

## **Integración de técnicas de Minería de procesos para la detección de la variabilidad en procesos hospitalarios desde sistemas automatizados**

Integrating mining processes techniques in hospital procedures for the detection of variability from their information systems

Arturo Orellana<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de las Ciencias Informáticas, Centro de Informática Médica, La Habana, Cuba

\* Autor para la correspondencia: aorellana@uci.cu

### **RESUMEN**

Los sistemas de información hospitalaria cuentan con un volumen importante de datos, sin embargo, carecen de mecanismos que permitan analizar la ejecución de los procesos e identificar variabilidad. La variabilidad puede observarse en prácticamente cada paso del proceso asistencial y a varios niveles de agrupación: poblacional e individual. Desde el punto de vista poblacional se comparan tasas de realización de un procedimiento clínico, como pueden ser intervenciones quirúrgicas o ingresos hospitalarios en un período de tiempo. Las técnicas de minería de procesos analizan los datos reales de sistemas informáticos y son útiles para la detección de variabilidad en la ejecución de los procesos de negocio. La presente investigación propone la aplicación de técnicas de minería de procesos, seleccionadas a partir de un riguroso estudio del estado del arte, para el análisis de los procesos hospitalarios desde sus sistemas de información y materializadas en un modelo computacional. El Modelo para la Detección de Variabilidad (MDV) se instrumentó exitosamente en el sistema XAVIA HIS desarrollado por la Universidad de las Ciencias Informáticas UCI, donde fueron adaptadas e integradas las técnicas de minería de procesos. El modelo MDV contribuye al proceso de informatización de la salud en Cuba. La solución propicia la utilización de una tecnología emergente en áreas como la industrial y empresarial en el entorno sanitario. Esta beneficia importantes funciones gerenciales como la gestión, control y planificación de recursos y servicios sanitarios.

**Palabras clave:** Sistema de información hospitalaria; minería de procesos; modelo de proceso; variabilidad.

## ABSTRACT

The hospital information systems collect an important volume of data, however, they lack mechanisms to analyze the execution of the processes and identify variability. In practically every step of the care process and at various levels of grouping: population and individual the variability is present. From a population point of view, performance rates of a clinical procedure such as surgical interventions or hospital admissions, are compared over time. Process mining techniques analyze the real data of computer systems and are useful for the detection of variability in the execution of business processes. Based on a rigorous study of the state of the art, this research proposes the application of process mining techniques for the analysis of hospital processes from their information systems, providing a computational model. Model for Variability Detection (MDV) implemented successfully in the XAVIA HIS system developed by the UCI University of Informatics Sciences, where techniques of process mining were adapted and integrated. The MDV model contributes to the process of computerization of health in Cuba. The solution encourages the use of an emerging technology in areas such as industrial and business in the healthcare environment. This benefits important management functions such as control and planning of resources and health services.

**Key words:** hospital information system; mining process; modeling process; variability

## Introducción

Los procesos sanitarios están sometidos frecuentemente a entornos cambiantes y regidos por profesionales con formación y criterios dispares, que condicionan el transcurrir de cada ejecución con sus decisiones <sup>(1)</sup>. Los análisis de procesos en instituciones sanitarias suelen ser subjetivos, además de costosos en tiempo y recursos <sup>(2,3,4)</sup>. Por lo general estos análisis no tienen en cuenta la variabilidad existente en la ejecución de los procesos.

Dos factores que contribuyen a la existencia de errores en la industria de la salud son el alto grado de variabilidad del proceso de unidad a unidad (se refiere a pacientes y recursos) y las dificultades para la identificación de la misma <sup>(5)</sup>. Según Hernández A. y colaboradores <sup>(6)</sup> la variabilidad en los procesos hospitalarios está presente cada vez que se repite un proceso y hay ligeras variaciones en las distintas actividades realizadas que, a su vez, generan variaciones en los resultados de cada ejecución.

La variabilidad impacta negativamente sobre importantes funciones gerenciales como la planificación, la gestión y el control de los recursos <sup>(1)</sup>. Además, propicia la ocurrencia de errores médicos en el diagnóstico y tratamiento de pacientes, insuficiencias en la calidad de los servicios, malas prácticas clínicas y la aparición de eventualidades o anomalías en el proceso de atención <sup>(7)</sup>.

La variabilidad en los procesos de negocio se clasifica, según la literatura consultada en causa común (identificable) o causa especial (aleatoria). La variabilidad de causa común o identificable existe cuando no presenta un comportamiento estadístico y no son previsible las salidas. Mientras que la variabilidad de causa especial o aleatoria se manifiesta al existir un comportamiento estadístico y predecible; sobre esta se puede ejercer un control estadístico <sup>(8,9)</sup>.

Se realizaron 11 entrevistas a especialistas de la gestión hospitalaria (Asesores de Registros Médicos, Estadísticos y Médicos Administrativos) en instituciones cubanas. Estas instituciones fueron: Hospital Hermanos Ameijeiras (4), Hospital Militar Central Doctor Carlos Juan Finlay (1), Hospital Naval Luis Díaz Soto (1), Clínica Central Cira García (2), Hospital Pediátrico Doctor Juan Manuel Márquez (1) y el Centro Nacional de Cirugía de Mínimo Acceso (2). Al respecto, los entrevistados plantean que la variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios ha incidido negativamente sobre el gasto del sector en Cuba, además:

Afirman que para Cuba sería importante detectar y reducir la variabilidad en sus procesos en función de aumentar la calidad de los servicios médicos y beneficiar la economía del país.

Consideran necesario analizar alternativas para el ahorro de recursos y la optimización de los servicios que se brindan.

Afirman que en los procesos hospitalarios de Cuba se manifiesta la variabilidad Identificable y Aleatoria, sin embargo, consideran que se debe prestar mayor atención a la variabilidad aleatoria en función del flujo de actividades y los tiempos de ejecución. Así mismo refieren la necesidad de un acercamiento tecnológico en este sentido.

Una tecnología de impacto creciente en esferas como la industrial y empresarial lo constituye la minería de procesos <sup>(10,11)</sup>. Posibilita entender cómo son ejecutados en realidad los procesos en sistemas automatizados. Su aplicación ayuda a identificar cuellos de botella, anticipar problemas, registrar violaciones de políticas, recomendar contramedidas, y simplificar procesos para la mejora del funcionamiento del negocio.

Aunque la aplicación de la minería de procesos es reciente, las empresas, centros e instituciones a nivel mundial la están incorporando a sus aplicaciones con el objetivo de descubrir, monitorear y mejorar sus procesos de negocio <sup>(11)</sup>. De igual forma, se observa el desarrollo de soluciones informáticas para la mayoría de los sectores sociales, no así en la rama hospitalaria, la cual sin embargo tiene una influencia alta en la calidad de vida de los ciudadanos <sup>(12)</sup>.

El profesor Will van der Aalst precursor de la minería de procesos, en la entrevista: "Could BPM (Business Process Management) and Process Mining Save US Healthcare 600 Billion Dollars? " plantea que: "Tenemos un interés particular en la salud porque los procesos son mucho más caóticos que en otras industrias, y los ahorros potenciales son enormes (...) Esto ilustra que la asistencia sanitaria es un dominio de aplicación muy difícil, y por lo tanto interesante para BPM y la minería de procesos" <sup>(13)</sup>. En esta entrevista se afirma que es posible ahorrar 600 billones de dólares a la economía estadounidense si se aplica BPM y la minería de procesos en su sector sanitario.

A partir de las entrevistas y el análisis documental realizado se identificaron un conjunto de insuficiencias o limitaciones relacionadas a la detección de variabilidad en los procesos hospitalarios, entre las que se destacan:

Poca rapidez, flexibilidad y objetividad en la toma de decisiones sobre la ejecución de los procesos hospitalarios, pues las decisiones en su mayoría se basan en elementos subjetivos.

Insuficiente efectividad en las técnicas y métodos para analizar los procesos del sector de la salud y detectar variabilidad en su ejecución.

Escaso aprovechamiento de los datos almacenados en sistemas de información de salud, limitando el acceso a una importante fuente de conocimientos.

Insuficientes herramientas informáticas en el sector hospitalario que permitan detectar efectivamente la variabilidad y el análisis de sus procesos.

Teniendo en cuenta los elementos analizados, la presente investigación se propone desarrollar un modelo computacional para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios utilizando técnicas de minería de procesos.

## Método

Se realizó una revisión de las investigaciones de minería de procesos dirigidas al entorno hospitalario. Para ello la búsqueda se centró en tres bases de datos generales: "Web of Science", "PubMed" y "Google Scholar", utilizando las frases "minería de procesos", "process mining", "salud" y "healthcare". En la "Web of Science" fueron identificadas 32 investigaciones de interés, en el caso de "PubMed" 17 y en "Google Scholar" más de 60. Fueron identificados además, un conjunto de 59 casos de estudio, en el repositorio de análisis de procesos hospitalarios, en la Universidad de Eindhoven en Holanda.

Los análisis de procesos en instituciones sanitarias, han sido orientados a la frecuencia de ejecución, detección de fraudes, análisis de tiempo, detección de desviaciones, identificación de cuellos de botella, desviación típica, varianza, entre otros <sup>(2)</sup>. Desde la minería de procesos estos análisis se evidencian en <sup>(14)</sup>.

Para la presente investigación, los elementos descritos anteriormente se proponen como criterios para la selección de técnicas de minería de procesos para detectar variabilidad en procesos hospitalarios. La decisión es apoyada a partir de los análisis que se realizan en la práctica clínica y las opiniones de expertos del dominio entrevistados. En las investigaciones realizadas se evidencia como estos criterios son abordados desde la minería de procesos para obtener conocimientos de la ejecución de los procesos hospitalarios.

Las técnicas más utilizadas para el análisis de procesos hospitalarios son Heuristics Miner, identificada en 19 investigaciones para análisis de control de flujo y obtener una vista global del proceso <sup>(15)</sup>; y la técnica Fuzzy Miner, utilizada en al menos 15 investigaciones para el agrupamiento (clustering) de actividades, tratamiento del ruido y de excepciones y los análisis de frecuencia de ejecución <sup>(16)</sup>. Son utilizadas además las técnicas Trace Clustering

<sup>(17)</sup>, Performance <sup>(18)</sup> Alpha Miner <sup>(19)</sup>, Dotted Charts <sup>(20)</sup>, Genetic Miner <sup>(21)</sup>, Inductive Miner y otros <sup>(22)</sup>.

**Tabla 1-** Técnicas de minería de procesos evaluadas con los criterios más frecuentes para el análisis de procesos hospitalarios.

Criterios	Técnicas de minería de procesos				
	Heuristics Miner	Fuzzy Miner	Inductive visual M.	Variants Miner	Replay P/C
Análisis de frecuencia	X	X	X	X	
Análisis de subprocesos	X	X	X	X	
Detección de desviaciones	X	X	X		
Detección de fraudes		X	X		
Análisis de tiempo		X	X	X	X
Cuellos de botella			X		X
Vista global del proceso	X		X	X	X
Comprensión	X	X	X	X	X
Valores por defecto	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia

Según sus características Heuristics Miner es útil para obtener una vista global del proceso. Por su parte Fuzzy Miner permite obtener una vista de la frecuencia de ejecución de las actividades de procesos, así como la detección de desviaciones. Inductive visual Miner es una de las técnicas más recientes, sin embargo, es utilizada frecuentemente en análisis de tiempo y es considerada por los expertos como una de las más intuitivas. Variants Miner, por su parte permite realizar análisis de las variantes alternativas del proceso, además es posible incorporarle análisis basados en tiempo, lo cual enriquece el modelo que se obtenga. Replay P/C es útil para identificar cuellos de botella y realizar análisis de rendimiento. Todas las técnicas son multicriterios lo que propicia realizar análisis desde diferentes perspectivas.

# Resultados

## Modelo para la Detección de Variabilidad (MDV)

Los componentes del modelo elaborado son:

- Generación de registros de eventos
- Técnicas de minería de procesos para la detección de variabilidad

El esquema de la Figura 1 representa una gráfica elaborada por el autor con la interacción de estos componentes y la interrelación que se produce entre ellos.

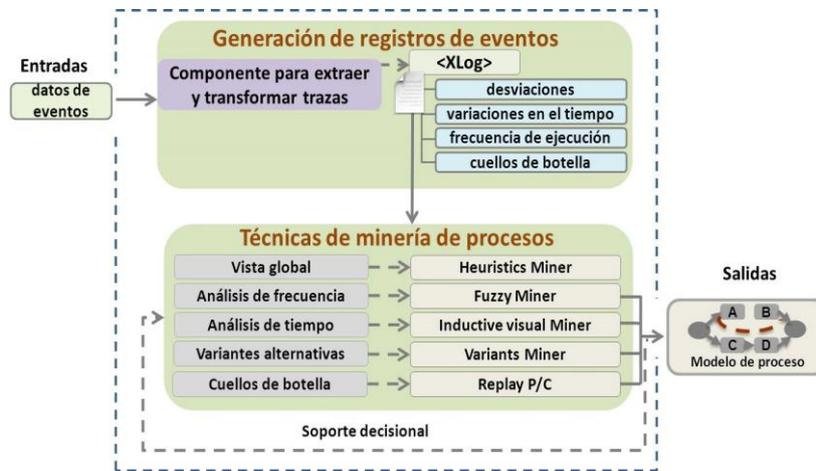


Fig. 1. Modelo computacional basado en técnicas de minería de procesos para detectar variabilidad.

Las entradas del modelo son los datos de eventos referentes a los pacientes, los profesionales de la salud, administrativos o directivos y los recursos.

Las salidas son los modelos de proceso obtenidos a partir de las distintas configuraciones y los análisis basados en los registros de eventos. El objetivo del modelo es integrar un conjunto de técnicas, componentes y conceptos asociados a la minería de procesos y la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios en sistemas de información de salud.

El flujo conceptual del modelo comienza con la utilización de las trazas de ejecución de las actividades hospitalarias, contenidas en sus sistemas de información, tanto especializados como integrales.

La disponibilidad de las trazas de ejecución permite su extracción y transformación en registros de eventos de formato estándar XES. Los registros de eventos almacenan información de variabilidad como desviaciones, variaciones en el tiempo, frecuencia de ejecución o cuellos de botella. El componente de Generación de registros de eventos

extrae las trazas de sistemas de información de salud, genera registros de eventos y propicia el análisis por las técnicas de minería de procesos. Las técnicas de minería de procesos reciben los registros de eventos y generan como salida modelos de la ejecución de los procesos.

El modelo parte de las necesidades de las instituciones sanitarias y se retroalimenta de los casos analizados, los resultados de su instrumentación y cuando se identifican nuevos factores que influyen en este proceso a partir de:

- La incorporación de nuevas técnicas de minería de procesos a partir del desarrollo tecnológico y las necesidades de análisis, esto es posible dada la flexibilidad del modelo.
- Los reajustes de las configuraciones técnicas propuestas a partir de los análisis realizados y sus resultados.
- La propia evaluación del impacto de los resultados sobre la institución sanitaria.

El modelo cuenta, además, con un conjunto de estadísticas hospitalarias (Estadía hospitalaria, Tiempo de espera, Tiempo de servicio y Tiempo restante), obtenidas a partir de un grupo focal y entrevistas a especialistas de la gestión hospitalaria. La aplicación del grupo focal permitió conocer los criterios e introducir mejoras en la propuesta, a partir del intercambio con personas que pueden aportar criterios y valoraciones importantes.

### **Instrumentación del modelo en el Sistema XAVIA HIS**

La propuesta consiste en la implementación del modelo MDV sobre el sistema antes descrito. Para la instrumentación se desarrolló un módulo de extracción y transformación de trazas en registro de eventos y la integración de las técnicas de minería de procesos definidas en el modelo MDV al XAVIA HIS. En este sentido fue necesario adaptar las técnicas a las tecnologías de desarrollo definidas para el sistema XAVIA HIS. El lenguaje de programación es Java, el Entorno Integrado de Desarrollo Eclipse 3.4.2, el marco de trabajo JBoss Seam 2.1.1 y para el mapeo de los datos Hibernate 3.3. Las técnicas de minería de procesos utilizan los datos almacenados en la base de datos del sistema para generar los modelos de proceso.

El componente, además, permite configurar los parámetros para generar el registro de eventos, tales como nombre de proceso y rango de fecha (fecha inicial y final). Seguidamente se selecciona el tipo de análisis donde se encuentran las opciones: Vista global del proceso, Análisis de frecuencia, Análisis de tiempo <sup>(22)</sup>, Variantes alternativas del proceso e Identificación de cuellos de botella, las cuales son instanciaciones de las técnicas de minería de procesos propuestas en el modelo MDV. Por último, se genera y muestra un modelo de proceso.

Para la instanciación de las técnicas en el sistema se tuvo en cuenta las características de los usuarios del entorno sanitario, ganar en comprensión y usabilidad. Para ello se

desarrollaron un conjunto de tablas estadísticas, gráficos, leyendas y elementos necesarios para favorecer los análisis que se realizan.

La capacidad del modelo para detectar variabilidad en procesos hospitalarios queda demostrada en estudios de caso publicados <sup>(22)</sup>.

El instrumento de validación de la investigación basado en la instanciación del modelo en el sistema XAVIA HIS construido ex profeso contó con 36 reactivos, 13 tipo ladov, 10 tipo Likert, 5 para coeficiente de competencias y 8 para el Grupo Focal. La confiabilidad del instrumento fue validada al aplicar la técnica Alpha de Cronbach y el procedimiento dos mitades con la Correlación de Pearson y la Corrección de Spearman-Brown obteniendo 0,79 como resultado.

## **Conclusiones**

La selección de las técnicas de minería de procesos está acorde a las necesidades de análisis en el entorno sanitario; se verificó que son las de preferencia internacional por su facilidad de uso y la confiabilidad de los resultados. Con los elementos teóricos y prácticos más actuales de las ciencias informáticas se desarrolló un modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios, utilizando las técnicas de minería de procesos seleccionadas. La instrumentación del modelo en el sistema cubano XAVIA HIS demostró su aplicabilidad y viabilidad, además contribuye al proceso de informatización de la salud en Cuba.

## Referencias

1. Fernández-Maya J. Variabilidad de la práctica clínica en la manipulación del reservorio subcutáneo en los hospitales de día de España [tesis doctoral]. España: Universidad de Alicante. 2015.
2. Hernández A, Medina A, Nogueira D, Marqués, M. El uso del case mix como un método de reducción de programas de producción hospitalaria y herramienta de apoyo a la gestión y mejora de procesos. CE [Internet]. 2010 [citado 30 Nov 2015]:[aprox. 22 p.]. Disponible en: <http://www.eumed.net/ce/2010a/nlrl.htm>.
3. Hernández A, Medina A, Nogueira D. Criterios para la elaboración de mapas de procesos. Particularidades para los servicios hospitalarios. Ingeniería Industrial. 2010;30(2).
4. Mans R, van der Aalst WMP, Vanwersch RJ. Process Mining in Healthcare: Evaluating and Exploiting Operational Healthcare Processes. Springer; 2015.
5. Loxton M. Using MAXQDA in Healthcare Research: Process Discovery. MAXQDA. The Art of Data Analysis [Internet]. 2015 Nov. [Citado 30 Nov 2015]. Disponible en: <http://www.maxqda.com/process-discovery-maxqda>.
6. Hernández A. et al. Inserción de la gestión por procesos en instituciones hospitalarias. Concepción metodológica y práctica. Revista de Administração-RAUSP. 2013;48(4):739-756.
7. Busby J, Purdy S, Hollingworth W. A systematic review of the magnitude and cause of geographic variation in unplanned hospital admission rates and length of stay for ambulatory care sensitive conditions. BMC health services research 2015;15(1):1.
8. Escudero V, Ramón A, Duart MJ, Perez, JJ, Valenzuela B. Farmacocinética poblacional de doxorubicina aplicada a la personalización de su dosificación en pacientes oncológicos. Farmacia Hospitalaria. 2012;36(4):282-291.
9. La Rosa M, van der Aalst WM, Dumas M, Milani FP. Business process variability modeling: A survey. 2013.
10. van der Aalst WMP. Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes, Springer Science & Business Media. 2011.
11. van der Aalst WMP. Process mining: overview and opportunities. ACM Transactions on Management Information Systems. 2012;3(2):7.
12. Rojas E, Munoz Gama J, Sepúlveda M, Capurro, D. Process mining in healthcare: A literature review. Journal of biomedical informatics. 2016;61:224-236.
13. van der Aalst WMP. Could BPM and Process Mining Save US Healthcare 600 Billion Dollars? The Healthcare Business Process Management Blog. United States

[cited 2013 Jan 23]. Available from: [hcbpm.com/healthcare-bpm.../could-bpm-and-process-mining-sa...](http://hcbpm.com/healthcare-bpm.../could-bpm-and-process-mining-sa...)

14. Suriadi S, Mans RS, Wynn MT, Partington A, Karnon J. Measuring patient flow variations: A cross-organisational process mining approach. In: Asia Pacific Business Process Management; 2014. p. 43–58.

15. Fei H, Meskens N, et al . Discovering patients care process models from event logs [Internet]. Vol. 10 The 8th International Conference of Modeling and Simulation. Paris: MOSIM; 2008 [citado 30 Nov 2015]. 10-12 p. Disponible en: [homepages.laas.fr/sungueve/Docs/ICP/MOSIMVol\\_3\\_2008\\_05\\_21.pdf](http://homepages.laas.fr/sungueve/Docs/ICP/MOSIMVol_3_2008_05_21.pdf).

16. Kirchner, K., Herzberg, N., Rogge-Solti, A. & M. Weske. (2012). Embedding conformance checking in a process intelligence system in hospital environments. Process Support and Knowledge Representation in Health Care - BPM 2012 Joint Workshop, ProHealth 2012/KR4HC 2012, Vol. 7738 of Lecture Notes in Computer Science, p. 126-139.

17. Delias P, Doumpos M, Grigoroudis E, Manolitzas P, Matsatsinis N. Supporting healthcare management decisions via robust clustering of event logs, Knowledge-Based Systems.2015;84:203-13.

18. Partington A, Wynn M, Suriadi S, Ouyang C, Karnon J. Process mining for clinical processes: A comparative analysis of four australian hospitals. ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS).2015;5(4):1-19.

19. Riemers P. Process improvement in healthcare: a data-based method using a combination of process mining and visual analytics [Ph.D' thesis, Master's thesis]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology;2009.

20. Staal J. Using process and data improving techniques to define and improve standardization in a healthcare workflow environment [Ph.D' thesis,]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology;2010.

21. Lang, M., Burkle, T., Laumann, S. & H. Prokosch. Process mining for clinical workflows: Challenges and current limitations. eHealth Beyond the Horizon - Get IT There, Proceedings of MIE2008, The XX1st International Congress of the European Federation for Medical Informatics, Göteborg. Vol. 136 Studies in Health Technology and Informatics, Sweden: IOS Press; 2008 [cited 2015 Nov 30]. 229-234 p. Disponible en: [https://www.iospress.nl/flyers\\_b/fl9781586038649.pdf](https://www.iospress.nl/flyers_b/fl9781586038649.pdf).

22. Orellana A, Larrea OU, Pérez YE, and Pérez D. Inductive Visual Miner Plugin Customization for the Detection of Eventualities in the Processes of a Hospital Information System. Latin America Transactions. IEEE. 2016;14(4):1930-36.