

Redes de Petri: una herramienta para la validación de procedimientos / Petri nets: a tool for the validation of procedures

Leudis Orlando Vega-de la Cruz¹ leovega@uho.edu.cu, <http://orcid.org/0000-0001-7758-2561>; Yosvani Orlando Lao-León¹ <http://orcid.org/0000-0001-7491-3548>; Fernando Marrero-Delgado² <http://orcid.org/0000-0002-5470-2572>; Milagros Caridad Pérez-Pravia¹ <https://orcid.org/0000-0002-3062-5939>

Institución de los autores

¹ Universidad de Holguín

² Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

País: Cuba

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento - No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Resumen

Al diseñar un procedimiento, se tiene la incertidumbre si este permitirá, luego de su aplicación, obtener los resultados esperados. Es muy frecuente que, durante su aplicación, emerjan dificultades de coordinación entre las diferentes actividades, tareas y (o) pasos. En este artículo se presenta una alternativa de validación de procedimientos a través de la utilización de las Redes de Petri, que mediante sus técnicas de análisis permite a priori conocer la viabilidad de aplicar el procedimiento seleccionado. A modo de ejemplo se muestra la validación de un procedimiento, concluyéndose que este es válido.

Palabras clave: Procedimiento; Validación; Redes de petri.

Abstract

When designing a procedure, there is uncertainty if it will allow, after its application, to obtain the expected results. It is very frequent that during its application, coordination difficulties arise between the different activities, tasks and (or) steps. This article presents an alternative procedure validation through the use of Petri Nets, which through its analysis techniques allows knowing the feasibility of applying the selected procedure. As an example, the validation of a procedure is shown, concluding that it is valid.

Key words: Procedure, Validation, Petri nets.

Introducción

La validación, constituye una herramienta que avala y sustenta la pertinencia y confiabilidad del objeto de validación; es por ello que se considera que esta garantiza la calidad de un procedimiento (Vásquez Ortiz, 2006; Baptista González, 2009), pues le confiere fiabilidad a los resultados obtenidos en el análisis, asegurando así, que en este se cumplan los parámetros establecidos. Derivado de esta condición, constituye una premisa validar los procedimientos, comprobándose que se cumpla con las exigencias, tanto internas de este, como las del entorno en que se pretende aplicar.

Las investigaciones científicas, principalmente en el ámbito académico, proponen herramientas que se sustentan mayormente en procedimientos, que no en todos los casos se encuentran validados en la praxis. Se ha convertido en una práctica frecuente validar los procedimientos a través del criterio de expertos, lo que, si bien 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 se aplica cuando se elabora un nuevo método analítico. Comprende el estudio de todos los criterios necesarios para demostrar el buen funcionamiento del método (Morales de la Cruz, 2004).

En muchos casos para atenuar errores aleatorios se ha utilizado la modelación matemática (Vega de la Cruz, Pérez Campaña, Pérez Vallejo y Tapia Claro, 2017; Vega de la Cruz, Pérez Pravia y Tapia Claro, 2017), sin embargo, persisten deficiencias desde los modelos académicos. Con el propósito de ofrecer una mejor alternativa, se recurrió a unas de las herramientas más utilizadas actualmente las Redes de Petri para el análisis de redes complejas (Luis Diego Murillo Soto, 2011; Li, Wu, y Zhou, 2012; Villapol, 2012; Araújo, Araújo, Medeiros, y Barroso, 2015; Castro Rivera y Cuervo Oliveros, 2015; Morales Varela, Rojas Ramírez, Hernández Gómez, Morales González, y Jiménez Reyes, 2015), pero esta vez para procedimientos. Estas permitirán detectar ausencias de situaciones críticas que afecten el adecuado desarrollo del procedimiento propuesto en el ámbito académico permitiendo así la efectividad y logro de su futura aplicación.

Materiales y Métodos

Se utilizó las Redes de Petri (RdP), (Petri, Carl Adam. (1962). Kommunikation mit Automaten), estas fueron utilizadas inicialmente para el análisis de algoritmos en la computación paralela o concurrente, pero dada la complejidad de los procesos productivos actuales, las RdP constituyen un método alternativo de diseño tanto para el proceso industrial como para el controlador.

En los últimos tiempos se ha integrado a la administración desde la dirección (Vega de la Cruz, Lao León y Nieves Julve, 2017; Vega de la Cruz, Lao León y Pérez Pravia, 2016 y Vega de la Cruz y Nieves Julve, 2015). Orientado desde la validación prospectiva de los modelos académicos hasta la identificación de riesgos en el sistema empresarial. En la figura 1 se propone una metodología para validar procedimientos.

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, $RdP = (P, T, F, W, M_0)$.

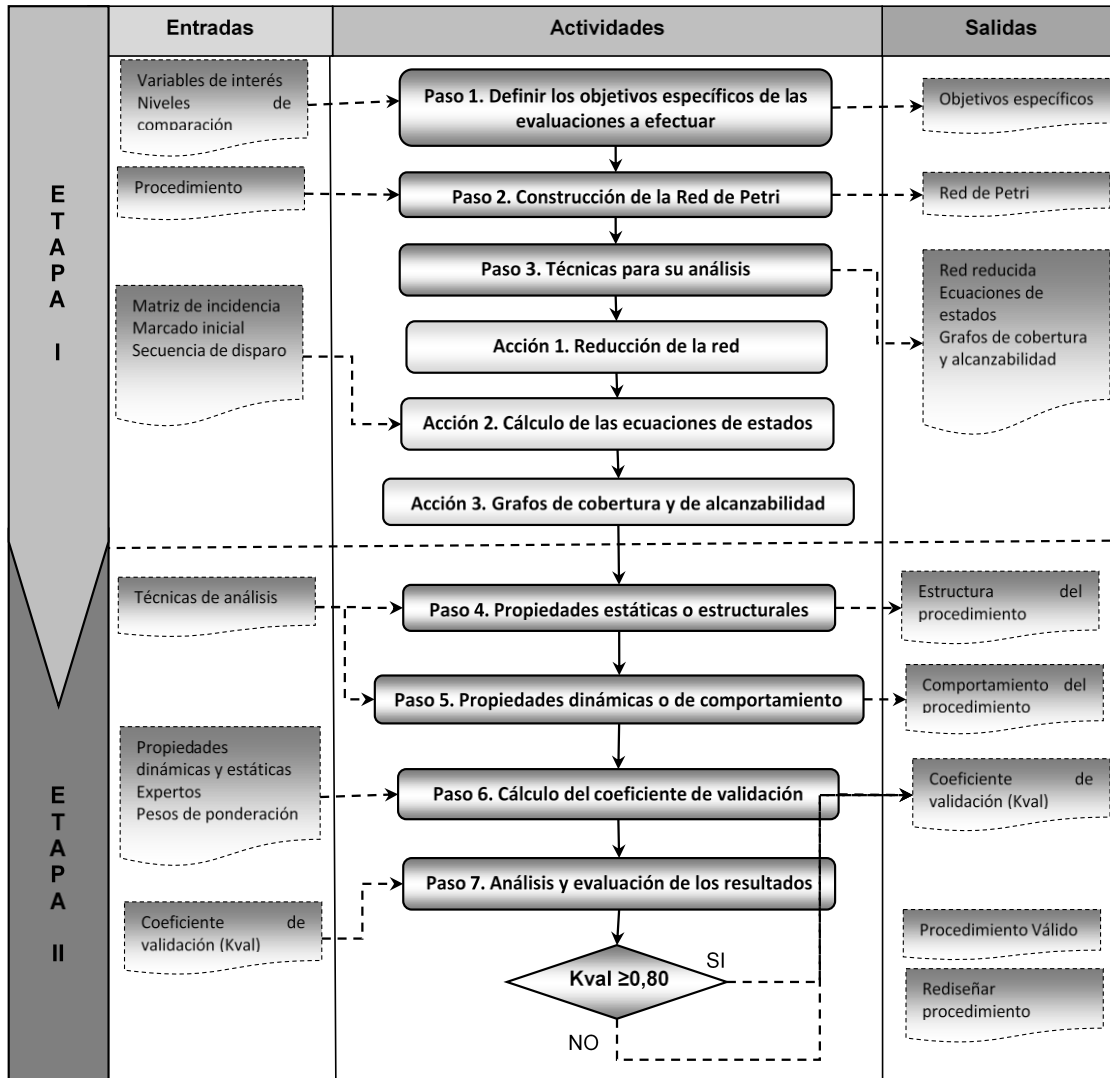


Figura 1. Herramienta para la validación de procedimientos a través de Redes de Petri.

Fuente: Elaboración propia

Según Luis Diego Murillo Soto (2008), la fortaleza del modelado de las RdP radica en sus propiedades, que se dividen en dos grandes áreas, las dependientes del marcado inicial llamadas propiedades dinámicas o del comportamiento (alcanzabilidad, limitable o acotada, vivacidad, reversibilidad y estado inicial, cobertura, persistencia, distancia sincrónica) y las propiedades independientes del marcado, llamadas estructurales o estáticas (conservabilidad, limitación o acotado estructural, vivacidad estructural, repetibilidad, controlabilidad, consistencia).

Etapas I. Análisis del procedimiento a través de una RdP

Esta etapa se inicia cuando se obtiene el diseño del procedimiento propuesto, con sus recursos definidos, posibles riesgos y necesidad de implementación, luego de definir los objetivos de la validación, se traduce al lenguaje de la RdP para la posterior realización de las técnicas de análisis.

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 en este procedimiento para verificar en qué medida se alcanza el estado deseado del procedimiento, permitiendo evitar que este pase a la fase de implementación con un modelo erróneo.

Paso 2. Construcción de la Red de Petri

Contenido: para la construcción de la RdP a partir del procedimiento, se comenzará con la traducción de las acciones, pasos, tareas, etapas o fases de este, a lugares (círculos) y transiciones de la red (rectángulos). La simbología de la red de la forma siguiente: los lugares activos se representan con una marca (punto en el centro), y para unir lugares y transiciones se utilizan los arcos (flechas). Como se muestra a continuación en la tabla1.

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 Soto (2008).

Paso 3. Técnicas para su análisis

Acción 1. Reducción de la RdP

La RdP reducida permite visualizar el procedimiento en una RdP más sencilla, o sea de menos lugares y transiciones, preservando sus propiedades originales. Para realizar la reducción de la RdP se seguirán cualquiera de las reglas de reducción (que procedan) propuestas por Murata (1989):

- a) Fusión de lugares en serie
- b) Fusión de transiciones en serie.

- c) Fusión de transiciones paralelas.
- d) Fusión de lugares paralelos.
- e) Eliminación de auto bucles en lugares.
- f) Eliminación de auto bucles en transiciones.

Acción 2. Cálculo de la ecuación de estados

Murata (1989), expone 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:

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

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.

Acción 3. Grafos 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 grafo de marcados infinito para una RdP no acotada. Para redes acotadas, el grafo de cobertura es llamado grafo de alcanzabilidad.

Etapla II. Validación del procedimiento a través de las propiedades de la RdP

Obtenidas las técnicas de análisis, se procede a la evaluación de su diseño y del futuro comportamiento, para su validación.

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

Paso 4. Propiedades estáticas o estructurales

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 $M \in R(N, M_0)$.

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

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

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 .

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

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 .

Paso 5. Propiedades dinámicas o de comportamiento

Alcanzabilidad: principal propiedad dinámica cuyo objetivo es determinar si determinados estados son alcanzables o no. Cada disparo de una transición habilitada modifica la distribución de los marcados dentro de la red, de acuerdo con las reglas de disparo. Esta propiedad es fácil de chequear si se dispone del grafo de alcanzabilidad y muy difícil, en el caso general, cuando no se dispone de él.

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 .

Vivacidad: se dice viva si en toda secuencia de ejecución infinita toda transición se puede disparar siempre, en el futuro (infinitas veces). Si las ejecuciones son finitas, por la naturaleza del sistema, no tiene sentido hablar de vivacidad, salvo que se haga una transformación del modelo. Si todas las transiciones de una red son vivas, la RdP se llama viva y así la red nunca se bloquea.

Reversibilidad y estado inicial: es reversible si para cualquier marcado alcanzable es posible volver al marcado inicial.

Cobertura: un marcado M dentro de una RdP (N, M_0) en un conjunto de marcados cubiertos o contenido, si existe un marcado M' dentro de $R(N, M_0)$ tal que $M'(p) \geq M(p)$ para cada lugar p dentro de la red.

Persistencia: es persistente si para cualquiera de dos transiciones habilitadas, el disparo de una transición no deshabilitará a la otra transición.

Distancia sincrónica: grado de dependencia mutua entre dos eventos en un sistema condición/evento.

Paso 6. Cálculo del coeficiente de validación

Contenido: para el cálculo del coeficiente de validación (K_{val}) se proponen pesos para las propiedades como se muestra a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Pesos de las propiedades

Dinámicas o del comportamiento	Wpd	Estáticas o estructurales	Wpe
Alcanzabilidad	0,1763	Conservabilidad	0,0714
Limitable o acotada	0,1464	Limitación o acotado estructural	0,0297
Vivacidad	0,0588	Vivacidad estructural	0,0305
Reversibilidad y estado inicial	0,0413	Repetibilidad	0,0238
Cobertura	0,1606	Controlabilidad	0,0138
Persistencia	0,1036	Consistencia	0,0642
Distancia sincrónica	0,0795		

$$Wp \in Z \ 0 \leq Wp \leq 1$$

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 el método de Saaty en conjunto con la programación por meta, modelando una restricción para cada propiedad.

Coeficiente de validez (Kval):

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

Donde:

Wp_i : peso de la propiedad

C_j : cumplimiento de la propiedad en el procedimiento. C_j 0: *no se cumple*; 1: *se cumple* , en caso de que una propiedad se cumpla parcialmente se tomará como no cumplida.

Paso 7. Análisis y evaluación de los resultados

Contenido: obtenido el resultado del $Kval$ este se comparará con los rangos siguientes: $1 \geq Kval \geq 0,80$ es Válido y se acepta el procedimiento, de lo contrario se rediseña este como estrategia a seguir. Para su determinación se tuvo en cuenta las propiedades que son de obligatorio cumplimiento en los procedimientos.

Resultados

A continuación, se presenta un ejemplo del procedimiento descrito anteriormente.

Etapas I. Análisis del procedimiento a través de una RdP

El ejemplo consiste en un procedimiento para el pronóstico de la demanda a través de redes neuronales artificiales (figura 2).

Como se puede observar en la figura 2 se presenta la RdP que modela el procedimiento seleccionado. De igual forma en la tabla 3 se explica la leyenda de la RdP en la figura 2.

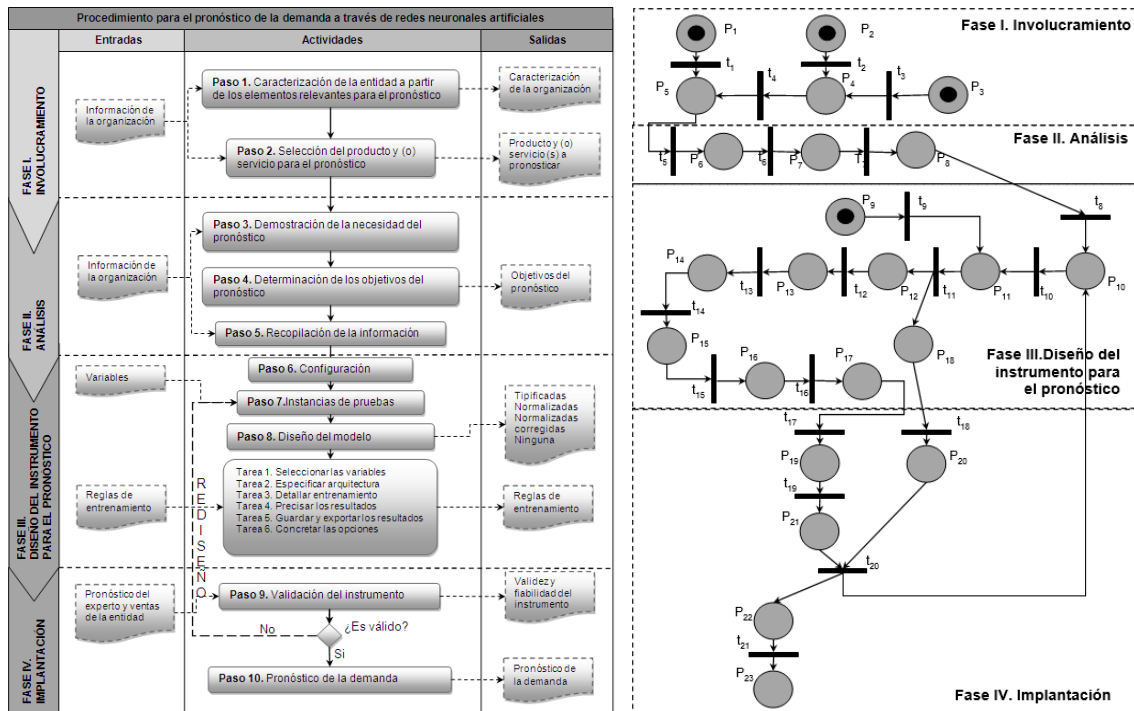


Figura 2. Red de Petri del procedimiento seleccionado

De forma similar se aplicaron las reglas de reducción: fusión de lugares en serie y en paralelos (Luis Diego Murillo Soto, 2008) para reducir la RdP en función de facilitar su análisis. A partir de esta reducción se obtuvo la red siguiente: los lugares P_6 - P_8 se unen en P_6 , P_{11} en P_8 , P_{12} - P_{21} en P_9 y P_{22} - P_{23} en P_{10} , cambiando respectivamente la denominación de sus transiciones.

A partir de la RdP simplificada a diez lugares y nueve lugares se procedió a determinar la matriz de incidencia, ecuaciones de estado, grafo de alcanzabilidad y de cobertura.

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Luego se procedió con el método del grafo de alcanzabilidad y cubrimiento (figura 3), teniendo en cuenta los resultados anteriores.

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

Obtenidas las técnicas de análisis se procedió a comprobar el cumplimiento de las propiedades para determinar el Kval del procedimiento 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.

Tabla 3. Leyenda de la figura 2

Lugares	Transiciones
P ₁ : Características de la entidad relevante para el pronóstico	t ₁ : Listado de bienes y servicios que oferta la entidad
P ₂ : Lista de expertos	t ₂ : Seleccionar los expertos según su nivel de competencia
P ₃ : Lista de criterios para seleccionar bienes o servicios para el pronóstico	t ₃ : Seleccionar el criterio para seleccionar bienes o servicios para el pronóstico
P ₄ : Criterio para seleccionar bienes o servicios para el pronóstico	t ₄ : Seleccionar el (los) bienes o servicios para el pronóstico a partir de aplicar Pareto
P ₅ : Bienes o servicios a pronosticar	t ₅ : Analizar la situación actual de los bienes o servicios seleccionados
P ₆ : Demostración de la necesidad del pronóstico para los bienes o servicios seleccionados	t ₆ : Definir los objetivos del pronóstico tomando como base los resultados analizados anteriormente
P ₇ : Objetivos del pronóstico	t ₇ : Recopilar la información necesaria para el pronóstico
P ₈ : Información para aplicar el instrumento para el pronóstico	t ₈ : Clasificar y analizar la información recopilada
P ₉ : Configuración de la infraestructura	t ₉ : Verificar que la PC cumpla con los requerimientos no funcionales
P ₁₀ : Definir instancias de pruebas	t ₁₀ : Seleccionar las variables
P ₁₁ : Variables seleccionadas	t ₁₁ : Clasificar las variables, covariables y factores a tener en cuenta en el pronóstico
P ₁₂ : Particiones definidas	t ₁₂ : Especificar el método de crear particiones
P ₁₃ : Arquitectura especificada	t ₁₃ : Especificar arquitectura
P ₁₄ : Entrenamiento detallado	t ₁₄ : Especificar el modo en que debe entrenarse la red
P ₁₅ : Resultados precisados	t ₁₅ : Definición de la estructura de la red y su rendimiento
P ₁₆ : Resultados a guardar y exportar	t ₁₆ : Seleccionar los resultados a guardar o exportar
P ₁₇ : Opciones concretadas	t ₁₇ : Seleccionar valores definidos como perdidos por el usuario, reglas de parada y número máximo de casos que se almacenarán en memoria
P ₁₈ : Pronóstico por SEL	t ₁₈ : Obtener el error promedio por SEL
P ₁₉ : Pronóstico con RNA _{PM}	t ₁₉ : Obtener el error promedio por RNA _{PM}
P ₂₀ : Error promedio por SEL	t ₂₀ : Comparar
P ₂₁ : Error promedio por RNA _{PM}	t ₂₁ : Obtener el pronóstico del período seleccionado
P ₂₂ : RNA _{PM} válida	
P ₂₃ : Pronóstico obtenido	

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 (cuatro marcados).

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

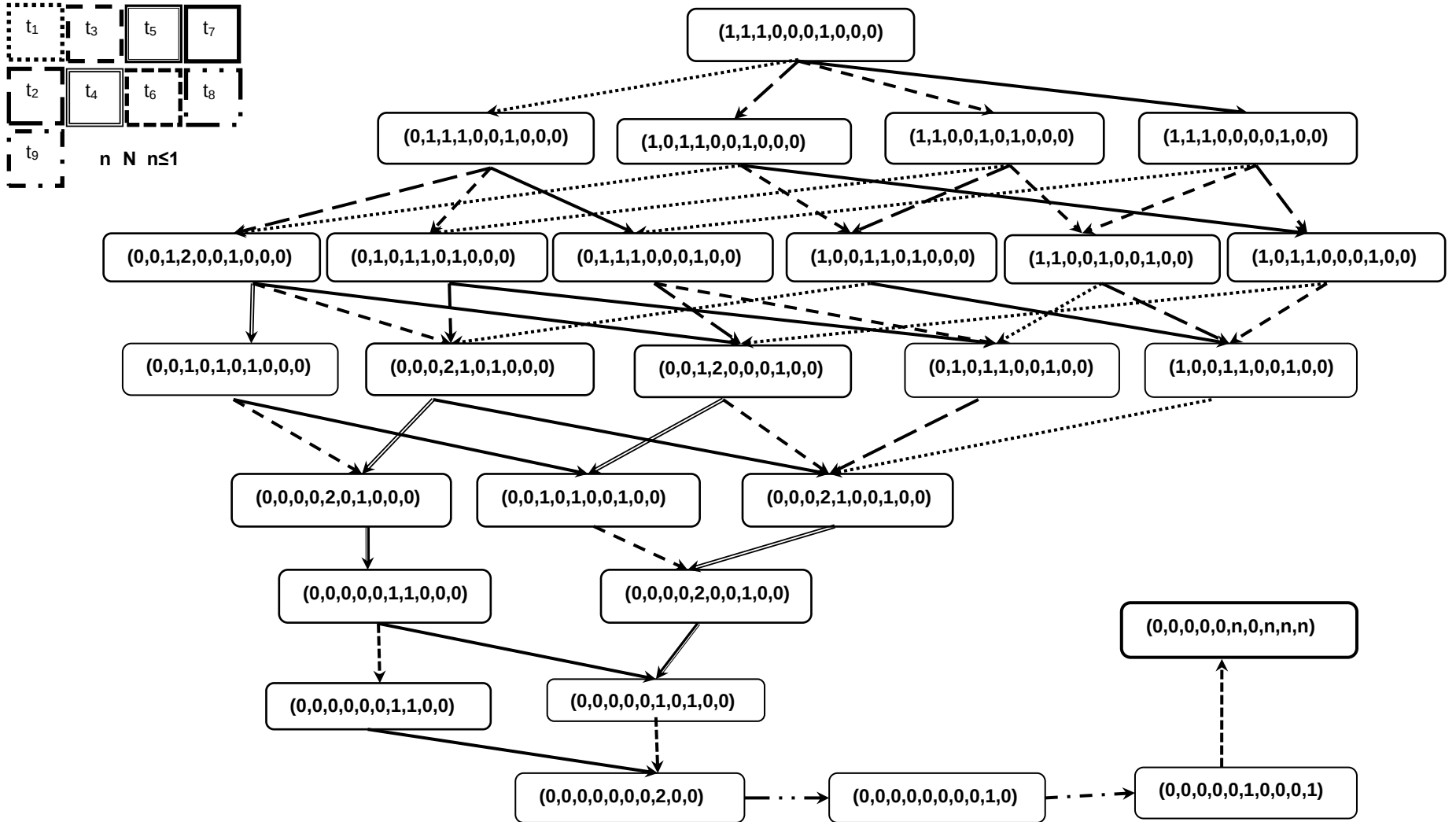


Figura 3. Grafo de Cubrimiento del procedimiento seleccionado.

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 del pronóstico de la demanda.

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:

$$A_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 2 \end{matrix} \end{matrix}$$

Como se puede apreciar, en el procedimiento seleccionado el rango de la matriz de incidencia es de nueve, diferente al número de lugares que es diez, por lo que el procedimiento no es completamente controlable. Esta propiedad es de gran importancia en los procesos, pero para el procedimiento no será necesario que las condiciones iniciales (lista de expertos, característica de la empresa e infraestructura de la red) se vuelvan a crear pues serán las mismas en el mismo periodo de tiempo.

Consistencia: es consistente pues, aunque la RdP no 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 las reglas de disparos. Todos los marcados son alcanzables, el marcado final M_6 es alcanzable desde M_0 según la secuencia de los disparos (figura 3) en el procedimiento seleccionado.

Limitable o acotada: la RdP es acotada según el grafo de cobertura de la figura 3, por cada disparo se obtiene una M cantidad de disparos menor o igual que la anterior, 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.

Vivacidad: la RdP no es viva, pues una vez alcanzado el estado final por las propias características del procedimiento no será necesario una nueva secuencia de disparos, se

considera que la RdP es parcialmente viva, por lo que estará libre de bloqueos y no existirán problemas en su ejecución.

Reversibilidad y estado inicial: no es reversible pues una vez alcanzado el objetivo final del pronóstico de la demanda, no será necesario modificar las condiciones iniciales y volver al estado inicial.

Cobertura: dado que el procedimiento seleccionado es cíclico, en el Grafo de cobertura (figura 3) los marcados finales pueden ser cubiertos por n sin afectar su acotamiento, por lo que se puede asegurar que el marcado final $(0,0,0,0,0,0,0,0,1)$ cuando las n son cero y solo el último tiene valor de uno, se alcanza el pronóstico de la demanda.

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 y (o) concurrente, dos transiciones que estén capacitadas y no interactúan entre sí, pueden dispararse de forma independiente. En esta RdP no es necesario “sincronizar” estos resultados ya que no es un requerimiento del procedimiento seleccionado pues aquellas que pueden ser disparadas al mismo tiempo, no impedirá su alcanzabilidad. Esto se puede apreciar en la figura 3 donde en todas las opciones de disparos, que pudieran suceder, siempre se llegará al destino final del pronóstico.

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

$$K_{val} = \frac{\sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{13} Wp_i \cdot C_j}{13 \cdot 13} = 0,8860$$

Se comprobó que este logra su objetivo y 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 etc. y en cuanto a las propiedades que no se cumplen, se considera que no son necesarias para este tipo de procedimiento. Se pudo comprobar que el modelo supone una aproximación adecuada de la realidad para los objetivos particulares del procedimiento pues representa adecuadamente al sistema real con la comprobación de la estructura del modelo con las propiedades estáticas y los datos generados de la simulación del modelo, 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 0,8860, corroborándose que el procedimiento seleccionado es válido.

Conclusiones

1. La herramienta presentada para la validación de procedimientos a través de las RdP, constituye una novedad, en la aplicación de estas.
2. Se validó el procedimiento seleccionado mediante la RdP, corroborándose que en su diseño se cumplen las propiedades: alcanzabilidad, cobertura, persistencia, conservabilidad, limitación o acotado estructural, vivacidad estructural, repetibilidad y consistencia.
3. Según la modelación del procedimiento mediante las redes Petri, y el posterior análisis de las propiedades tanto dinámicas como estáticas, no deben realizarse cambios en el diseño de este.

Referencias Bibliográficas

- Araújo, R. T. S., Araújo, M. E. S., Medeiros, F. N. S. de, y Barroso, Giovanni, 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), ISSN: 0718-3305. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000100016>
- Baptista González, H. A. (2009). Validación y verificación de métodos de laboratorio aplicados al Banco de Sangre. *Revista Mexicana Medicina Transfunsional*, 2(1), 20-29.
- Castro Rivera, S. A., y Cuervo Oliveros, J., Sebastián, A. (2015). *Simulación de un proceso productivo en un ambiente de personalización masiva a través de redes de petri [recurso electrónico]*.
- 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), ISSN: 1094-6977, 437-462.
- Morales Varela, A., Rojas Ramírez, J. A., Hernández Gómez, L. H., Morales González, Á.I, y Jiménez Reyes, 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), ISSN: 0718-3305, 182-195.
- Murata, T. (1989). Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*,

77(4), ISSN: 0018-9219, 541-580.

Murillo Soto, L. D. (2011). Simulación de un sistema de manufactura flexible con redes de Petri coloreadas. *Tecnología en Marcha*, 23(1), ISSN: 2215-3241, 47.

Murillo Soto, L. D. (2008). Redes de Petri: Modelado e implementación de algoritmos para autómatas programables. *Tecnología en Marcha*, 21(4), ISSN: 2215-3241, 102.

Vásquez Ortiz, 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., Lao León, Y. y Nieves Julbe, A. F. (2017). Propuesta de un índice para evaluar la gestión del control interno en entidades hospitalarias Contaduría y Administración, 62(2) ISSN: 0186-1042. Recuperado de www.cya.unam.mx/index.php/cya/article/view/940

Vega de la Cruz, L. O., Lao León, Y. Pérez Pravia, M. (2016). Redes de Petri en la determinación de puntos críticos para el control interno. *Universidad y sociedad*. 8(4), ISSN: 2238-3620 <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/533>

Vega de la Cruz, L. O., Pérez Campaña M., Pérez Vallejo, L. y Tapia Claro, I. (2017). Gestión de las líneas de esperas a través de teoría de colas en entidades farmacéuticas. *Revista Cubana de Farmacia*, 52(2), Cuba. ISSN: 1561-2988. <http://www.revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/167>

Vega de la Cruz, L. O., Pérez Pravia, M. y Tapia Claro, I. (2017). Inferencia estadística de las variables del control interno en una entidad hospitalaria a través de la percepción de sus actores. *Revista Cuadernos de Contabilidad*, 18(46), Colombia. ISSN: 0123-1472. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuacont/article/view/23680>

Vega de la Cruz, L. O. y Nieves Julbe, A. F. (2015). Validación prospectiva de modelos académicos. *Enl@ce*, 12(3), 71-98, ISSN: 1690-7515. Recuperado de <http://produccioncientificaluz.org/index.php/enlace/article/view/20628>

Villapol, M. E. (2012). Analysis of the Properties of the Bluetooth Baseband Connection Establishment Using Colored Petri Nets *Computación y Sistemas*, 16(4), ISSN: 1405-5546, 433-446.

Síntesis curricular de los Autores

M. Sc. Leudis Orlando Vega-de la Cruz¹, Master en Matemática Aplicada e Informática para la Administración en la temática del artículo. Graduado de Ingeniería Industrial (2014). Profesor Instructor. Sus intereses investigativos incluyen la logística empresarial y la investigación de operaciones. Email: leovega@uho.edu.cu <http://orcid.org/0000-0001-7758-2561>

Dr. C. Yosvani Orlando Lao-León¹, Ingeniero Industrial (2010) y Máster en Ingeniería Industrial (2013). Doctor en Ciencias Técnicas (2017) y es Profesor Auxiliar. Metodólogo del Departamento de Comercialización de Servicios Académicos. Sus intereses investigativos versan sobre la aplicación de la Teoría de las Restricciones en la logística y el proceso inversionista. Email: ylaol@uho.edu.cu <http://orcid.org/0000-0001-7491-3548>

Dr. C. Fernando Marrero-Delgado², graduado de Ingeniería Industrial (1991) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas y Máster en Informática Aplicada a la Ingeniería y la Arquitectura (1997) del Centro Regional para el Entrenamiento de Profesores de Ingeniería y Arquitectura (CREPIAI, PII-UNESCO). Obtuvo el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas (2001) en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Actualmente es Profesor Titular y Decano de la Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Sus investigaciones se centran en la logística empresarial y la investigación de operaciones. Email: fmarrero@uclv.edu.cu <http://orcid.org/0000-0002-5470-2572>

Dr. C. Milagros Caridad Pérez-Pravia¹, graduada de Ingeniería Industrial (1987) y Máster en Matemática Aplicada e Informática para la Administración (1997) en la Universidad de Holguín. Obtuvo el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas (2010) y es Profesora Titular en la misma institución. Actualmente se desempeña como Decana de la Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Sus intereses investigativos versan sobre la Logística Empresarial y aplicaciones de la Teoría de las Restricciones. Email: mpp@uho.edu.cu <https://orcid.org/0000-0002-3062-5939>

Institución de los autores

¹ Universidad de Holguín

² Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Fecha de Recepción: 13 de enero 2020

Fecha de Aprobación: 26 de marzo 2020

Fecha de Publicación: 29 de abril 2020