confiabilidad pertenece de origen a sistemas de producción, o circuitos electrónicos (Kales, 1998), (Kennet, 2000). Sin embargo, la propuesta se implementó en el ámbito de las retículas universitarias. Esto debido a la naturaleza de seriación de las materias; en este caso la carrera de Ingeniería Física. La pertinencia de esta aplicación se fundamenta en el formato de los mapas curriculares. Estos se pueden arreglar como un sistema de elementos en serie o paralelo. Además, a pesar de que solo una sección de la retícula se sometió a la implementación (38 materias), el indicador mostró un porcentaje importante en la confiabilidad del programa. Este resultado de confiabilidad se compartió con los demás miembros de la Academia de Física. Se discutió ampliamente el tema. Las dos materias con un máximo valor de la medida de Birbaum (Cálculo I y Álgebra I) pertenecen también a la Carrera de Licenciatura en Matemáticas.

Actualmente la UACJ promueve la actualización de la mayoría de los planes de estudios de sus carreras. Esta coyuntura le permite a la Academia de Matemáticas desarrollar cambios tanto en sus contenidos, como de elementos didácticos. Esto implica una restructuración parcial de las materias de Cálculo I y Álgebra I. En apoyo a esta decisión, el Núcleo Académico de la Maestría en Matemática Educativa acordó ofrecer el tema de confiabilidad para el desarrollo de alguna de las tesis hacia la obtención de grado. Esto con el fin de lograr un importante desarrollo académico a través de este concepto. Finalmente, en un futuro se calculará un nuevo nivel de confiabilidad. Se tomarán como referencia los indicadores arrojados por una nueva generación e estudiantes de Ingeniería Física, incluyendo los mapas curriculares de otros programas académicos. Además, se pretende impactar positivamente, si la confiabilidad lo permite, otros indicadores importantes tales como: el nivel de deserción y la eficiencia terminal.

Referencias Bibliográficas

Carrillo V. & Flores S. (2016). *Secuencia del programa de confiabilidad*. Recuperado de http://www.okdev.net/links/Programa-confiabilidad.pdf

Carrillo V. (2016). *Secuencia de la Ecuación de confiabilidad*. Recuperado de http://www.okdev.net/links/Ecuacion-de-confiabilidad.pdf

Clemente G. (1982). *Nueva definición de importancia de fiabilidad de una componente.* Recuperado de https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/4393/4/article.pdf .

Departamento de Física y Matemáticas (2010). *Retícula de la carrera de Ingeniería Física*. México: Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez. Recuperado de http://www.okdev.net/links/Plan-de-Estudios-IF.pdf

Dirección general de planeación y desarrollo institucional (2015). *Indicadores generales de licenciatura 2015*. Ciudad Juárez, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Ebeling, E. C. (2010). *An Introduction to reliability and maintainability engineering*. Long Grove, Ill.: Waveland Press.

Kales P. (1998). *Reliability for Technology, Engineering and management*. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.

Kececeioglu D. (1992). *Reliability & Life testing handbook*, englewood cliffs, N.J : PTR Prentice Hall.

Kumar U. D., Crocker J., Chitra T., & Saranga H. (2006). *Reliability and six sigm*a, New York: Springer Verlag.

Leemis, L. M. (1995). *Reliability: Probabilistic models and statistical methods*. Englewood cliffs. N.J: Prentice Hall.

Meeker W. Q., & Escobar L. A. (1998). *Statistical methods for reliability data*. New York: Wiley Intersciences.

ReliaSoft Corporation (1992). *BlockSim* (Version 10.1.2). Recuperado de http://www.reliasoft.es/BlockSim/

The MathWorks Incorporation (1994). *Matlab* (R2016a). Recuperado de http://www.mathworks.com/products/matlab/