



Enl@ce: Revista Venezolana de
Información, Tecnología y Conocimiento

ISSN: 1690-7515

revistaenlace@gmail.com

Universidad del Zulia
Venezuela

Vega de la Cruz, Leudis Orlando; Nieves Julbe, Any Flor

Validación prospectiva de modelos académicos

Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento, vol. 12, núm. 3,
septiembre-diciembre, 2015, pp. 71-98

Universidad del Zulia
Maracaibo, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=82343214005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Validación prospectiva de modelos académicos

Leudis Orlando Vega de la Cruz¹
Any Flor Nieves Julbe²

Resumen

En este artículo, se presenta una alternativa de validación prospectiva de modelos académicos a través de la utilización de las Redes de Petri, con un enfoque multicriterio. Su desarrollo permite, mediante las técnicas de análisis, conocer a priori la viabilidad de aplicar el diseño de modelos. Como parte del método analizado, se presenta un modelo y se muestra su validación. En el resultado, se concluye que este es válido. Se recomienda la efectividad del análisis realizado, ya que en el diseño de modelos, regularmente surgen dudas por determinar si su aplicación, permitirá que los resultados tengan la efectividad esperada. Asimismo, se considera muy frecuente que durante su aplicación, surjan dificultades de coordinación entre las diferentes actividades, tareas y pasos.

Palabras clave: validación prospectiva; modelos académicos; redes de Petri; modelación multicriterio; criterio de expertos

Recibido: 7/5/2015 Devuelto para revisión: 27/7/15 Aceptado: 30/10/15.

¹ Ingeniero Industrial (2014). Cursa la maestría en Ciencias Matemáticas en la temática del artículo. Profesor Instructor. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya" Holguín- Cuba. Avenida XX Aniversario, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Miembro de la Asociación Nacional de Economistas y Contadores de Cuba. Miembro de Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba. Correo e-: leudis.vega@facii.uho.edu.cu

² Ingeniero Industrial (1986). Master en Ciencias Matemática Aplicada e Informática para la Administración (2001). Doctor en Ciencias Técnicas (2010). Profesor Titular. Miembro de la Sociedad Cubana de Logística y Marketing y Asociación Nacional de Economistas y Contadores de Cuba. Jefa de la disciplina Ingeniería del Factor Humano Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Correo e-: anieves@ict.uho.edu.cu, any.nieves@gmail.com.

Prospective Validation of Academic Models

Abstract

In this article, an alternative is presented of prospective validation of academic models through the use of the Nets of Petri, with a multicriteria approach. Its development allows using techniques of analysis, know a priori the feasibility of implementing the design of models. As part of the method of analysis, presents a model and shows its validation. In the result, it is concluded that this is valid. It is recommended to the effectiveness of the analysis undertaken, since in the design of models, regularly doubts arise for determining whether your application, will allow the results have the effectiveness expected. It is also considered very frequent that during its implementation difficulties arise with regard to the coordination between the different activities, tasks and steps.

Key words: prospective validation; academic models; Petri nets; modeling; expert criterion multicriteria.

I. Introducción

La gestión del conocimiento, apoyada por las tecnologías de información, contribuye a generar ventajas competitivas previos procesos de innovación y productividad de las capacidades de cada uno de los miembros de la organización. El objetivo de estos aspectos es el mejoramiento, lo que implica eficiencia en los modelos tanto internos como externos. En este contexto, juega un papel importante la validación de modelos, que conlleva a la eficiencia de estos, y por consiguiente al cumplimiento de los objetivos. Por lo general, es en el ámbito académico donde se generan modelos que se extienden a la vida empresarial. Su socialización, permite generar conocimientos y por consiguiente la mejora.

En el paradigma académico, cada día se generan cambios, lo cual provoca la formación de empresarios que se convierten para las empresas, en un medio esencial que conduce a los individuos a su capacitación, para operar en las condiciones del entorno, de manera que logren adaptarse al

cambio y la incertidumbre. En este escenario, resulta importante que la utilización de datos y la información para la toma de decisiones, sean guiados por un modelo o método que debe validar la introducción de los resultados finales esperados.

Con base de lo descrito, el objetivo de este artículo se enmarca en mostrar una herramienta para la validación prospectiva de modelos académicos, a través de su certificación estructural y dinámica (mediante las redes de Petri) y valoración multicriterio.

Sin lugar a dudas, la calidad de un modelo se garantiza mediante una efectiva certificación. Su validación, puede realizarse al utilizar herramientas que avalan y sustentan la pertinencia y confiabilidad del objeto de validación. Se considera que esta garantiza, en coincidencia con varios autores, (Baptista, 2009; Morales, 2004; Muñoz, 2006; Vásquez, 2006), la confiabilidad en los resultados obtenidos del análisis realizado y el cumplimiento de parámetros establecidos, según las características de cada modelo planteado. Derivado de esta condición,

constituye una premisa indispensable validar los modelos.

Las investigaciones científicas, principalmente en el ámbito académico, se sustentan mayormente en modelos, que no en todos los casos, se encuentran validados en la praxis. Se ha convertido en una práctica frecuente valorar modelos a través del criterio de expertos, lo cual da una perspectiva acertada basándose en la opinión de personas experimentadas en el tema, concede cierta subjetividad al consenso obtenido. La validación prospectiva, se realiza cuando la verificación del cumplimiento de las condiciones establecidas para un proceso o método analítico, se llevan a cabo antes de su desarrollo. Este tipo de validación según Morales (2004) se aplica cuando se elabora un nuevo método analítico. Comprende el estudio de todos los criterios necesarios para demostrar el adecuado funcionamiento del método.

Asimismo, se considera que una de las herramientas más efectivas para la validación prospectiva de modelos son las Redes de Petri. Estas permitirán detectar ausencias de situaciones críticas que afecten el adecuado desarrollo del proceso, permitiendo así la efectividad y logro de su futura aplicación. Por otra parte en la actualidad, según Vega (2014) se reconoce la carencia de un enfoque multicriterio para la selección de expertos y criterios de validación, constituyendo este el problema a resolver.

II. Redes de Petri en la validación multicriterio de modelos

Las Redes de Petri (RdP) según Petri (1962), fueron utilizadas inicialmente para el análisis de algoritmos en la computación paralela o concurrente. Dada la complejidad de los procesos productivos actuales, constituyen un método alternativo de diseño

tanto para el proceso industrial como para el controlador (Cely, 2013; Gutiérrez & Muñoz, 2013; Li, Wu, & Zhou, 2012; Soto, 2011; Villapol, 2012; Zapata, Hoyos, & Quintero, 2014).

Una RdP, es un grafo orientado con dos tipos de nodos: lugares (P) representados mediante circunferencias y transiciones (T) representadas por segmentos rectos verticales. Los lugares y las transiciones se unen mediante arcos o flechas (F). Un arco une siempre lugares con transiciones y viceversa, teniendo determinados pesos (W). Los lugares pueden presentar marcas (una marca se representa mediante un punto en el interior del círculo) y necesitan de un marcado inicial (M_0). Formalmente, una RdP se define como una quintupla, $RdP = (P, T, F, W, M_0)$.

Según Murillo (2008), su fortaleza radica en sus propiedades, que se dividen en dos grandes áreas, las dependientes del marcado inicial llamadas propiedades dinámicas o del comportamiento y las propiedades independientes del marcado, llamadas estructurales o estáticas. Su aplicación se ha extendido a diversos contextos empresariales (Araujo, 2015; Castro, 2015; Morales, 2015) demostrando la pertinencia de su uso.

Por otra parte, Pérez, Trujillo, Castro, y Gómez, (2014). una vez determinado lo posible (conjunto factible) se aborda la determinación de lo mejor. Para ello, se define una función de criterio que refleja adecuadamente las preferencias o deseos del centro decidor. Esta función de criterio, usualmente llamada función de utilidad o función de valor, asocia de una manera monótona un número real a cada solución factible. Recurriendo a técnicas matemáticas más o menos sofisticadas se optimiza la función de utilidad sobre el subconjunto alcanzable, obteniendo de esta manera la solución óptima

(esto es, la mejor solución dentro del conjunto de soluciones posibles)(Romero, 1996).

Lo expresado hasta aquí, permite afirmar que las redes de Petri para la validación multicriterio de modelos constituye una herramienta apropiada para la valoración de modelos. Esta representa una contribución para la tecnología de información al integrarse la computación, la comunicación y la técnica de procesamiento de datos, evidenciándose como principales recursos: el factor humano, visto como expertos, la información, el grupo de trabajo, el software *CPN Tools*, así como el intercambio de información. Para darle solución al problema planteado en la investigación se propone el modelo representado en la figura 1.

Etapa I. Análisis del procedimiento a través de una RdP

Partiendo del modelo propuesto, se definen los objetivos de la validación. Este se traduce al lenguaje de la RdP, para la posterior realización de las

técnicas de análisis, esta etapa se adapta de estudios recientes (Vega de la Cruz, Lao Leon, Pérez Pravia, & Marrero Delgado, 2015).

Objetivo: establecer los requisitos indispensables para desarrollar la validación del procedimiento.

Paso 1. Definir los objetivos específicos de las evaluaciones a efectuar

Contenido: se definen los objetivos específicos de las evaluaciones a realizar para el modelo a estudiar para verificar en qué medida se alcanza el estado deseado del mismo. Este paso permite que si el modelo es erróneo, no llegue a la fase de implementación.

Paso 2. Construcción de la Red de Petri

Contenido: para la construcción de la RdP, a partir del modelo a validar, se comenzará con la traducción de las acciones, pasos, tareas, etapas o fases de este, a lugares y transiciones de la red (figura 2). Como se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1.

Interpretaciones para una RdP

| Lugares de entrada | Transiciones | Lugares de salida |
|-----------------------|------------------|--------------------|
| Precondiciones | Eventos | Post-condiciones |
| Datos de entrada | Paso de cómputo | Datos de salida |
| Necesidad de recursos | Acciones o tarea | Recursos liberados |
| Condiciones | Cláusula lógica | Conclusiones |

Fuente: Murillo (2008).

Paso 3. Técnicas para su análisis

Para el análisis de un modelo aplicando las a RdP, pueden utilizarse varias técnicas:

a) Técnica de Reducción de la RdP

La RdP reducida permite visualizar el modelo en una RdP más sencilla. Esta se representará con menos lugares y transiciones, preservando sus propiedades originales. Para realizar la reducción de la RdP, se seguirá cualquiera de las reglas de reducción que procedan, ver figura 3, propuestas por Murata (1989).

b) Técnica del cálculo de la ecuación de estados

Murata (1989) propone la ecuación de estados de una RdP como una ecuación matricial que define

el estado de la red, dado un marcado inicial y una secuencia de disparos de transiciones habilitadas. La ecuación fundamental de una RdP es la expresión 1:

$$M_d = M_0 + A^T \sum_{k=1}^d U_k \quad (1)$$

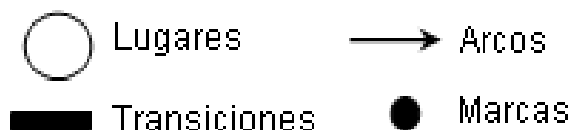
Donde:

M_d : es un vector columna de $m \times 1$, el vector de control o vector de disparo llamado.

U_k : es un vector también columna de $n \times 1$.

A^T : matriz A, es llamada de incidencia por que denota como cambiará el marcado, Matriz de Incidencia: $A = [a_{ij}]$ donde $[a_{ij}] = a_{ij}^+ - a_{ij}^-$ donde estos son los pesos de los arcos de las transiciones a los lugares.

Figura 2.
Elementos de una red de Petri



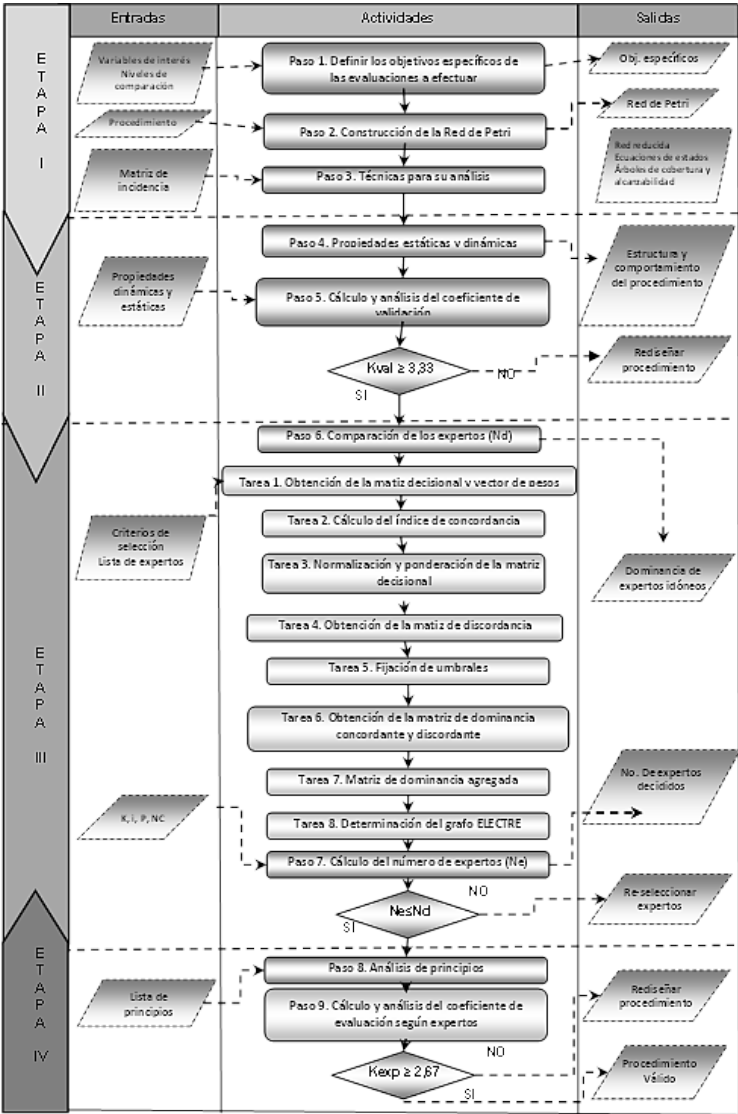
Fuente: elaboración propia, (2015)

c) Técnica de Árboles de cobertura y de alcanzabilidad

Dada la RdP (N, M_0) con marcado inicial M_0 , se pueden obtener tantos nuevos marcados como

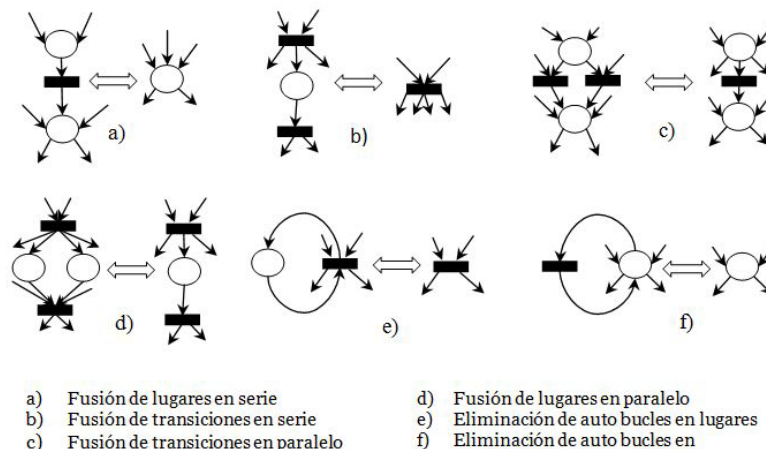
transiciones habilitadas disparadas. Este proceso resulta en un árbol de marcados infinito para una RdP no acotada. Para redes acotadas, el árbol de cobertura es llamado árbol de alcanzabilidad.

Figura 1. Herramienta para la validación multicriterio de modelos



Fuente: elaboración propia, (2015)

Figura 3
Seis formas de reducción que preservan vivacidad, seguridad y acotado.



Fuente: Murata (1989)

II. Validación del modelo a través de las propiedades de la RdP

Objetivo: determinar en qué calificación de validez se encuentra el modelo propuesto.

Paso 4. Análisis de las propiedades estáticas y dinámicas

Para validar el modelo que se esté estudiando se deben examinar el cumplimiento de propiedades estáticas o estructurales, y dinámicas o de comportamiento.

Propiedades estáticas o estructurales

a) Conservabilidad: una RdP es conservativa si existe un entero positivo $y(p)$, para cada lugar p tal que la sumatoria de marcas sea constante para cada $M \in R(N, M_0)$.

b) Limitación o acotado estructural: es limitada estructuralmente si es restringida para cualquier conjunto finito de marcados iniciales M_0 .

c) Vivacidad estructural: es estructuralmente viva si tiene un marcado inicial para N .

d) Repetibilidad: es repetible si existe un marcado M_0 y una secuencia de disparos σ desde M_0 , tal que las transiciones se disparan infinitamente en la secuencia definida por σ .

e) Controlabilidad: se dice que es completamente controlable si cualquier marcado es alcanzable desde cualquier otro marcado.

f) Consistencia: es consistente si existe un marcado M_0 y una secuencia de disparos reversible σ desde M_0 hacia M_0 , tal que cada transición haya sido disparada al menos una vez en σ .

Propiedades dinámicas o de comportamiento

- a)Alcanzabilidad: principal propiedad dinámica y consiste en que cada disparo de una transición habilitada modifica la distribución de los marcados dentro de la red, de acuerdo con las reglas de disparo.
- b) Limitable o acotada: se dice que la RdP está k- limitada si para todo marcado alcanzable se tiene que ningún lugar tiene un número de marcas mayor que k.
- c) Vivacidad: se dice viva si para un marcado inicial existe una secuencia de franqueos para la cual se puede franquear esa transición. Si todas las transiciones de una red son vivas, la RdP se llama viva y así la red nunca se bloquea.
- d) Reversibilidad y estado inicial: es reversible si para cualquier marcado alcanzable es posible volver al marcado inicial.
- e) Cobertura: un marcado M dentro de una RdP

(N, M₀) en un conjunto de marcados cubiertos o contenido, si existe un marcado M' dentro de R (N, M₀) tal que M'(p) ≥ M(p) para cada lugar p dentro de la red.

- f) Persistencia: es persistente si para cualquiera de dos transiciones habilitadas, el disparo de una transición no deshabilitará a la otra transición.
- g) Distancia sincrónica: grado de dependencia mutua entre dos eventos en un sistema condición/ evento.

Paso 5. Cálculo y análisis del coeficiente de validación

Contenido: para el cálculo del coeficiente de validación (Kval) se proponen pesos para las propiedades como se muestra en la tabla 2. Obtenido el resultado del Kval se comparará con los rangos mostrados en la tabla 3, para determinar la estrategia a seguir en el proceso de validación. En caso de no cumplirse alguna propiedad, se debe verificar la necesidad de esta en el alcance del objetivo del modelo.

Tabla 2. Pesos de las propiedades¹

| Dinámicas o del comportamiento | Wpd | Estáticas o estructurales | Wpe |
|---------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| Alcanzabilidad | 5 | Conservabilidad | 5 |
| Limitable o acotada | 5 | Limitación o acotado estructural | 5 |
| Vivacidad | 5 | Vivacidad estructural | 5 |
| Reversibilidad y estado inicial | 5 | Repetibilidad | 5 |
| Cobertura | 5 | Controlabilidad | 5 |
| Persistencia | 5 | Consistencia | 5 |
| Distancia sincrónica | 5 | | |

Fuente: elaboración propia, (2015)

$$W_p \in Z \text{ } 1 \leq W_p \leq 5$$

1 Para la determinación de los pesos Wp se realizó un estudio con más de 100 procedimientos, para determinar cuáles propiedades son las más importantes según los autores en los procedimientos diseñados, para esto fue utilizada la programación por meta, modelando una restricción para cada propiedad.

Coefficiente de validez (Kval):

$$Kval = \frac{\sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{13} Wp_i \cdot C_j}{13} \quad (2)$$

Donde:

Wpi: peso de la propiedad

C_j: cumplimiento de la propiedad en el procedimiento.

C_j (0: no se cumple; 1: se cumple)
C_j{0: no se cumple; 1: se cumple}, en caso de que una propiedad se cumpla parcialmente se tomará como no cumplida.

Tabla 3.
Rangos para el valor del Kval²

| Rango | Calificación | Acción |
|-------------|--------------|-----------------------------|
| Kval > 3,33 | Válido | Aceptar. |
| Kval ≤ 3,33 | No válido | Rediseñar el procedimiento. |

Fuente: elaboración propia, (2015)

Etapas III. Selección del número de expertos para la validación

Obtenida la validación del modelo, se procede a la evaluación de su diseño y comportamiento, para su valoración según el criterio de expertos.

Objetivo: determinar que expertos validaran el procedimiento garantizando juicios exactos y oportunos.

Paso 6. Comparación del nivel de competencia de los expertos

Contenido: seleccionar los expertos de forma que se garanticen juicios exactos y oportunos en las

calificaciones otorgadas. La mecánica operativa del ELECTRE (elimination and choice translating algorithm) es prolija, por lo que se seguirá una metodología multicriterio para la selección de estos, mediante una estructura algorítmica a través de tareas.

Tarea 1. Obtención de la matriz decisional y el vector de pesos

Se parte de una matriz decisional (E_m, C_n) como se muestra en la tabla 4, así como de un vector de pesos W obtenido por la aplicación del procedimiento.

² Para su determinación se puede verificar que en el diseño del procedimiento no se tengan que cumplir las propiedades, por particularidades de este.

Tabla 4
Matriz decisional Expertos/Criterios

| Expertos potenciales | Criterio 1 | Criterio 2 | ..... | Criterio n |
|----------------------|------------|------------|-------|------------|
| Experto 1 | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | ..... | $x_{1,n}$ |
| Experto 2 | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | ..... | $x_{2,n}$ |
| ... | . | . | | . |
| Experto m | $x_{m,1}$ | $x_{m,2}$ | ..... | $x_{m,n}$ |

Fuente: elaboración propia, (2015)

Para la selección de un experto el centro decisor³ considera como relevantes los atributos siguientes⁴:

Años de experiencias en el centro de trabajo(cargo)

Número de investigaciones realizadas en el país

Número de investigaciones realizadas en el extranjero

Calificación profesional, grado científico o académico

Número de reconocimientos alcanzados (publicaciones, premios, etc.)

Número de publicaciones en revistas de alto impacto, etc.

Todos los criterios considerados son del tipo «más mejor». La forma más sencilla de abordar esta tarea consiste en pedir al centro decisor que clasifique los criterios por orden de importancia. El centro decisor ha de realizar una comparación de valores subjetivos por «parejas». Para esto se recomienda aplicar

el método Saaty, que sugiere valores intermedios para juicios de valor contiguos. Se realiza luego una asignación, es decir, si se tiene n criterios se asigna el número 1 al criterio que considere más importante, o sea que tenga mayor peso, el número 2 al criterio siguiente en importancia hasta asignar el número n al criterio que considera menos importante o menor peso. Los pesos compatibles con dicha información pueden obtenerse a partir de esta expresión [3]:

$$\omega_j = \frac{1/r_j}{\sum_{i=1}^n 1/r_i} \quad (3)$$

Donde: r_j es el lugar o posición que ocupa el criterio j-ésimo en la clasificación establecida por el centro decisor.

Tarea 2. Cálculo del índice de concordancia

A partir de la matriz decisional (E_i, C_j) y del vector de pesos ω se calcula la matriz de índices de concordancia. El índice de concordancia c(i,k) entre las alternativas E_i y E_k se obtiene sumando

³ Grupo de estudiosos de alta experiencia en el ámbito académico

⁴ Se pueden incluir más criterios, según el grupo de trabajo

los pesos asociados a los criterios en los que la alternativa i es mejor que la alternativa k ; en caso de empate se asigna la mitad del peso a cada una de las alternativas.

Tarea 3. Normalización y ponderación de la matriz decisional

Se procede a normalizar los elementos de la matriz decisional inicial. Unos de estos pasos de normalización de criterios más utilizados en la práctica y más simple consiste en dividir los valores que alcanza el criterio por su valor «mejor». El valor mejor, es el máximo cuando el criterio consiste en un atributo del tipo «más mejor» o el mínimo cuando se trata de un atributo del tipo «menos mejor».

A partir de la matriz decisional normalizada, multiplicando cada columna de la misma por el peso preferencial correspondiente se obtiene la matriz decisional normalizada y ponderada.

Tarea 4. Obtención de la matriz de discordancia

De la matriz decisional normalizada y ponderada se deducen los índices de discordancia. El índice de discordancia $d(i,k)$ entre las alternativas E_i y E_k se calcula como la diferencia mayor entre los criterios para los que la alternativa i está dominada por la k , dividiendo seguidamente dicha cantidad por la mayor diferencia en valor absoluto entre los resultados alcanzados por la alternativa i y la k . A partir de los índices de discordancia se construye la matriz de índices de discordancia.

Tarea 5. Fijación de umbrales

Se fija un umbral mínimo c —para el índice de concordancia, así como un umbral máximo d —para el índice de discordancia. Este permite desechar los criterios.

Tarea 6. Obtención de la matriz de dominancia concordante y discordante

1. Se calcula la matriz de dominancia concordante, cuando un elemento de la matriz de índices de concordancia (tarea 2) es mayor que el valor umbral c — (tarea 5) en la matriz de dominancia concordante se escribe un uno, en caso contrario, se escribe un cero.

2. Se calcula la matriz de dominancia discordante, cuando un elemento de la matriz de índices de discordancia (tarea 4) es menos que el valor umbral d — (tarea 5) en la matriz de dominancia discordante se escribe un uno, en caso contrario, se escribe un cero.

Tarea 7. Obtención de la matriz de dominancia agregada

Se calcula la matriz de dominancia agregada (concordante-discordante) multiplicando los términos homólogos de las matrices de dominancia concordante y de dominancia discordante calculados en la tarea 6 del algoritmo.

Tarea 8. Determinación del gráfico ELECTRE

Se determina el grafo ELECTRE, donde cada alternativa representa un vértice del grafo. Del vértice i al vértice k se traza un arco, si y sólo si el correspondiente elemento de la matriz de dominancia agregada es uno. Dicho grafo, constituye una representación gráfica de la ordenación parcial de preferencias de las alternativas consideradas. El núcleo del grafo ELECTRE está formado por aquellas alternativas que no se dominan (sobre clasifican) entre estas, (esto es, no existen arcos de llegada en los correspondientes vértices), quedando además las restantes alternativas dominadas (sobreclasificadas) por alguna alternativa del núcleo

(esto es, existe al menos algún vértice del núcleo del que sale un arco a los vértices que no forman parte del núcleo). Consecuentemente con el análisis efectuado, las alternativas que no forman parte del núcleo se eliminan del proceso de elección.

Paso 7. Cálculo del número de expertos a seleccionar

Contenido: determinar la cantidad de expertos necesarios que cumplan las mejores exigencias para valorar el modelo,

La cantidad de expertos depende de la complejidad y características del trabajo a realizar. El grupo de expertos debe estar entre 7 y 15 para mantener un nivel de confianza y calificación elevado (INC 49:1981 Control de la Calidad. Métodos de expertos).

Para la determinación de la cantidad de expertos se utilizan criterios probabilísticos asumiendo una distribución binomial.

$$M = \frac{P(1 - P)K}{i^2}$$
 Con este fin se utiliza la expresión 4 siguiente:

(4)

Donde:

M: cantidad de expertos

i: nivel de precisión deseado

P: proporción estimada de errores de los expertos

K: constante cuyo valor está asociado al grado de confianza elegido.

Los valores de K se relacionan en la tabla 5.

Tabla 5.
Valores de la constante K

| Nivel de confianza (%) | K |
|------------------------|--------|
| 99 | 6,6564 |
| 95 | 3,8416 |
| 90 | 2,6896 |

Fuente: INC 49:1981 Control de la Calidad. Métodos de expertos

Para la selección de la comunidad de expertos se establecen los requerimientos generales siguientes:

- Interés en participar en el estudio: el personal experto debe estar motivado de antemano a participar y a ofrecer sus criterios sin prejuicios de ninguna índole.
- Poseer una formación de tipo empresarial en general, sin importar las especializaciones.
- Competencia profesional: deben poseer un nivel de formación superior y estar relacionados, en alguna medida, con las teorías y conceptos sobre los que se fundamenta la problemática abordada.
- Objetividad: ser profundo y objetivo en los análisis y juicios aportados.
- No estar comprometido con los resultados, de

manera tal, que sus motivaciones e intereses individuales no se superpongan con el problema abordado, para garantizar imparcialidad.

- Luego de calcular el número de expertos necesarios se compara con los expertos potenciales, los cuales deben de ser mayor que el calculado, por lo que se establece una selección de aquellos potenciales que dominan sobre el resto de los expertos.

Etapla IV. Validación del procedimiento a través del método de expertos

Obtenidos los expertos idóneos para la validación del modelo, se procede a efectuarla.

Objetivo: determinar en qué calificación de validez se encuentra el modelo según el criterio de expertos.

Paso 8. Análisis de principios de modelos

Objetivo: Determinar calificaciones del modelo según criterios

Contenido: se recomienda confeccionar una matriz de decisión como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Matriz de decisión para calificar el modelo por criterio

| Experto\Criterio | Criterio 1 | Criterio 2 | ..... | Criterio n |
|------------------|------------|------------|-------|------------|
| Experto 1 | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | ..... | $x_{1,n}$ |
| Experto 2 | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | ..... | $x_{2,n}$ |
| . | . | . | | . |
| Experto m | $x_{m,1}$ | $x_{m,2}$ | ..... | $x_{m,n}$ |

Fuente: elaboración propia, (2015)

Donde:

x_{ij} : calificación del procedimiento del experto i según el criterio j
 $i = 1.....m$ y $j = 1.....n$

Para la selección de las escalas en las que se calificarán los expertos de acuerdo con el criterio, se recomienda utilizar escalas con ruptura, o sea que no permitan que el decisor se parcialice con la calificación otorgada. Se propone la siguiente: de 1 a 4; no la posee, poco, aceptable y fuerte. Como

criterios que pueden ser utilizados se recomiendan los siguientes:

Consistencia lógica (CI): relacionado con la estructura, secuencia lógica, interrelación de aspectos y consistencia interna

Parsimonia (Par): la capacidad de la estructuración y su consistencia lógica de permitir llevar a cabo un proceso complejo de forma relativamente simple.

Flexibilidad (F): relacionado con la posibilidad

de ser aplicado, total o parcialmente, a diferentes situaciones.

Trascendencia (T): relacionado con el impacto de las acciones de su proceder.

Sistematicidad(S): concerniente al control y vigilancia sistemática sobre el proceso de mejora, facilitando un proceso de retroalimentación efectivo

Integral (I): concerniente a un enfoque sistémico, relacionado con la totalidad de los aspecto que intervienen en el y sus interrelaciones con otros procesos.

Participativo (Pa): relacionado con la aplicación del procedimiento a distintos niveles

Retributivo(R): concerniente a la identificación de su utilización e importancia.

Permanente (Pe): relacionado con la filosofía de la mejora continua.

Llenada la matriz por los expertos, se deberá determinar si hay concordancia⁴ entre estos. Luego se determinará el coeficiente de variación (Cv) según la ecuación 5:

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad 5)$$

Donde:

S: desviación típica de las calificaciones de los expertos al experto i en el criterio j

X : media de las calificaciones dadas por los expertos al experto i en el criterio j

Si $C_v < 0,20$ se puede adoptar la media () como medida, en caso contrario se adoptará la moda. Luego se determina el peso del procedimiento por cada criterio (W_j) en dependencia del coeficiente de variación.

Paso 9. Cálculo y análisis del coeficiente de validación por los expertos

Por último se determina el coeficiente de validación según los expertos (K_{exp}) según la expresión [6], teniendo en cuenta los resultados del coeficiente se adoptarán las acciones establecidas en la tabla 7.

$$K_{exp} = \frac{\sum_{j=1}^n W_j}{n} \quad (6)$$

Tabla 7.
Rangos para el valor del Kexp

| Rango | Calificación | Acción |
|---------------------|--------------|-----------------------------|
| $K_{exp} > 2,67$ | Válido | Aceptar. |
| $K_{exp} \leq 2,67$ | No válido | Rediseñar el procedimiento. |

Fuente: elaboración propia, (2015)

⁵ Que se deberá validar con la prueba de contraste que corresponda.

III. Resultados

A modo de ejemplo, se presenta la validación del modelo anteriormente descrito.

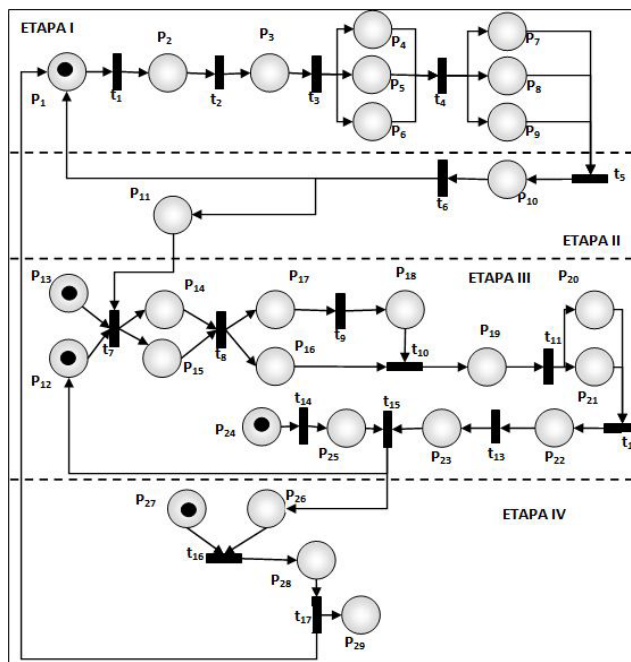
Etapas I. Análisis del procedimiento a través de una RdP

Para validar el modelo propuesto, se traduce este a una RdP, ver figura 4. En ella, se presenta la RdP que modela el modelo seleccionado. La tabla 8 explica la leyenda de la RdP de la referida figura.

De forma similar se aplicaron las reglas de reducción: fusión de lugares y transiciones en

serie y en paralelos Murillo (2008) para reducir la RdP en función de facilitar su análisis. A partir de esta reducción se obtuvo la red que se muestra en la figura 5. Los lugares $P_1 - P_9$ se unen en P_1 , P_{10} en P_2 ; P_{12} en P_5 ; P_{13} en P_3 ; P_{11} en P_4 ; P_{14} y P_{15} en P_6 ; $P_{24} - P_{25}$ en P_7 ; P_{26} en P_8 ; P_{27} en P_9 ; P_{28} en P_{10} ; P_{29} en P_{11} cambiando respectivamente la denominación de sus transiciones. Cabe aclarar, que la red puede seguir simplificándose, pero para lograr mayor claridad en la utilización de las técnicas de análisis se llegó hasta la reducción mostrada en la referida figura.

Figura 4.
Traducción del modelo seleccionado en la Red de Petri



Fuente: elaboración propia, (2015)

Tabla 8.
Leyenda de la figura 4

| Lugares | Transiciones |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P ₁ : Información sobre las variables de interés | t ₁ : definir objetivos de las evaluaciones a efectuar |
| P ₂ : Objetivos específicos en el procedimiento seleccionado | t ₂ : Construcción de la red de Petri |
| P ₃ : Red de Petri del procedimiento | t ₃ : Determinación de matriz de incidencia, marcado inicial y secuencia de disparos |
| P ₄ : Matriz de incidencia | t ₄ : Determinación de las técnicas de análisis |
| P ₅ : Marcado inicial | t ₅ : Determinación de las propiedades |
| P ₆ : Secuencia de disparos | t ₆ : Cálculo y análisis del coeficiente de validación |
| P ₇ : Reducción de la red | t ₇ : Obtención de la matriz decisional y vector de pesos |
| P ₈ : Ecuaciones de estados | t ₈ : Cálculo del índice de concordancia y normalización y ponderación de la matriz decisional |
| P ₉ : Árbol de alcanzabilidad y cobertura | t ₉ : Obtención de la matriz discordante |
| P ₁₀ : Comportamiento y estructura del procedimiento | t ₁₀ : Fijación de umbrales |
| P ₁₁ : Coeficiente aceptable | t ₁₁ : Obtención de matriz de dominancia discordante y concordante |
| P ₁₂ : Lista de expertos | t ₁₂ : Determinación de la matriz de dominancia agregada |
| P ₁₃ : Lista de criterios | t ₁₃ : Obtención del Grafo ELECTRE |
| P ₁₄ : Matriz decisional | t ₁₄ : Cálculo del número de expertos |
| P ₁₅ : Vector de pesos | t ₁₅ : Comparar el número de experto seleccionado con el necesario |
| P ₁₆ : Índice de concordancia | t ₁₆ : Cálculo del coeficiente de validación según expertos |
| P ₁₇ : Matriz normalizada y ponderada | t ₁₇ : Análisis del coeficiente de validación |
| P ₁₈ : Matriz discordante | |
| P ₁₉ : Umbral concordante y discordante | |
| P ₂₀ : Matriz de dominancia concordante | |
| P ₂₁ : Matriz de dominancia discordante | |
| P ₂₂ : Matriz de dominancia agregada | |
| P ₂₃ : Grafo ELECTRE y expertos seleccionados | |
| P ₂₄ : Proporción de error y nivel de confianza | |
| P ₂₅ : Número de expertos necesarios | |
| P ₂₆ : Número de expertos decididos | |
| P ₂₇ : Lista de principios | |
| P ₂₈ : Coeficiente de validación | |
| P ₂₉ : Procedimiento Válido | |

Fuente: elaboración propia, (2015)

El método del árbol de alcanzabilidad y cobertura de figura 7, permite observar que el marcado final es alcanzado desde el marcado inicial, así como la

posibilidad de siempre rediseñar el modeloo en las diferentes etapas por la que este transita.

Figura 7.
Árbol de alcanzabilidad según los marcados de la red



Fuente: elaboración propia, (2015)

Los resultados fueron validados por el *software CPN TOOLS* (Herramientas de Redes de Petri Coloreadas), simulándose el comportamiento del modelo, comprobándose su efectiva dinámica.

Etapas II. Validación del modelo a través de las propiedades de la RdP

Obtenidas las técnicas de análisis se procede a comprobar el cumplimiento de las propiedades para determinar el Kval del modelo seleccionado.

Propiedades estáticas

Como se puede apreciar, la red es pura ya que no existen auto bucles, o sea par de lugar y salida

donde la transición de entrada es la misma de la de salida, por lo que se procedió a la verificación de las propiedades estáticas, que no dependen de su marcado inicial.

Conservabilidad: la RdP es conservativa, ya que siempre tendrá las mismas cantidades de marcas, si se repitiera.

Limitación o acotado estructural: la RdP es limitada estructuralmente, pues existe un número finito de marcados iniciales (cinco marcados).

Vivacidad estructural: estructuralmente la red es viva porque posee un marcado inicial.

Repetibilidad: es repetible pues las transiciones siempre podrán dispararse, en este caso como solo se repiten una sola vez, en esta todas se dispararán hasta lograr el objetivo final dela validación del procedimiento.

Controlabilidad: anteriormente se comprobó que todos los marcados pueden ser alcanzados, pero no desde cualquier otro marcado, lo que se puede demostrar de la forma siguiente:

Figura 8.
Matriz de incidencia escalonada

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Fuente: elaboración propia, (2015)

Como se puede apreciar en la figura 8, en el modelo seleccionado, el rango de la matriz de incidencia es de seis, diferente al número de lugares que es once, por lo que no es completamente controlable.

Consistencia: es consistente pues la RdP es reversible, desde el marcado inicial hasta el final, todos los lugares fueron marcados al menos una vez.

Propiedades dinámicas

Alcanzabilidad: cada disparo modifica la distribución de los marcados en la RdP, de acuerdo con la reglas de disparos. Todos los marcados son alcanzables, el marcado final M_{11} es alcanzable desde M_0 según la secuencia de los disparos (figura 7) en el procedimiento seleccionado.

Limitable o acotada: la RdP es acotada, según la RdP reducida el número de marcado es igual al peso de su arco de salida, por lo que es de razón igual a uno y se puede decir que es limitada a uno por lo que la RdP es segura. Esto se puede comprobar en las técnicas de análisis de la RdP expuesta en los resultados, en el caso del marcado final donde P_4 tendrá n marcados, si fuese necesario rediseñar el procedimiento pues se tendrá tantas listas de criterios como hagan falta y no se acumularía marcados.

Vivacidad: la RdP es viva, pues una vez alcanzado el estado final por las propias características del procedimiento será necesaria una nueva secuencia de disparos (si es necesario rediseñar), por lo que

estará libre de bloqueos y no existirán problemas en su ejecución.

Reversibilidad y estado inicial: es reversible pues una vez alcanzado el objetivo final de la validación del procedimiento, es posible que sea necesario modificar las condiciones iniciales y volver al estado inicial.

Cobertura: dado que el procedimiento seleccionado es cíclico, en el Árbol de alcanzabilidad (figura 7) los marcados finales pueden ser cubiertos, pues se podrá rediseñar el procedimiento m, n veces que se podrá alcanzar el estado final. **Persistencia:** a lo largo de la RdP, el disparo de una transición no deshabilitará a otra pues las transiciones no comparten ningún recurso.

Distancia sincrónica: partiendo de que la RdP es un sistema inherentemente paralelo o concurrente, dos transiciones que estén capacitadas y no interactúan entre estas, pueden dispararse de forma independiente. En esta RdP no es necesario “sincronizar” estos resultados pues aquellas que pueden ser disparadas al mismo tiempo (t_1 y t_2 , figura 7), no impedirá su alcanzabilidad.

Comprobadas las propiedades, se determinó el coeficiente de validación, obteniéndose el resultado siguiente:

Se comprobó que este logra su objetivo de forma segura ya que garantiza que nunca entrará en un estado no válido, o sea no sigue instrucciones que no se deben realizar, es consistente, repetible, conservativo, vivo estructuralmente. Se comprobó, que el modelo supone una aproximación adecuada de la realidad para los objetivos particulares del modelo. Representa adecuadamente al sistema real con la comprobación de la estructura del modelo con respecto de las propiedades estáticas y los datos

generados de la simulación del mismo, reproducen de forma adecuada el comportamiento del sistema real con la comprobación del comportamiento del modelo con las propiedades dinámicas. Lo anterior quedó demostrado con la obtención del coeficiente de validación con una magnitud de 4,6, corroborándose que el modelo es válido.

Etapas III. Selección del número de expertos para la validación

Para la selección del número de expertos, se consideraron los cinco criterios antes explicados, y luego de aplicar el método Saaty, para decidir el orden prioridad de los criterios se obtuvo el resultado siguiente:

1. Años de experiencias en el centro de trabajo (carga).(Criterio 1)
2. Número de investigaciones realizadas en el país y en el extranjero.(Criterio 2)
3. Número de publicaciones nacionales alcanzadas (revistas, talleres, eventos etc.).(Criterio 3)
4. Calificación profesional, grado científico o académico.(Criterio 4)
5. Número de publicaciones en revistas de alto impacto.(Criterio 5)

El cálculo del peso de cada criterio se realizó de la forma siguiente:

Es interesante observar que la suma de los pesos preferenciales obtenidos es igual a uno. Esta propiedad es útil tanto para interpretar el significado de los pesos como para facilitar su uso por parte del centro decisor.

A partir de la matriz decisional (tabla 9) (Para la selección del valor del criterio cuatro se tuvo en cuenta lo siguiente: Doctor (5), Máster (4),

Especialista (3), Ingeniero o Licenciado (2) y Técnico (1)) y del vector de pesos ω se calcula la matriz de índices de concordancia, tal como se expuso en la tarea dos del algoritmo. A modo de ejemplo, se

presenta los cálculos correspondientes a los índices de concordancia de los expertos uno y dos.

$$C(1,2)=0,38+0,219+0,146+0,109+0,088=1$$

Tabla 9.
Matriz decisional

| Matriz decisional | | | | | |
|------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Expertos/ criterios | Criterio 1 | Criterio2 | Criterio3 | Criterio 4 | Criterio 5 |
| Experto 1 | 15 | 45 | 15 | 5 | 10 |
| Experto 2 | 12 | 32 | 8 | 4 | 5 |
| Experto 3 | 6 | 20 | 2 | 4 | 2 |
| Experto 4 | 27 | 34 | 14 | 3 | 4 |
| Experto 5 | 30 | 34 | 12 | 5 | 7 |
| Experto 6 | 29 | 30 | 23 | 4 | 8 |
| Experto 7 | 18 | 34 | 9 | 3 | 6 |
| Experto 8 | 25 | 28 | 5 | 2 | 6 |
| Experto 9 | 19 | 30 | 13 | 3 | 7 |
| Experto 10 | 21 | 36 | 12 | 5 | 10 |

Fuente: elaboración propia, (2015)

Es interesante observar, que por la propia definición de índices de concordancia, la suma de los elementos de la matriz simétricas con respecto a la diagonal principal ha de ser igual a la unidad. La tarea siguiente, es normalizar los elementos de la matriz decisional, para esto se dividen entre el mayor por

cada columna. A continuación, se multiplica cada columna de la matriz decisional normalizada por el peso preferencial correspondiente obteniéndose de esta manera la matriz decisional normalizada y ponderada. Ambas matrices, para los datos de esta investigación, están recogidas en la tabla 10.

Tabla 10.
Matriz decisional normalizada y ponderada

| Matriz normalizada | | | | | | Matriz Ponderada | | | | |
|--------------------|------|------|------|-----|-----|------------------|-------|------|-------|-------|
| E/C | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| E1 | 0,5 | 1 | 0,65 | 1 | 1 | 0,22 | 0,219 | 0,1 | 0,109 | 0,088 |
| E2 | 0,4 | 0,71 | 0,35 | 0,8 | 0,5 | 0,18 | 0,156 | 0,05 | 0,087 | 0,044 |
| E3 | 0,2 | 0,44 | 0,09 | 0,8 | 0,2 | 0,09 | 0,097 | 0,01 | 0,087 | 0,018 |
| E4 | 0,9 | 0,76 | 0,61 | 0,6 | 0,4 | 0,39 | 0,165 | 0,09 | 0,065 | 0,035 |
| E5 | 1 | 0,76 | 0,52 | 1 | 0,7 | 0,44 | 0,165 | 0,08 | 0,109 | 0,062 |
| E6 | 0,97 | 0,67 | 1 | 0,8 | 0,8 | 0,42 | 0,146 | 0,15 | 0,087 | 0,07 |
| E7 | 0,6 | 0,76 | 0,39 | 0,6 | 0,6 | 0,26 | 0,165 | 0,06 | 0,065 | 0,053 |
| E8 | 0,83 | 0,62 | 0,22 | 0,4 | 0,6 | 0,37 | 0,136 | 0,03 | 0,044 | 0,053 |
| E9 | 0,63 | 0,67 | 0,57 | 0,6 | 0,7 | 0,28 | 0,146 | 0,08 | 0,065 | 0,062 |
| E10 | 0,7 | 0,8 | 0,52 | 1 | 1 | 0,31 | 0,175 | 0,08 | 0,109 | 0,088 |

Fuente: elaboración propia, (2015)

Los 10 x 10 índices de concordancia, constituyen la matriz de índices de concordancia representada en la tabla 11, al igual la matriz de índices de

discordancia que se construyó, partir de la matriz decisional normalizada y ponderada, por aplicación inmediata de la mecánica operativa del algoritmo.

Tabla 11. Matriz de Concordancia y Discordancia.

| | Matriz de Concordancia | | | | | | | | | | Matriz de Discordancia | | | | | | | | | |
|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| | E 1 | E 2 | E 3 | E 4 | E 5 | E 6 | E 7 | E 8 | E 9 | E 10 | E 1 | E 2 | E 3 | E 4 | E 5 | E 6 | E 7 | E 8 | E 9 | E 10 |
| E 1 | ... | 1 | 1 | 0,562 | 0,507 | 0,416 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,463 | .. | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0,8 | 1 | 0,857 | 1 |
| E 2 | 0 | .... | 0,945 | 0,197 | 0 | 0,274 | 0,109 | 0,474 | 0,328 | 0 | 1 | .. | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 3 | 0 | 0,055 | ... | 0,109 | 0 | 0,055 | 0,109 | 0,109 | 0,109 | 0 | 1 | 1 | .. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 4 | 0,438 | 0,803 | 0,891 | .... | 0,255 | 0,219 | 0,748 | 0,912 | 0,857 | 0,584 | 0,278 | 0,09 | 0,07 | .. | 1 | 1 | 0,154 | 0,333 | 0,25 | 0,56 |
| E 5 | 0,493 | 1 | 1 | 0,745 | .... | 0,766 | 0,89 | 1 | 0,81 | 0,565 | 0,227 | 0 | 0 | 0,25 | .. | 1 | 0 | 0 | 0,063 | 0,231 |
| E 6 | 0,584 | 0,726 | 0,945 | 0,781 | 0,234 | ..... | 0,781 | 1 | 0,89 | 0,584 | 0,35 | 0,04 | 0 | 0,333 | 0,286 | .. | 0,125 | 0 | 0 | 0,25 |
| E 7 | 0,438 | 0,891 | 0,891 | 0,252 | 0,11 | 0,219 | .... | 0,518 | 0,263 | 0 | 1 | 0,222 | 0,111 | 1 | 1 | 1 | .. | 1 | 1 | 1 |
| E 8 | 0,438 | 0,526 | 0,891 | 0,088 | 0 | 0 | 0,482 | .... | 0 | 0,438 | 0,533 | 0,211 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 0,3 | .. | 0,56 | 1 |
| E 9 | 0,438 | 0,672 | 0,891 | 0,143 | 0,19 | 0,11 | 0,737 | 1 | .... | 0,146 | 1 | 0,2 | 0,105 | 1 | 1 | 1 | 0,67 | 1 | .. | 1 |
| E 10 | 0,537 | 1 | 1 | 0,416 | 0,435 | 0,416 | 1 | 0,562 | 0,854 | .... | 0,44 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,86 | 0,25 | .. |

Fuente: elaboración propia, (2015)

Tabla 12. Matriz de Dominancia concordante y discordante.

| | Matriz de Dominancia Concordante | | | | | | | | | | Matriz de Dominancia Discordante | | | | | | | | | |
|------|----------------------------------|------|-----|------|------|-------|------|------|------|------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | E 1 | E 2 | E 3 | E 4 | E 5 | E 6 | E 7 | E 8 | E 9 | E 10 | E 1 | E 2 | E 3 | E 4 | E 5 | E 6 | E 7 | E 8 | E 9 | E 10 |
| E 1 | ... | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | .. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E 2 | 0 | .... | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .. | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E 3 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E 4 | 0 | 1 | 1 | .... | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | .. | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | .... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | .. | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | ..... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | .. | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 7 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | .... | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | .. | 0 | 0 | 0 |
| E 8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | .... | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | .. | 1 | 0 |
| E 9 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | .... | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .. | 0 |
| E 10 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | .... | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | .. |

Fuente: elaboración propia, (2015)

Tabla 13.
Matriz de dominancia agregada

| Matriz de dominancia agregada | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | E 1 | E 2 | E 3 | E 4 | E 5 | E 6 | E 7 | E 8 | E 9 | E 10 |
| E 1 | .. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E 2 | 0 | .. | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E 3 | 0 | 0 | .. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E 4 | 0 | 1 | 1 | .. | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | .. | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | .. | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E 7 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | .. | 0 | 0 | 0 |
| E 8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | .. | 0 | 0 |
| E 9 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .. | 0 |
| E 10 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | .. |

Fuente: elaboración propia, (2015)

La próxima tarea a seguir, es fijar los umbrales de concordancia y de discordancia. Unos valores inicialmente aconsejables para estos umbrales pueden venir dados por los valores medios de los elementos de las matrices de índices de concordancia y discordancia. Los valores, para los datos del caso de estudio, son: $c=0,5$ y $d=0,6126$.

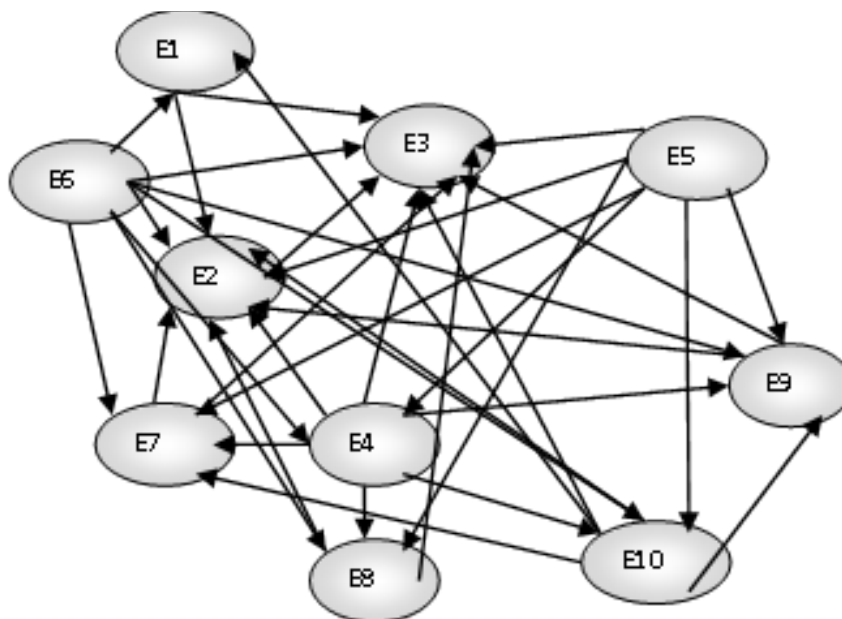
A partir de los anteriores umbrales de concordancia y discordancia, se aplica la mecánica operativa expuesta en la tarea seis, obteniendo las matrices de dominancia concordante y discordante respectivamente. Estas matrices están representadas en la tabla 12.

Según se expuso en la tarea 7, del algoritmo por medio de una multiplicación término a término de

las dos matrices anteriores se obtiene la matriz final de dominancia agregada (concordante-discordante) que queda recogida en la tabla 13.

De la matriz de dominancia agregada por aplicación inmediata de la mecánica operativa expuesta en la tarea anterior del algoritmo, se obtiene el grafo ELECTRE o grafo de sobre clasificaciones representado en la figura 9. De este grafo, se deduce inmediatamente que para los valores umbrales elegidos los expertos más dominantes; aquellos que poseen mayor cantidad de uno, son los expertos cuatro, cinco y seis. Para una mejor comprensión se utilizó el software UCINET 6(versión 5.45), para ver los expertos más dominados, los cuales resultaron ser los expertos dos y tres.

Figura 9.
Grafo de sobre clasificaciones



Fuente: elaboración propia, (2015)

Luego se calcula el número de expertos atendiendo a las condiciones necesarias con un grado de confianza del 95%, una proporción de error del 2%, una precisión del 10%, se obtiene una cantidad mínima necesaria de ocho expertos, por lo que se decidió eliminar aquellos expertos más dominados (expertos dos y tres). Los detalles se muestran a continuación:

La tabla 14, muestra los principios necesarios, para lograr una amplia efectividad del modelo validado. Se procedió a validarlo determinando un coeficiente de validación $K_{exp}=3,694$, mayor que 2,67 por lo que se considera que el modelo analizado es válido.

Tabla 14.
Matriz de calificación de los expertos

| | CL | Par | F | T | S | I | Pa | R | Pe |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| E 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 |
| E 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| E 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| E 6 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| E 7 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| E 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| E 9 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| E 10 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| s | 0,3536 | 0,3536 | 0,3536 | 0,4629 | 0,4629 | 0,6409 | 0,3536 | 0,4629 | 0,5345 |
| x | 3,875 | 3,875 | 3,875 | 3,75 | 3,75 | 2,875 | 3,875 | 3,75 | 3,5 |
| Cv | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,12 | 0,22 | 0,09 | 0,12 | 0,15 |
| Valor | 3,875 | 3,875 | 3,875 | 3,75 | 3,75 | 3 | 3,875 | 3,75 | 3,5 |
| Kexp | 3,694 | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia, (2015)

III. Conclusiones y recomendaciones

- 1. La herramienta presentada para la validación de modelos a través de las RdP, constituye una novedad, en la aplicación de estas. El enfoque multicriterio compone un mecanismo primordial en la efectividad del mismo.
- 2. Se validó el modelo que se propone para el fin declarado mediante la RdP y criterio de expertos, corroborándose que en su diseño se cumplen las propiedades estructurales, así como de comportamiento y un conjunto de principios necesarios para su impacto, determinándose que no deben realizarse cambios en el diseño de este.
- 3. Se recomienda extender el desarrollo del modelo propuesto al contorno industrial, de tal

forma que la utilización de modelos simulados con redes de Petri permita mejorar los procesos empresariales, así como incrementar el número de criterios a utilizar en la modelación para la selección de expertos y valoración de estos modelos.

IV. Bibliografía

Araújo, R. T. S., Araújo, M. E. S., Medeiros, F. N. S. d., & Barroso, G. C. (2015). Modelagem de um sistema de gestão na Educação a Distância no Brasil utilizando redes de Petri Coloridas. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 23(1). doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000100016>

- Baptista, H. A. (2009). Validación y verificación de métodos de laboratorio aplicados al Banco de Sangre. [Artículo de revisión]. *Revista Mexicana Medicina Transfunsional*, 2(1), 20-29.
- Castro, S. A., y Cuervo, J. S. A. (2015). *Simulación de un proceso productivo en un ambiente de personalización masiva a través de redes de petri [recurso electrónico]*.
- Cely, M. M. H. (2013). Modelado e implementación de un sistemas automático de detección y diagnostico de fallas basado en redes de petri para el proceso hogar en la generación de vapor. *Scientia et Technica*, 18(4), 599-605.
- Gutiérrez, H., y Muñoz, Á. G. (2013). Generación de diagramas ladder mediante el uso de redes de Petri difusas. *Revista Vínculos*, 10(2).
- Li, Z., Wu, N., y Zhou, M. (2012). Deadlock control of automated manufacturing systems based on Petri nets—A literature review. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 42(4), 437-462.
- Morales de la Cruz, C. (2004). *Desarrollo y validación prospectiva de una técnica analítica por cromatografía líquida de alta performance (HPLC) Para el Enalapril 10mg tabletas recubiertas*. Tesis para optar al título profesional de Químico-Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Muñoz, S. C. (2006). *Validación del método microbiológico Cilindro-Placa para la potencia del Antibiótico Lincomicina Clorhidrato*. Para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador San Salvador.
- Morales, A., Rojas, J. A., Hernández, L. H., Morales, A., y Jiménez, M. Y. (2015). Modelo de un sistema de producción esbelto con redes de Petri para apoyar la toma de decisiones. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 23(2), 182-195.
- Murata, T. (1989). Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, 77(4), 541-580.
- Murillo, L. D. (2008). Redes de Petri: Modelado e implementación de algoritmos para autómatas programables. *Tecnología en Marcha*, 21(4), 102.
- Petri, C. A. (1962). *Kommunikation mit Automaten*.
- Pérez, J., Trujillo, M., Castro, G., y Gómez, G. (2014). Modelación multicriterio del nivel de prevención de contaminación por mercurio en entidades odontológicas. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 23(1), 128-144.
- Romero, C. (1996). *Análisis de Decisiones Multicriterios* (Isdefe ed. Vol. I). Madrid.
- Soto, L. D. M. (2011). Simulación de un sistema de manufactura flexible con redes de Petri coloreadas. *Tecnología en Marcha*, 23(1), pág. 47.
- Vásquez, Á. A. (2006). *Calificación de equipos HPLC y validación de metodologías analíticas. Validación de metodología analítica de Aspirina® 500mg*. Unidad de Práctica Prolongada para optar al título de Químico-Farmacéutico, Universidad de Chile Santiago de Chile, Chile.
- Vega de la Cruz, L. O. (2014). *Procedimiento para la modelación multicriterio de los recursos representativos del sistema logístico*. Ing. Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial, Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín.
- Vega de la Cruz, L. O., Lao Leon, Y. O., Pérez Pravia, M. d. l. C., y Marrero Delgado, F. (2015). Redes de Petri: Herramienta para la validación de

- procedimiento. *Conferencia Científica Internacional de Holguín, VII*.
- Villapol, M. E. (2012). Analysis of the Properties of the Bluetooth BasebandConnection Establishment Using Colored Petri Nets *Computación y Sistemas*, 16(4), 433-446.
- Zapata, G., Hoyos, B., y Quintero, L. (2014). Diseño del sistema automático para una planta piloto de recubrimientos electrolíticos. Parte I: Modelo mediante Redes de Petri Jerárquicas. *Revista Facultad de Ingeniería*(45), 67-76.