

# DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE MINERÍA DE PROCESOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE TIPO EMPRESARIAL Y CIENTÍFICO-ACADÉMICO

ALEJANDRA MORALES RAMÍREZ

amoralesr@uaemex.mx

<http://orcid.org/0000-0002-8737-5985>

Universidad Autónoma del Estado de México, México

RODOLFO GARCÍA LOZANO

rzgarcial@uaemex.mx

<http://orcid.org/0000-0003-1087-6156>

Universidad Autónoma del Estado de México, México

JUAN DE JESÚS AMADOR REYES

jjamadorr@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1925-2710>

Universidad Autónoma del Estado de México, México

CUAUHTÉMOC HIDALGO CORTÉS

chidalgoc@uaemex.mx

<http://orcid.org/0000-0001-6324-7180>

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Recibido: 31 de octubre de 2023 / Aceptado: 26 enero de 2024

doi: <https://doi.org/10.26439/interfases2024.n19.6732>

**RESUMEN.** La minería de procesos es una especialidad que permite a las organizaciones descubrir, analizar y mejorar sus procesos reales de negocio mediante la extracción de conocimiento de los registros de eventos que se encuentran en los sistemas de información actuales. La presente investigación tuvo como objetivo proponer una metodología de minería de procesos para el desarrollo de proyectos de tipo empresarial y científico-académico que consta de nueve fases: planeación y alcance, preprocesamiento de datos, procesamiento de datos, análisis de control de flujo, análisis de rendimiento, análisis de roles, presentación de resultados, publicación de resultados, y transferencia y seguimiento. La metodología propuesta es el resultado de la experiencia adquirida a través de la revisión de la literatura, del análisis de las metodologías publicadas y de los conocimientos y experiencias de los investigadores. Es conveniente resaltar que, en investigaciones futuras, se aplicará la metodología propuesta de minería de procesos a diversos casos de estudio, tanto del área empresarial como del ámbito científico-académico. Por ello, el objetivo de este trabajo de investigación está enfocado en analizar

la eficiencia de la metodología, la facilidad y pertinencia de su aplicación, así como la congruencia entre las fases que la integran.

PALABRAS CLAVE: minería de procesos / metodología de desarrollo / registro de eventos / conocimiento / proyectos empresariales / proyectos científico-académicos

## DESIGN OF A PROCESS MINING METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF BUSINESS AND SCIENTIFIC-ACADEMIC PROJECTS

ABSTRACT. Process mining enables organizations to discover, analyze, and enhance their business processes by extracting knowledge from event logs available in current information systems. This research proposes a process mining methodology for developing business and scientific-academic projects, consisting of nine phases: planning and scope, data preprocessing, data processing, flow control analysis, performance analysis, role analysis, results presentation, results publication, and transfer and monitoring. This methodology results from the researcher's literature review, analysis of published methodologies, and their knowledge and experiences. Future research will apply this process mining methodology to various case studies in business and scientific-academic domains. This research aims to analyze the methodology's efficiency, its application's ease and relevance, and the congruence between its phases.

KEYWORDS: process mining / development methodology / event log / knowledge / business projects / scientific-academic projects

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día muchas organizaciones destinan recursos para gestionar y mejorar sus procesos de negocio mediante el uso de diversos sistemas de información (SI). Estos sistemas permiten registrar datos importantes relacionados con sus recursos ejecutores, eventos, tiempos de inicio y finalización de cada actividad, y otras variables asociadas a la ejecución de los procesos (Silva Osses et al., 2016; Aguirre & Rincón, 2015).

Los avances tecnológicos de los últimos años han permitido que la capacidad de procesamiento de la información crezca de manera espectacular. Esto hace que los SI puedan almacenar información histórica sobre la ejecución real de los procesos de negocio y, de este modo, contar con grandes volúmenes de datos que las organizaciones pueden usar para saber qué sucede dentro de los procesos de negocio, para diagnosticar problemas y para sugerir el tratamiento adecuado.

No obstante, cuando se incrementa la cantidad de datos almacenados, la capacidad para entenderlos se reduce (Merchán et al., 2021). Analizar los datos de manera tradicional requiere de mucho tiempo, involucra a muchas personas y es costoso. Por ello, se hace fundamental el uso de herramientas de análisis de datos que permitan obtener conocimiento útil de manera automatizada a partir de grandes volúmenes de datos, como la inteligencia artificial, la minería de datos y la minería de procesos - MP (Checoli et al., 2020).

La MP es una disciplina de investigación relativamente nueva y novedosa, que se localiza, por un lado, entre la inteligencia computacional y la minería de datos y, por otro, entre la modelación y el análisis de procesos de negocio (González Gonzáles et al., 2019; Van der Aalst, 2016; Van der Aalst, 2011). Es una disciplina que está evolucionando (Merchán et al., 2021) y que permite que las organizaciones obtengan información sobre los procesos de negocio y entiendan qué está pasando *de facto*, a partir de la extracción del conocimiento de los registros de eventos que se encuentran disponibles en los SI actuales (Van der Aalst, 2016; Aguirre & Rincón, 2015).

Hay tres técnicas de MP que se pueden realizar utilizando el registro de eventos: descubrimiento, conformidad y mejora. El descubrimiento de procesos tiene la finalidad de generar un modelo de proceso sin utilizar previamente información sobre cómo es o cómo debería de ser el flujo real del proceso. Por otra parte, el análisis de conformidad compara el modelo del proceso existente con el registro de eventos del mismo proceso, con el objetivo de verificar si la realidad es igual al modelo y viceversa. Esto puede ser utilizado para valorar si lo observado se ajusta al flujo ideal de trabajo. Finalmente, el mejoramiento busca corregir o rediseñar un modelo de proceso existente utilizando la información del proceso real guardada dentro del registro de eventos (Van der Aalst et al., 2012).

En los últimos años, la MP ha adquirido un interés creciente, tanto en la práctica a nivel mundial dentro del ámbito industrial y empresarial (Badakhshan et al., 2022;

Van der Aalst, 2012), como en la comunidad científica en la cual se observa un incremento en las investigaciones relacionadas (Fuentes et al., 2019). Este interés se debe a que, a través de su uso, se obtiene conocimiento basado en el registro de eventos y no en opiniones subjetivas o experiencias obsoletas. Esto ayuda a las organizaciones a proponer acciones de mejora o rediseño para que, al ser implementadas, se alcancen procesos de negocio más eficientes (Dos Santos et al., 2019; Van der Aalst, 2013; Van der Aalst, 2012).

Para llevar a cabo proyectos de MP prácticos y científicos en distintos contextos, se han utilizado diversos enfoques metodológicos que han surgido desde la aparición de esta disciplina. Algunos de estos enfoques inician directamente con la preparación de datos hasta llegar a la presentación de resultados: por ejemplo, el método de diagnóstico de procesos o PDM (Bozkaya et al., 2009) y el marco metodológico de minería de procesos o PMMF, por sus siglas en inglés (De Weerd et al., 2013). Otros enfoques metodológicos abarcan desde la planeación hasta la implementación de mejoras y soporte del proceso: el ciclo de vida L\* (Van der Aalst et al., 2012), la metodología de proyectos de minería de procesos o PMPM (Van der Heijden, 2012), la metodología de proyectos de minería de procesos (PM<sup>2</sup>) (Van Eck et al., 2015), la extensión de la metodología PM<sup>2</sup> (Silva Osses et al., 2016) y la guía de análisis para la MP enfocada en el usuario (Céspedes et al., 2018).

Sin embargo, debido a que esta disciplina es reciente, el desarrollo de varias de estas metodologías ha dependido de la información disponible, de la experiencia de los autores, del proyecto a realizar y del objetivo que se persigue. Por estas razones, es posible observar que en los diferentes enfoques se presentan etapas con objetivos y actividades muy similares, pero organizadas de diferente manera. Otra excepción se presenta en los estudios de caso. Como consecuencia de su enfoque académico, este tipo de proyectos regularmente no contempla la fase de implementación de mejoras y seguimiento, como se observa en diversas investigaciones (Butt et al., 2023; Martínez-Escobar et al., 2021; Sangil, 2020; Emamjome et al., 2019; Terragni & Hassani, 2018; Silva Osses, 2017; Park & Sik, 2016).

La presente investigación tiene como objetivo proponer una metodología para el desarrollo de proyectos de MP que contemple las siguientes características:

- Considere todas las etapas que se podrían presentar en el desarrollo de un proyecto de MP: entendimiento del proceso, tratamiento de datos, aplicación de las técnicas y herramientas de la MP, comunicación de resultados e implementación de recomendaciones o acciones de mejora.
- Sirva de base para el desarrollo de proyectos, tanto de tipo empresarial como científico-académico.
- Dentro de sus objetivos contemple la opción de hacer divulgación científica a través de la publicación de artículos.

La visión es proponer una metodología de desarrollo de proyectos de MP que pueda aplicarse, con sus propias características, en diferentes ámbitos.

## 2. METODOLOGÍA

La investigación se abordó a través de las siguientes dos fases:

1. **Revisión de la literatura.** La finalidad de esta fase fue recopilar información relevante sobre el desarrollo de las metodologías de MP publicadas entre los años 2009 y 2020. La búsqueda se realizó en tres bases de datos: *Springer Link*, *EBSCOhost* y *ScienceDirect*. El criterio de búsqueda se basó en la combinación del concepto “minería de procesos” con las palabras “proyecto”, “metodología”, “marco” y “guía” que pudieran aparecer en el título, el resumen o las palabras clave de los artículos y ponencias de congreso que se consultaron.

La identificación basada en el criterio de búsqueda antes descrito dio como resultado 19 estudios elegibles.

Sin embargo, doce de ellos se excluyeron, principalmente porque las metodologías propuestas se encontraban dirigidas a proyectos de negocio o áreas específicas de conocimiento (por ejemplo, las metodologías creadas para realizar proyectos de MP en el área de la salud). Se consideró que las metodologías propuestas en las investigaciones descartadas no podrían ser utilizadas en su totalidad para desarrollar otros proyectos de MP en escenarios con diferentes características o que estén relacionados con otras áreas del conocimiento (por ejemplo, el área científico-académica).

Esto resultó en siete artículos seleccionados que fueron revisados y analizados por los autores para ser incluidos y descritos en la investigación que se presenta a continuación.

2. **Análisis comparativo de las metodologías encontradas.** En esta fase, en primer lugar, se definió una metodología general para agrupar las actividades descritas en cada una de las metodologías analizadas en el paso anterior. Posteriormente, se identificaron y describieron las áreas de oportunidad como punto de partida para realizar la propuesta de desarrollo.

### 2.1 Revisión de la literatura

Desde que surgió la MP, diversos autores han desarrollado enfoques metodológicos con el objetivo de aplicar esta disciplina en diferentes escenarios. Estos desarrollos

se encuentran compuestos por diversas fases con objetivos particulares, que van desde la planificación hasta la propuesta de mejoras y el soporte del proceso. Los trabajos más relevantes que cumplieron con los criterios de selección de esta investigación son los que se muestran en la Figura 1 y se describen en los siguientes apartados:

### Figura 1

*Enfoques metodológicos de desarrollo de proyectos de MP*

2009	Método de diagnóstico de procesos (PDM)	(Bozkaya et al., 2009)
2011	Ciclo de vida L*	(Van der Aalst et al., 2012)
2012	Metodología de proyectos de minería de procesos (PMPM)	(Van der Heijden, 2012)
2013	El marco metodológico de minería de procesos (PMMF)	(De Weerd et al., 2013)
2015	La metodología de proyectos de minería de procesos (PM <sup>2</sup> )	(Van Eck et al., 2015)
2016	La extensión de la metodología PM <sup>2</sup>	(Silva et al., 2016)
2018	Guía de análisis para la minería de procesos enfocada en el usuario	(Céspedes et al., 2018)

### PDM

El PDM comprende seis etapas de trabajo y ha sido utilizado para dar una visión general del proceso de emisión de documentos —implementado en Oracle 9i— de una organización gubernamental holandesa (Bozkaya et al., 2009) y para descubrir la información relevante respecto de la ejecución y desempeño real del proceso de atención de servicios básicos al cliente de una empresa dedicada al suministro del servicio eléctrico (Morales et al., 2022).

Las fases de este método son las siguientes:

- *Preparación del registro.* En esta etapa se extraen los datos de los SI y se adecuan al formato necesario para que puedan ser utilizados por la MP. Todos estos datos se organizan en casos (ID únicos), actividades, marcas de tiempo, recursos y otros campos que puedan aportar información importante del proceso.
- *Inspección de registros.* En esta etapa se realiza la estadística necesaria para entender la estructura del registro de eventos. En este análisis, se reconocen los posibles procesos, las actividades principales, se obtiene el número de casos, el total de eventos, el mínimo, máximo y promedio de eventos por casos, y se identifican los eventos iniciales y finales. Como resultado de la estadística,

en algunas ocasiones es necesario eliminar casos incompletos, con la finalidad de no generar ruido en la siguiente etapa de análisis.

- *Análisis de control de flujo.* Esta etapa tiene como objetivo analizar el registro de eventos para conocer el proceso real de la empresa y verificar la conformidad; es decir, identificar si cada uno de los casos puede ser reproducido en el proceso descubierto. Es importante considerar que, para obtener modelos de proceso estructurados, en muchas ocasiones es necesario eliminar los eventos poco frecuentes, a través de la utilización de filtros, lo que evitará generar modelos tipo espagueti (no estructurados).
- *Análisis de rendimiento.* En esta fase se estudian los modelos obtenidos en el análisis de control de flujo, con el objetivo de conocer, por ejemplo, el desempeño del proceso e identificar los cuellos de botella, el tiempo de rendimiento de las actividades y del proceso en general. Lo anterior permite obtener información para reconocer las áreas que se pueden mejorar en el proceso de la empresa.
- *Análisis de roles.* Si el registro de eventos contiene información suficiente de quién ejecutó un evento, en esta fase se analizan los roles (persona o recurso) del proceso. Para esta actividad, Bozkaya et al. (2009) proponen realizar una tabla de frecuencias, en la que las columnas representan cada evento del registro y los renglones los roles. Así, en cada celda se coloca el número de veces que ese rol ejecutó cierto evento. Posteriormente, se elabora un perfil para cada rol. Si los roles tienen perfiles afines, forman un grupo. Lo anterior permite que la organización compare los grupos descubiertos con el modelo organizativo utilizado, con la finalidad de detectar si las personas realizan actividades similares y observar cómo se encuentra la comunicación y la división del trabajo dentro de los departamentos.
- *Transferencia de resultados.* El objetivo de esta etapa es crear un documento para notificar a los interesados del proyecto los resultados de los hallazgos de la investigación y, en caso de ser necesario, para reconfigurar los procesos y hacerlos más eficientes.

### Ciclo de vida L\*

Esta metodología, que fue desarrollada para ser aplicada en proyectos cuyos procesos se encuentran estables y bien estructurados, se encuentra conformada por cinco etapas (Van der Aalst et al., 2012):

- *Planificación y justificación.* Antes de comenzar con la aplicación de la metodología, en esta etapa (0) se define una planeación y justificación, con la finalidad de identificar los beneficios que se podrán lograr a partir del proyecto.

- *Extracción.* En esta etapa (1), a partir de los SI y de los expertos en el dominio y la gestión, se extraen los datos de los eventos, modelos y preguntas. De esta fase resultan los objetivos, preguntas, modelos hechos a mano, datos históricos, etcétera.
- *Creación de modelo de control de flujo.* Esta etapa (2) tiene como objetivo construir el modelo de control de flujo y relacionarlo con el registro de eventos a través de las técnicas de descubrimiento de la MP. Con la información obtenida, se podrían contestar las preguntas planteadas, disparar acciones de rediseño o ajustar el proceso analizado.
- *Creación de modelo de proceso integrado.* Esta etapa (3) es utilizada para extender los modelos de proceso a través del análisis de otras perspectivas como tiempo, recursos y datos. Por ejemplo, se utilizan los tiempos marcados en los eventos para calcular los tiempos de espera de cada actividad. El resultado es un modelo de proceso más completo, que permite apoyar la toma de acciones.
- *Soporte operacional.* En esta etapa (4), el conocimiento descubierto de los datos del registro de eventos históricos se une con la información de los casos que se encuentran en ejecución y es utilizado para realizar las siguientes tres actividades de apoyo: intervención, predicción y recomendación.

Es importante resaltar que esta metodología no puede ser aplicada en su totalidad cuando los procesos no se encuentran estructurados, o —de ser el caso—, solo se podrán llevar a cabo las tres primeras etapas.

## **PMPM**

Esta metodología está conformada por seis etapas que permiten conducir proyectos orientados al negocio. Fue probada en el departamento de servicios financieros holandés Rabobank, que engloba 141 bancos locales (Van der Heijden, 2012). Sus etapas son:

- *Alcance.* En esta fase se identifica y comprende el funcionamiento del proceso, incluyendo las actividades, recursos, restricciones, SI, etcétera. Además, se formulan los objetivos y metas que ayudarán a definir las preguntas del proyecto y determinar qué herramientas y técnicas serán utilizadas para crear el registro de eventos y realizar las actividades de la MP.
- *Comprensión de datos.* La finalidad de esta fase es ubicar dónde se encuentran los datos almacenados y descubrir cómo están organizados y relacionados. Además, se verifica la calidad de estos datos; es decir, que sean confiables, íntegros y seguros.
- *Creación del registro de eventos.* En esta fase se crea el registro de eventos a través de (a) la selección de los datos, los cuales pueden ser casos iniciados,



finalizados, actuales, ocurridos en un periodo de tiempo, etcétera; (b) la exportación de los datos seleccionados de los SI a un formato adecuado; y (c) la preparación de los datos a través de la creación de atributos derivados o transformación de los datos a otros valores o la inserción de variables predefinidas, según sea conveniente.

- *Minería de procesos.* En esta fase se lleva a cabo la familiarización con el registro de eventos, para asegurar que tal registro se encuentre lo suficientemente estructurado como para aplicar las técnicas de MP requeridas, para realizar un análisis real de los datos y para generar conocimiento suficiente que responda las preguntas que ayuden a mejorar el proceso.
- *Evaluación.* En esta etapa se evalúan los modelos que se construyeron en la fase anterior, mediante la verificación, validación y acreditación de los resultados obtenidos con los objetivos planteados. Cuando resulte necesario se pueden realizar otros análisis —más específicos— que agreguen valor a los objetivos. Además, podrían surgir nuevas preguntas que requieran la creación de otro registro de eventos.
- *Despliegue.* En esta última fase, la información adquirida se debe transferir a la organización a través de la redacción y presentación de un informe en el que se incluyan recomendaciones sobre acciones de mejora que podrían llevarse a cabo en el proceso.

## **PMMF**

Este marco metodológico es adaptable tanto para los SI estructurados como para los no tan estructurados. Fue probado en una compañía de seguros belga que pertenece a la industria de servicios financieros y que incluye el manejo de seguros de ahorros para el retiro y seguros de vida. El sistema de información de la compañía es un sistema de gestión de documentos. Este marco se encuentra conformado por las siguientes cinco etapas (De Weerd et al., 2013):

- *Preparación de los datos.* El objetivo de esta fase es extraer los datos almacenados en los SI, los cuales tienen que ser relevantes en base al alcance del proceso y al marco de tiempo definido, para poder realizar los análisis correspondientes.
- *Exploración de datos.* En esta fase se realiza la exploración de los datos a través de análisis estadísticos y de los diversos algoritmos de la MP, a fin de obtener diversas visualizaciones iniciales del proceso que se está analizando. De esta manera los expertos comerciales podrán trabajar iterativamente con la fase de preparación de los datos, el alcance del proceso y el marco de tiempo. Lo anterior, con la finalidad de garantizar que los datos de entrada realmente sean los adecuados para el análisis de las siguientes fases.

- *Perspectiva.* Con el conjunto de datos delimitado según el tiempo y el alcance, en esta fase se identifican diferentes perspectivas de análisis a través de la construcción de varios registros de eventos, siempre y cuando el entorno del proceso sea desconocido por el usuario.
- *Análisis.* Esta fase se divide en dos segmentos: el análisis de descubrimiento básico; y el análisis de cumplimiento y rendimiento.  
El primero incluye: (a) la perspectiva del flujo de control que, a su vez, incluye el análisis de las secuencias de actividad dentro del proceso; (b) la perspectiva desde un punto de vista organizacional; es decir, mediante los datos, se investigan los equipos o personas involucrados en el proceso; (c) la perspectiva de caso, que explora otros atributos de las ejecuciones de procesos contenidos en el registro de eventos para descubrir patrones particulares.  
En la fase del análisis de cumplimiento y rendimiento se realizan los análisis de evaluación: por ejemplo, los tiempos de procesamiento de casos y la validación de que la realidad es consistente con el comportamiento del proceso esperado o requerido.
- *Resultados.* En esta fase se exhibe el análisis de los resultados, considerado como un valioso punto de partida para la mejora de los procesos o incluso para realizar una reingeniería en ellos, con la finalidad de optimizarlos. La gerencia puede definir nuevos objetivos y medidas en función de los conocimientos obtenidos a través de la MP para resolver, por ejemplo, las ineficiencias identificadas en el proceso.

## PM<sup>2</sup>

Esta metodología fue aplicada en el proceso de compras de repuestos del servicio de *hardware* de la empresa IBM, multinacional líder en tecnología y consultoría. Se encuentra conformada por seis etapas que pueden emplearse en procesos estructurados y no estructurados (Van Eck et al., 2015), y que se describen a continuación:

- *Planificación.* En esta etapa se elige el proceso de negocio y se establecen los objetivos, que serán traducidos a preguntas de investigación con la finalidad de orientar el desarrollo del proyecto. Estas preguntas se responderán a través de los datos que se encuentran en el registro de eventos.  
En esta etapa también se conforma el equipo de trabajo del proyecto, considerando los siguientes perfiles: propietario del negocio (encargado de los procesos de negocios), experto del negocio (con conocimientos en aspectos comerciales y de ejecución de los procesos), experto en sistemas (familiarizado con el rubro de TI de los procesos y los sistemas que los soportan) y analistas del proceso (expertos en análisis de procesos y en aplicación de técnicas de MP).

- *Extracción.* En esta etapa se establece el límite de la extracción de los datos, que serán obtenidos de los SI que soportan la ejecución de los procesos de negocio seleccionados para ser analizados. Además, se realiza la transferencia de conocimiento entre los expertos comerciales y los analistas de proceso, con el objetivo de que estos últimos sean certeros en las etapas de procesamiento y análisis.
- *Procesamiento de datos.* En esta etapa se obtiene el registro de eventos para poder aplicar las diferentes técnicas de MP, utilizando —de ser necesario— las opciones para crear vistas, agregar eventos, enriquecer registros y filtrar registros.
- *Minería y análisis.* En esta etapa se aplican las técnicas de MP al registro de eventos, con el objetivo de responder las preguntas de investigación formuladas en la etapa de planificación y de obtener información sobre el rendimiento y el cumplimiento de los procesos. Además de las tres actividades de MP, en esta etapa también puede utilizarse información adicional (por ejemplo, de los recursos o de los tiempos) y aplicar otras técnicas de análisis al registro de eventos y a los modelos de procesos: por ejemplo, las técnicas de minería de datos o análisis visuales (histogramas de eventos por caso), cuyos resultados pueden servir para mejorar los modelos de procesos con información adicional.
- *Evaluación.* En esta etapa se relacionan los hallazgos obtenidos del análisis con ideas de mejora que permitan cumplir con los objetivos iniciales del proyecto. Es fundamental que los expertos del proceso participen en la verificación y validación de los resultados, para asegurar que sean útiles para la organización. Dentro de los resultados obtenidos se pueden diseñar ideas de mejora o nuevas preguntas de investigación.
- *Mejora y soporte de proceso.* El objetivo de esta etapa es utilizar los conocimientos adquiridos para modificar la ejecución real del proceso. Por tal motivo, las entradas son las propuestas de mejora de la etapa de evaluación y las salidas son las modificaciones o mejoras al proceso analizado.

### **Extensión de la metodología PM<sup>2</sup>**

La extensión de metodología PM<sup>2</sup> fue probada con el proceso de contratación de servicios de una empresa publicitaria, con la finalidad de analizar por qué existen anulaciones del servicio por parte de los clientes cuando ya lo tienen contratado. PM<sup>2</sup> se encuentra conformada por las siguientes seis etapas (Silva Osses et al., 2016):

- *Planificar.* Esta etapa tiene como finalidad entender el problema y el proceso seleccionado de la organización, para lo cual hay que estudiar el negocio y los datos necesarios para crear el registro de eventos. Además, en esta fase se

identifican las preguntas de investigación y el equipo de trabajo que sea capaz de responder las interrogantes planteadas (analistas de proceso y expertos del negocio).

- *Extraer.* En esta etapa, se determina el alcance de los datos y, posteriormente, estos se extraen de los diferentes SI ya filtrados.
- *Procesar.* En la tercera etapa se crean las vistas necesarias de los registros de eventos para responder las preguntas de investigación. En muchas ocasiones se pueden agregar los datos para enriquecer el registro de eventos y, con ello, generar más información cuando se realiza el análisis.
- *Analizar.* En esta etapa se puede realizar el análisis de los datos a través del enfoque de la minería de datos y de la MP de manera no simultánea. Ello para que cada resultado obtenido pueda servir para mejorar el análisis de la otra disciplina propuesta.

Cualquier técnica de minería de datos utilizada será válida cuando aporte valor al análisis. En cambio, todas las técnicas de MP tendrán que ser aplicadas con la finalidad de descubrir el proceso, hacer el análisis de conformidad adecuado y mejorar dicho proceso.

- *Evaluar.* Esta fase consiste en verificar y validar los resultados obtenidos con la información original y con los elementos clave del proceso. Con base en ello, será posible vislumbrar qué ideas son potenciales para mejorar el proceso.
- *Mejorar.* En esta fase se implementan las mejoras detectadas para el proceso y se da soporte.

### Guía de análisis para la MP enfocada en el usuario

Esta guía de análisis para la MP propuesta en el trabajo de investigación de Céspedes et al. (2018) no muestra información de su aplicación en algún caso de estudio, pero fue desarrollada bajo los principios del diseño centrado en el usuario y la norma ISO 9241-210:2019. Esta guía se encuentra dividida en cinco etapas iterativas, que permiten —cuando sea necesario— repetir pasos hasta obtener el resultado deseado. El usuario interviene como actor principal en cada una de sus fases, las que se describen a continuación:

- *Análisis del contexto.* Esta etapa inicia estableciendo los objetivos, el contexto de uso y la planificación del proyecto. Por ello, es importante identificar a los usuarios (por ejemplo, proveedores de datos, especialistas del negocio, propietarios del negocio, etcétera) y conocer su relación con el proyecto, así como el entorno tecnológico a nivel de *hardware* y *software* en que se desarrollará. Lo anterior es, pues, el punto de inicio para establecer las necesidades de los usuarios y concretar los elementos de la solución.

- *Análisis de eventos.* En esta fase se identifican los datos (significativos y de calidad) del proceso a analizar, a través de la recolección de las fuentes de datos disponibles, debido a que en muchas ocasiones los datos se encuentran almacenados en varios SI.
- *Preparación de eventos.* La finalidad de esta fase es realizar el procesamiento, limpieza y depuración de los datos para conseguir un registro de eventos apropiado y poder aplicar las técnicas de MP. Conjuntamente, se determinan las variables significativas en relación con los objetivos de la investigación.
- *Identificación de patrones.* La primera actividad que se lleva a cabo en esta fase es elegir las técnicas y herramientas de análisis de procesos que ayuden a cumplir los objetivos planteados. La segunda actividad es identificar la finalidad del análisis, que podría ser: (a) descubrir el modelo de control de flujo; (b) verificar la conformidad; (c) realizar un análisis de rendimiento; (d) hacer un análisis organizacional del proceso; y (e) construir el modelo completo del proceso.
- *Resultados y despliegue.* En esta fase se transfieren a la organización los resultados de interés a través de una presentación clara y útil, de acuerdo con las perspectivas y necesidades de los usuarios. Los resultados deberán incluir la propuesta de acciones de mejora y el rediseño del proceso.

## 2.2 Análisis comparativo de las metodologías encontradas

Con el propósito de agrupar las actividades descritas en las metodologías mencionadas en el apartado anterior, se decidió definir una metodología general de seis etapas. Se observó que, en muchos casos, las actividades de varias fases en una metodología son agrupadas en una misma fase en otra metodología, o, en otras ocasiones, una metodología considera una sola fase, que en otra es dividida en varias etapas (véase la Tabla 1).

A continuación, se enumeran las seis etapas de la metodología general, junto con las actividades involucradas en cada una de ellas:

- **Etapa A. Planeación y alcance.** Involucra el alcance, la justificación y planeación del proyecto, así como la identificación de usuarios, objetivos, metas, preguntas de investigación y recursos (humanos y técnicos), especificando la relación que tienen estos últimos con el proyecto.
- **Etapa B. Ubicación y preprocesamiento de datos.** En esta etapa se ubican, se describen y se exportan los datos que se encuentran dentro de los SI, incluyendo su definición, alcance y calidad.
- **Etapa C. Procesamiento de datos.** En esta etapa se realiza la selección, limpieza y depuración de los datos. Además, cuando es preciso, la inserción y creación de atributos o variables al registro de eventos.

- Etapa D. Minería y análisis de procesos.** En esta etapa se eligen las técnicas y herramientas de la MP y se aplican para obtener los modelos y la información de la conformidad, el rendimiento y el cumplimiento del proceso, para responder las preguntas de investigación. En caso sea necesario, en esta fase se extienden los modelos o la información a través de otras perspectivas o herramientas (por ejemplo, análisis visuales y minería de datos).
- Etapa E. Presentación de resultados.** En esta etapa se redacta y se presenta el informe a los diferentes usuarios, con la finalidad de comunicar los resultados y las recomendaciones, modificaciones o acciones de mejora que se podrían llevar a cabo en el proceso.
- Etapa F. Transferencia y seguimiento.** En esta etapa se implementan las recomendaciones o mejoras a la ejecución real del proceso (presentadas en la etapa anterior) y se soportan sus operaciones.

**Tabla 1**

*Ubicación de cada fase de las metodologías analizadas dentro de la metodología genérica*

Nombre de la metodología	Etapas de la metodología genérica					
	Etapa A	Etapa B	Etapa C	Etapa D	Etapa E	Etapa F
	Ubicación de las fases de cada metodología analizada					
PDM	----	Fase 1 Preparación del registro	Fase 2 Inspección del registro	Fases 3, 4 y 5 Análisis de control de flujo; análisis de rendimiento; y análisis de roles	Fase 6 Transferencia de resultados	---
Ciclo de vida L*	Fase 0 Justificación y planeación	Fase 1 Extracción	Fase 1 Extracción	Fases 2 y 3 Creación del modelo de control de flujo; y creación del modelo del proceso integrado	Fase 4 Soporte operacional	----
PMPM	Fase 1 Alcance	Fase 2 Comprensión de datos	Fase 3 Creación del registro de eventos	Fases 4 y 5 Minería de procesos; y evaluación	Fase 6 Despliegue	----
PMMF	----	Fase 1 Preparación de datos	Fase 2 Exploración de los datos	Fases 3 y 4 Perspectiva y análisis	Fase 5 Resultados	----
PM <sup>2</sup>	Fase 1 Alcance	Fase 2 Extracción	Fase 3 Procesamiento de datos	Fases 4 y 5 Minería y análisis; y evaluación	Fase 5 Evaluación	Fase 6 Mejoras y soporte de proceso

*(continúa)*

(continuación)

Nombre de la metodología	Etapas de la metodología genérica					
	Etapas A	Etapas B	Etapas C	Etapas D	Etapas E	Etapas F
	Ubicación de las fases de cada metodología analizada					
Extensión de la metodología PM <sup>2</sup>	Fase 1 Planificar	Fase 2 Extraer	Fase 3 Procesar	Fase 4 Analizar con minería de datos y procesos	Fase 5 Evaluar	Fase 6 Mejorar
Guía de análisis para la MP enfocada en el usuario	Fase 1 Análisis del contexto	Fase 2 Análisis de eventos	Fase 3 Procesamiento de eventos	Fase 4 Identificación de patrones	Fase 5 Resultados y despliegue	----

En base a la información presentada en cada metodología y en la Tabla 1, se puede mencionar lo siguiente:

- Las metodologías PDM y PMMF no incluyen la fase de planeación, por lo que, para iniciar un proyecto de MP con estas metodologías, no es necesario tener un entendimiento total del proceso ni del negocio. Estas metodologías pueden ser empleadas en proyectos basados en datos.
- A pesar de que en la metodología PMPM se especifica la definición de un alcance, no se sugiere realizar detalladamente una planeación, lo cual podría ser una limitante en comparación con las metodologías que inician con esta fase.
- Solo las metodologías PM<sup>2</sup> y la extensión PM<sup>2</sup> incluyen la fase de implementación de las recomendaciones o mejoras y el servicio de soporte al proceso.
- En la guía de análisis para la MP enfocada en el usuario se plantea involucrar a los diversos usuarios de la empresa (por ejemplo, proveedores de datos, especialistas del negocio, propietarios del negocio, especialista en el proceso, científicos de datos, analistas de datos, etcétera) en todas las fases. Sin embargo, no se explica cómo intervienen en las actividades y cuáles son sus funciones específicas.
- En ninguna de las metodologías analizadas se muestran actividades que puedan ayudar a los usuarios a elegir y utilizar, según sea el caso, las herramientas (redes Petri, árboles de proceso, modelos BPMN, etcétera) y técnicas (minado Alpha, heurístico, *fuzzy*, etcétera) existentes de la MP.
- Las metodologías PDM y PMMF son de carácter exploratorio, pues se centran en los datos y no involucran a los usuarios.
- La mayoría de las metodologías analizadas fueron probadas por sus propios autores a través de un caso de estudio dentro del mismo proyecto de

investigación (Tabla 2), por lo que es conveniente analizar y evaluar su pertinencia a través de otros casos de estudio externos.

- Solo se recomienda utilizar el ciclo de vida L\* cuando se desarrollan proyectos de MP estructurados. De lo contrario, solo se podrán llevar a cabo las tres primeras fases de esta metodología.
- Las metodologías no incluyen una fase cuyo objetivo sea hacer divulgación científica a través de alguna publicación que dé a conocer los hallazgos tecnológicos y conocimientos encontrados.

**Tabla 2**

*Aplicación y validez de las diferentes metodologías dentro del mismo proyecto de investigación*

Nombre de la metodología	Aplicada en un caso de estudio	Validada por sus propios autores	Hasta qué fase de la metodología se desarrolló el caso de estudio
PDM	Sí	Sí	Transferencia de resultados
Ciclo de vida L	No	No	---
PMPM	Sí	Sí	Despliegue
PMMF	Sí	Sí	Resultados
PM <sup>2</sup>	Sí	Sí	Evaluación
Extensión de la metodología PM <sup>2</sup>	Sí	Sí	Evaluación
Guía de análisis para la MP enfocada en el usuario	No	No	----

En base a las excepciones mencionadas anteriormente, se considera que existe la oportunidad de desarrollar una metodología más robusta, que involucre las principales fases del desarrollo de proyectos de MP definidas en las metodologías estudiadas y que pueda aplicarse a distintos tipos de proyectos (ya sea desde un punto de vista empresarial o uno científico-académico), a fin de mejorar el rendimiento de sus procesos o el cumplimiento de las normas y reglamentos. Es importante tener en cuenta que los objetivos de un proyecto de MP pueden ser muy concretos (lograr una reducción de costos del 10 % para un determinado proceso, por ejemplo) o muy genéricos (obtener información valiosa sobre el desempeño del proceso).

### 3. RESULTADOS

El resultado obtenido después de tomar en cuenta las actividades involucradas en las diferentes metodologías encontradas, el análisis realizado y la experiencia de los investigadores, fue el diseño de una metodología de MP que pueda ser aplicada en el desarrollo de proyectos tanto del ámbito empresarial como del ámbito científico-académico, con sus propias características particulares (ver figuras 2 y 3).



## Metodología propuesta

La metodología propuesta se encuentra conformada por las siguientes fases:

**Fase 1. Planeación y alcance.** Esta fase debe estar a cargo de los usuarios especialistas del negocio (encargados de los procesos de negocios), del experto en sistemas (familiarizado con los SI) y del analista de procesos (experto en aplicar la MP), quienes conforman el equipo de trabajo. Este equipo responderá las interrogantes planteadas, las cuales podrían estar enfocadas a mejorar el rendimiento de un proceso comercial o a verificar su cumplimiento con respecto a ciertas reglas y regulaciones. Esta fase incluye las siguientes actividades:

- Identificar el o los procesos que se quieren analizar y cuyo funcionamiento se quiere comprender.
- Identificar los principales problemas del o los procesos a analizar.
- Definir el alcance del proyecto a través de los objetivos y, posteriormente, convertirlos en preguntas de investigación, que pueden estar relacionadas, por ejemplo, con tiempo, recursos, costos, etcétera.
- Planificar el análisis.
- Identificar las herramientas y técnicas de la MP disponibles, para realizar de manera adecuada los análisis correspondientes.

En los casos en que se quiera realizar un proyecto de MP de tipo académico o de investigación y se tenga acceso a los datos del proceso, pero no el contacto directo con los expertos en el negocio, esta fase no será necesaria, ya que se estaría llevando a cabo un proyecto de carácter exploratorio.

**Fase 2. Preprocesamiento de datos.** El objetivo de esta fase es ubicar los datos en los SI, comprenderlos (tal como se encuentran almacenados) y extraer suficientes (representativos en base al rendimiento esperado y balanceados dentro del periodo de tiempo proporcionado), conforme a los objetivos definidos, para llevar a cabo el análisis y los diagnósticos significativos a través de la MP.

Al extraer los datos, se debe evitar que falten, que sean incorrectos, imprecisos o irrelevantes, porque pueden afectar los resultados. Por ejemplo, la ausencia de identificadores únicos que vinculan todos los eventos relacionados dificulta la creación del registro de eventos, o los datos de tiempo imprecisos para cada evento afectan los resultados de las mediciones de rendimiento.

Es recomendable, por tanto, buscar y hacer uso de estrategias y herramientas tecnológicas que permitan extraer los datos de los SI de manera adecuada, ya que existen muchas formas de almacenamiento (los datos, por ejemplo, se pueden encontrar en bases de datos relacionales, orientadas a objetos, documentales, etcétera). Posteriormente, en la siguiente fase, los datos obtenidos serán convertidos en un registro de eventos.

La metodología divide la extracción de datos, y la creación y el procesamiento de registros en dos etapas (preprocesamiento de datos y procesamiento de datos, respectivamente), debido a que la extracción de datos de eventos requiere mucho tiempo y se repite con menos frecuencia que las actividades de procesamiento de datos, tales como el filtrado y la creación de diferentes vistas sobre los mismos datos.

**Fase 3. Procesamiento de datos.** En esta fase se crean los registros de eventos a través de la limpieza y depuración de los datos. Para ello, se hace la identificación y creación de eventos (por ejemplo, unir los atributos hora y fecha en un solo evento, para obtener la marca de tiempo) y, cuando es preciso, se eliminan casos incompletos, actividades repetidas o se agrupan casos similares con la utilización de filtros. Lo anterior, con la finalidad de obtener registros de eventos relevantes para las siguientes fases.

Para que pueda ser utilizado por la MP, el archivo debe contener como mínimo el ID del caso, la actividad y la marca de tiempo del evento. Este archivo, en primera instancia, puede tener las extensiones CSV o XLS, y a través de PROM, Disco, Apromore u otra aplicación de MP, puede ser transformado al formato de registro de eventos XES o MXML.

Posteriormente, se analiza el registro de eventos para identificar las características de las actividades, el número de casos y eventos, los eventos iniciales y finales, las visualizaciones iniciales del proceso, etcétera. Este análisis se puede llevar a cabo con la MP y con la ayuda de otras técnicas estadísticas o visuales.

En la práctica, en este punto se pueden presentar situaciones en las que se observa la falta de datos para realizar el análisis completo según el alcance del proyecto, por lo que será necesario regresar a la fase anterior, complementar los datos faltantes y así tener un conjunto de datos satisfactorio.

En las siguientes tres etapas se aplicarán las técnicas y herramientas de la MP en los registros de eventos, con el propósito de obtener información —sobre el rendimiento y el cumplimiento de los procesos— que ayudará a responder las preguntas de investigación. Si no existieran preguntas de investigación definidas porque es un proyecto orientado a datos, se pueden aplicar técnicas exploratorias combinadas con el descubrimiento de procesos para obtener una visión general del proceso. Para los casos en donde sí se definieron preguntas concretas de investigación, los análisis pueden centrarse en responder dichas preguntas.

**Fase 4. Análisis de control de flujo.** En esta fase se aplican las técnicas de descubrimiento de procesos para conocer cómo es el proceso real, para luego compararlo con la documentación de la organización y verificar que los datos incluidos en el registro de eventos puedan ser representados en el proceso descubierto de manera adecuada, y con ello juzgar la calidad del modelo, identificar casos divergentes, encontrar desviaciones en el proceso y dar respuestas a algunas preguntas planteadas en la fase 1.

Algunos de los minados que se pueden utilizar para descubrir los modelos reales de los procesos que se están analizando son: Alpha, Alpha ++, Heurístico, ETM, Fuzzy e inductivo. Estos pueden ser usados a través de diversos *plugins* contenidos en el *framework* de ProM.

**Fase 5. Análisis de rendimiento.** En esta fase se utilizan los modelos de los procesos obtenidos en la fase anterior para examinar el desempeño de proceso, el tiempo de rendimiento de las actividades y los cuellos de botella, con el fin de encontrar áreas de mejora que apoyen en la toma de acciones.

Un *plugin* del *framework* ProM, bastante completo, que puede ser utilizado para obtener el rendimiento del proceso es *multi-perspective process explorer*. Sin embargo, existen otras aplicaciones más amigables (como Disco y Apromore) que también pueden usarse para obtener modelos en los que se muestra el rendimiento de los procesos.

**Fase 6. Análisis de roles.** Esta fase se lleva a cabo siempre que el registro de eventos contenga datos sobre los recursos que ejecutan tales eventos. Se analizan los roles que desempeñan los miembros del equipo de trabajo involucrados en el proceso, para detectar quién ejecuta cada actividad y para explorar su productividad.

Para el caso en que no se tenga información acerca de los roles de los empleados, pero sí, por ejemplo, los nombres de quienes intervienen en cada actividad del proceso, esta fase se podría llevar a cabo con otros tipos de análisis: por ejemplo, un análisis de intervenciones del personal en el proceso o un mapa de delegación de trabajo, en los que se pueda observar —aparte del número de casos atendidos por el personal— la colaboración que existe entre los recursos dentro del proceso.

Los análisis mencionados se pueden llevar a cabo, por ejemplo, con los *plugins* de *social network* contenidos en el *framework* de ProM o con las aplicaciones Disco y Apromore.

Lo anterior puede ayudar a los especialistas del negocio a decidir sobre la asignación de los trabajos de cada integrante del equipo.

**Fase 7. Presentación de resultados.** En esta fase se realiza la descripción de las actividades llevadas a cabo en el proyecto de MP. El objetivo es presentar el informe final a los usuarios interesados. Es de particular interés la presentación de la metodología utilizada para llevar a cabo la MP, la descripción de las diferentes etapas y los hallazgos encontrados (por ejemplo, el modelo de proceso descubierto, las ejecuciones anormales, los tiempos de rendimiento, etcétera). Finalmente, es fundamental que se presenten las recomendaciones o acciones de mejora que se pueden incluir en el proceso.

Antes de presentar los resultados, es conveniente que los expertos en los procesos participen en su revisión y validación, ya que los mineros regularmente no son expertos en el dominio de los procesos que se están analizando.

**Fase 8. Publicación de resultados.** En esta etapa están consideradas todas las acciones necesarias para publicar los resultados en algún medio de difusión. Es recomendable aplicarla cuando se realizan proyectos exploratorios basados en datos, cuando los usuarios son nuevos en la MP o cuando tienen un perfil académico. En este tipo de proyectos

se investigan las posibilidades de aplicación de la MP, por lo que resulta un ejercicio interesante la difusión de los resultados, de las experiencias en la aplicación de esta tecnología, así como la comparación con otras formas de trabajo reportadas o conocidas. Esta es una etapa pensada para cumplir con el objetivo de divulgación científica; es decir, promover, entre la sociedad, los hallazgos tecnológicos y conocimientos obtenidos. Aun cuando, desde el punto de vista de las organizaciones, estas acciones pueden ser consideradas opcionales, el llevarlas a cabo podría fomentar la vinculación y colaboración entre el sector empresarial y la comunidad científica, así como la creación de nuevas oportunidades de negocio basadas en el conocimiento.

**Fase 9. Transferencia y seguimiento.** En esta fase se implementan las recomendaciones o acciones de mejora a la ejecución real del proceso y se soportan sus operaciones; esto es, continuamente se debe medir y evaluar, con la finalidad de detectar cualquier falla o comportamiento anormal.

**Figura 2**

*Diagrama de bloques de la metodología de MP para el desarrollo de proyectos de tipo empresarial y científico-académico*

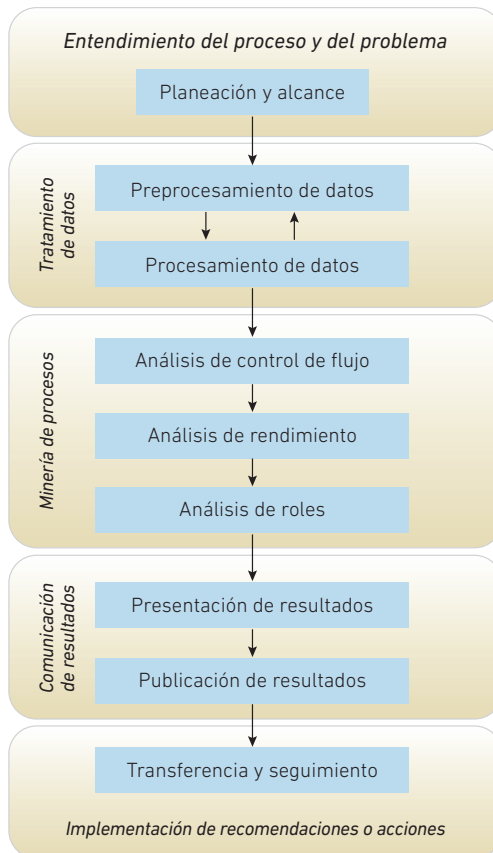
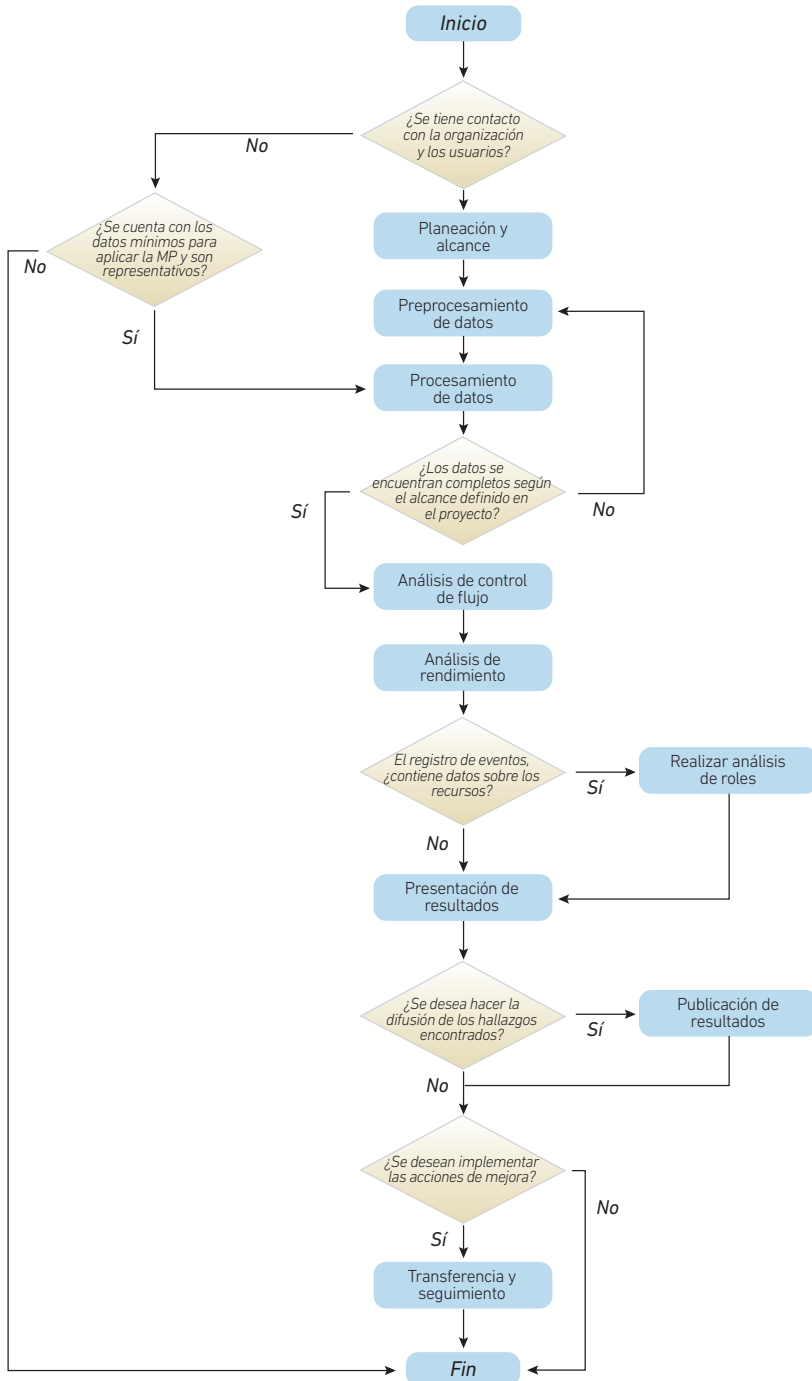


Figura 3

Diagrama de flujo de la metodología de MP para el desarrollo de proyectos de tipo empresarial y científico-académico



#### **4. CONCLUSIONES**

La MP, a través de sus técnicas, permite a las organizaciones realizar un escaneo de sus procesos de negocio para comprobar con mayor rigurosidad su cumplimiento, diagnosticar problemas e identificar soluciones que faciliten acciones de mejora o rediseño y que, al ser implementadas, logren procesos de negocio más eficaces. Por esos motivos, se considera importante que todo proyecto de MP se lleve a cabo con un enfoque metodológico que sirva de guía para que se alcancen los objetivos planteados y se garanticen resultados.

La metodología propuesta en esta investigación es una opción que permite orientar al usuario a desarrollar proyectos de MP, tanto de tipo empresarial como científico-académico. Esta tiene nueve fases: planeación y alcance, preprocesamiento de datos, procesamiento de datos, análisis de control de flujo, análisis de rendimiento, análisis de roles, presentación de resultados, publicación de resultados, y transferencia y seguimiento.

La metodología diseñada incluye todas las actividades principales de la MP. Inicia con la identificación y comprensión del proceso de negocio que se desea estudiar. Con esta base, se realiza la planificación y definición de los objetivos y preguntas de investigación, para que después los datos se puedan ubicar, extraer, limpiar y convertir al formato adecuado, antes de desarrollar las fases que involucran la MP. Posteriormente, se realiza la presentación de los hallazgos encontrados, junto con las recomendaciones o acciones de mejora que se pueden llevar a cabo en el proceso.

Finalmente, la etapa de publicación de resultados se halla junto a la etapa de transferencia y seguimiento.

La publicación de resultados es una fase pensada principalmente para los usuarios nuevos en la MP o de perfil académico. Tiene como finalidad difundir, a través de una publicación, los hallazgos tecnológicos y conocimientos obtenidos. Aun cuando desde el punto de vista de las organizaciones estas acciones son opcionales, el llevarlas a cabo podría fomentar la vinculación y colaboración entre el sector empresarial y la comunidad científica, así como la creación de nuevas oportunidades de negocio basadas en el conocimiento.

Finalmente, la fase de transferencia y seguimiento tiene como actividad principal la implementación de las recomendaciones o acciones de mejora, así como su seguimiento.

#### **5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

En trabajos futuros se recomienda aplicar la metodología propuesta de MP a diversos casos de estudio, tanto del área empresarial como del ámbito científico-académico. El objetivo de estos trabajos de investigación deberá estar enfocado en analizar la eficiencia

de la metodología, la facilidad y pertinencia de su aplicación, así como la congruencia entre las fases que la integran.

## REFERENCIAS

- Aguirre, M. H. & Rincón, G. N. (2015). Minería de procesos: desarrollo, aplicaciones y factores críticos. *Cuadernos de administración*, 28(50), 137-157. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao28-50.mpda>
- Badakhshan, P., Wurm, B., Grisold, T., Geyer-Klingeberg, J., Mendling, J., & Brocke, J. (2022) Creating business value with process mining. *The Journal of Strategic Information Systems*, 31(4), 101745. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2022.101745>
- Bozkaya, M., Gabriels, J., & Van der Werf, J. M. (2009, febrero). *Process diagnostics: a method based on Process Mining*. [Ponencia]. International conference on information, process, and knowledge management, Cancun, México, 22-27. <https://doi.org/10.1109/eKNOW.2009.29>
- Butt, N., Mahmood, Z., Sana, M.U., De La Torre, I., Castanedo, J., Brie, S., & Ashraf, I. (2023) Behavioral and performance analysis of a real-time case study event log: a process mining approach. *Applied sciences*, 13(7), 4145, 1-21. <https://doi.org/10.3390/app13074145>
- Céspedes, Y., Molero, G., & Arieta, P. (2018). Diseño de una guía de análisis para la minería de procesos enfocada en el usuario. *Ciencias de la información*, 49(3), 26-33. <https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciasdelainformacion/2018/vol49/no3/4.pdf>
- Checoli, A., Vecino, D., Scalabrin, E., & Portela, E. (2020). An extended model for remaining time prediction in manufacturing systems using process mining. *Journal of manufacturing systems*, 56, 188-201. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.003>
- De Weerd, J., Schupp, A., Vanderloock, A., & Baesens, B. (2013). Process mining for the multi-faceted analysis of business processes. A case study in a financial services organization. *Computers in industry*, 64(1), 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.09.010>
- Dos Santos, C., Meincheim, A., Faria, E., Rosano, M., Vecino, D., Ribeiro, D., Portela, E., & Scalabrin, E. (2019). Process mining techniques and applications. A systematic mapping study. *Expert system with Applications*, 133, 260-295. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.003>
- Emamjome, F., Andrews, R., & ter Hofstede, A. (2019, octubre). A case study lens on Process Mining in practice. In H. Panetto, C. Debruyne, M. Hepp, D. Lewis, C. Ardagna & R. Meersman (Eds.) *On the move to meaningful Internet systems: OTM 2019 Conferences*, 11877. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33246-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33246-4_8)

- Fuentes, S., Domínguez, A., García, W., Romero, P., & Leyva, L. (2019) Caracterización de la producción científica en el área disciplinar de la minería de proceso. *Investigación bibliotecológica*, 33(78), 193-216. <http://dx.doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2019.78.57925>
- González González, A., Leal Rodríguez, L., Martínez Caballero, D., & Morales Fonte, D. (2019). Herramientas para la gestión por procesos. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 15(28). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409659500003>
- Martínez-Escobar, A., Silega, N. & Noguera-García, M. (2021). Aplicación de minería de procesos para la mejora de los servicios públicos. *Revista cubana de transformación digital*, 2(4), 92-103. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/150>
- Merchán E., Mero K., & Mero C. (2021). Técnicas aplicadas a la minería de proceso: revisión sistemática. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 14 (9), 148-162. <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/950>
- Morales, A., Martínez, C., Amador, J., Hidalgo, C., & García R. (2022). Minería de procesos aplicada a un sistema de solicitudes de servicios al cliente: un caso de estudio basado en datos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E52), 117-132. <https://www.proquest.com/openview/e70e87c918af4fcefcdf912504e6fd671?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Park, S., & Sik, Y. (2016). A study of Process Mining-based business process innovation. *Procedia computer science*, 9, 734-743. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.066>
- Sangil, M. (2020, noviembre). *Heuristics-based process mining on extracted Philippine public procurement event logs* [Ponencia]. 7th International conference on behavioral and social computing (BESC), Bournemouth, Reino Unido, pp.1-4. <https://doi.org/10.1109/BESC51023.2020.9348306>
- Silva Osses, A., Arias, M., Quelves, L., Rojas, E., Fernández, B., Muñoz-Gama, J., & Sepúlveda, M. (2016, octubre). Business process analysis in advertising: an extension to a methodology based on process mining projects. [Ponencia]. 35th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), Valparaiso, Chile, 1-12. <https://doi.org/10.1109/SCCC.2016.7836000>
- Silva Osses, A. (2017). *Metodología para el análisis de proceso de negocio basada en minería de procesos y datos*. [Memoria de Titulación, Universidad Técnica Federico Santa María de Chile]. Repositorio institucional de la UTFSM. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/14074/3560902038214UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Terragni, A., & Hassani, M. (2018, agosto). Analyzing customer journey with process mining: from discovery to recommendations. [Ponencia]. IEEE 6th International



Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), Barcelona, España, 224-229. <https://doi.org/10.1109/FiCloud.2018.00040>

- Van der Aalst, W. (2011). *Process mining: data science in action*. Springer.
- Van der Aalst, W. (2012). Process mining: overview and opportunities. *ACM Transactions on management information systems*, 3(2), 1-17. <https://doi.org/10.1145/2229156.2229157>
- Van der Aalst, W., Adriansyah, A., Alves de Medeiros, A., Arcieri, F., Baier, T., Blickle, T., Chandra, J., Van den Brand, P., Brandtjen, R., Buijs, J., Burattin, A., Carmona, J., Castellanos, M., Claes, J., Cook, J., Costantini, N., Curbera, F., Damiani, E., De Leoni, M., ...Wynn, M. (2012). Process mining manifesto. En F. Daniel, K. Barkaoui y S. Dustdar (Eds.) *Business process management workshops (BPM 2011)*. *Lecture notes in business information processing*, 99. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28108-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28108-2_19)
- Van der Aalst, W. (2013). Service mining: using process mining to discover, check, and improve service behavior. *IEEE Transactions on services computing*, 6(4), 525-535. <https://doi.org/10.1109/TSC.2012.25>
- Van der Aalst, W. (2016). *Process mining: data science in action* (2nd ed.). Springer
- Van der Heijden, T. (2012). *Process mining project methodology: developing a general approach to apply process mining in practice* [Tesis de maestría, Eindhoven University of Technology]. <https://research.tue.nl/en/studentTheses/process-mining-project-methodology>
- Van Eck, M. L., Lu, X., Leemans, S. J., & Van der Aalst, W. (2015, junio). *PM<sup>2</sup>: a process mining project methodology*. [Ponencia]. International conference on advanced information systems engineering, Estocolmo, Suecia. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19069-3\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19069-3_19)

