

Tipo de artículo: Artículo original

# Método multicriterio para la identificación de factores críticos para la aplicación de minería de procesos

## *Multi-criteria method for the identification of critical factors for the application of process mining*

Karina Virginia Mero Suárez<sup>1\*</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-7943-4981>  
Edwin Joao Merchán Carreño<sup>2</sup> , <https://orcid.org/0000-0001-7859-9349>  
Carlos Renán Mero Suárez<sup>3</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-9154-1245>

<sup>1</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

\* Autor para correspondencia: [karina.mero@unesum.ec](mailto:karina.mero@unesum.ec)

### Resumen

La minería de proceso constituye una actividad que en los últimos años ha favorecido el desarrollo de las organizaciones orientadas a procesos. Un elemento sensible para la aplicación de técnicas de minería de proceso lo representan los factores críticos. La presente investigación propone un método para la identificación de factores críticos en la aplicación de minería de proceso. El método basa su funcionamiento mediante relaciones causales de implicación a partir del empleo de Mapa Cognitivo Difusos. Para la implementación de la propuesta se utilizó un enfoque multicriterio mediante el trabajo con un grupo de experto para la identificación de factores y sus relaciones causales. La presente investigación se asocia al proyecto de investigación de la Carrera de Tecnologías de información de la Universidad Estatal del Sur de Manabí y que versa: Metodología de peligros y puntos críticos de control aplicando minería de procesos.

**Palabras clave:** Factores críticos de éxitos; relaciones causales; mapa cognitivo difuso; minería de proceso.

### Abstract

*Process mining is an activity that in recent years has favored the development of process-oriented organizations. A sensitive element for the application of process mining techniques is represented by the critical factors. The present investigation proposes a method for the identification of critical factors in the process mining application. The method bases its operation through causal relationships of implication from the use of Fuzzy Cognitive Map. For the implementation of the proposal, a multi-criteria approach was used by working with a group of experts to identify factors and their causal relationships.*

**Keywords:** Critical success factors; causal relationships; fuzzy cognitive map; process mining.

**Recibido:** 15/03/2021

**Aceptado:** 27/08/2021

## Introducción

Las organizaciones que gestionan sus actividades basado en un enfoque de proceso, requieren de una adecuada integración entre las diferentes entidades que intervienen en su gestión. Para optimizar los procesos de gestión de



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

negocios, diversos han sido las soluciones propuestas por la literatura científica (GIRALDO et al., 2017), (Peña & Bayona-Oré, 2018) (Ouanan & Abdelwahed, 2019), (Mishra et al., 2018) donde la minería de procesos garantiza un análisis de los principales datos o transacciones con que cuenta la entidad (Feng et al., 2019), (Seidl, 2020), (Batyuk & Voityshyn, 2020), (Garcia et al., 2019).

Sin embargo, un elemento común en la gestión de la minería de proceso lo representan sus factores críticos (Yıldız et al., 2018), (Rafiei & van der Aalst, 2021). En la actualidad las organizaciones en su gestión no valoran este indicador lo que propicia que no se aprovechen las potencialidades (Nemeth et al., 2017), (Kukreja & Batra, 2017), (Leemans et al., 2020). A partir de la problemática antes descrita, la presente investigación tiene como objetivo: desarrollar un método para la identificación de factores críticos en la aplicación de minería de procesos (Ellatif et al., 2019), (Joty et al., 2018), (Rbigui & Cho, 2018).

La investigación se encuentra estructurada en introducción, materiales y métodos, resultados y discusión. La introducción realiza una descripción de los principales elementos asociados a la minería de proceso y la influencia de los factores críticos. Los materiales y métodos presentan la propuesta de método para la identificación de los factores críticos mediante un enfoque multicriterio a partir de Mapa Cognitivo Difuso. Los resultados y discusión realizan una aplicación del método mediante el trabajo con un grupo de expertos para la identificación de factores y sus relaciones causales.

## Materiales y métodos

La presente sección describe el funcionamiento del método para la identificación de factores críticos para la aplicación de minería de procesos. Se describen los elementos fundamentales que caracterizan la propuesta.

El método está diseñado para soportar el proceso de identificación de factores críticos, se expresa mediante tres etapas básicas: entrada, inferencia y salida. La figura 1 muestra un esquema general del método propuesto.





**Figura 1:** Estructura del método propuesto.

La estructura propuesta para el método soporta la identificación de factores críticos para la aplicación de minería de procesos. El método emplea un enfoque multicriterio con el empleo de expertos. El proceso de inferencia se nutre de las relaciones causales expresado mediante un dominio difuso. La inferencia es descrita mediante técnicas de soft computer con la implementación de la técnica Mapa Cognitivo Difuso. La figura 2 muestra un diagrama de flujo con las actividades del método.

**Actividad 1: Identificación de los expertos del proceso**

**Actividad 2: Identificación de los factores**

**Actividad 3: Determinación de las relaciones causales**

**Actividad 4: Obtención de los MCD**

**Actividad 5: Evaluación**

**Figura 2:** Flujo de trabajo del método propuesto.



A continuación se realiza una descripción de las actividades propuestas:

### **Actividad 1: Identificación de los expertos del proceso**

El primer paso del método es la selección de los expertos. Para la actividad se emplea el enfoque multiexperto formalizada como:

El número de expertos que interviene en el proceso  $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ ,  $m \geq 2$ ,

### **Actividad 2: Identificación de los factores**

La identificación de los factores críticos evaluativos. Para la actividad se emplea el enfoque multicriterio formalizado como:

El número de Factores críticos del proceso  $Fc = \{Fc_1, \dots, Fc_n\}$ ,  $n \geq 2$ ,

### **Actividad 3 determinaciones de las relaciones causales:**

La actividad determinación de las relaciones causales tiene como objetivo establecer la relación de los conceptos del mapa cognitivo. Las relaciones causales son expresadas mediante variables difusas con el empleo de términos lingüísticos que se les hacen corresponder sus valores difusos.

Cada experto expresa la relación que existe entre cada par de conceptos  $C_i$  y  $C_j$  del mapa cognitivo. Entonces, para cada relación causal se obtienen  $K$  reglas con la siguiente estructura: Si  $C_i$  es A entonces  $C_j$  es B y el peso  $W_{ij}$  es C.

Luego se utiliza el método del Centroide y el mecanismo de inferencia para agregar las  $k$  reglas, y el valor difuso agregado representa el valor de la relación.

### **Actividad 4 obtención del MCD resultante:**

Una vez identificadas las relaciones causales se organiza este conocimiento mediante la matriz de adyacencia. La matriz representa el resultado del proceso de agregación de información sobre los criterios emitidos por los expertos (White & Mazlack, 2011). El Mapa Cognitivo resultante posee las relaciones causales con los pesos de los nodos (Mar & Gulín, 2018), (Mar et al., 2020).

A partir del conocimiento resultante que es almacenado en la matriz de adyacencia, se realiza el análisis estático. Como resultado se obtienen los valores el grado de salida utilizándose la ecuación (1) donde se obtienen los pesos atribuidos a cada manifestación (Vasquez et al., 2018).

$$id_i = \sum_{j=1}^n \|I_{ji}\| \quad (1)$$

### **Actividad 5 evaluación:**



La actividad de evaluación, consiste en el proceso de inferencia que realiza el método propuesto. Para el proceso de evaluación se realiza un proceso de simulación donde el grado de activación de una neurona es un indicador del nivel de presencia del concepto en el sistema (Kosko, 1992).

El procesamiento de la simulación de escenario es implementado mediante la ecuación (2) se realiza el procesamiento, el cual consiste en calcular el vector de estado  $A$  a través del tiempo, para una condición inicial  $A^0$ . De forma análoga a otros sistemas neuronales, la activación de  $C_i$  dependerá de la activación las neuronas que inciden directamente sobre el concepto  $C_i$  y de los pesos causales asociados a dicho concepto (Giordano & Vurro, 2010).

$$A_i^{(K+1)} = f\left(A_i^{(K)} \sum_{i=1; j \neq i}^n A_i^{(K)} * W_{ji}\right) \quad (2)$$

Donde:

$A_i^{(K+1)}$  : es el valor del concepto  $C_i$  en el paso k+1 de la simulación,

$A_i^{(K)}$  : es el valor del concepto  $C_j$  en el paso k de la simulación,

$W_{ji}$ : es el peso de la conexión que va del concepto  $C_j$  al concepto  $C_i$  y  $f(x)$  es la función de activación.

## Resultados y discusión

La presente sección describe la implementación del método propuesto. La implementación se ha modelado para cumplir el objetivo planteado por la investigación en la identificación de los factores críticos para la aplicación de minería de proceso. El método gestiona un sistema de consenso multicriterio multiexperto. Permite mediante a partir del conocimiento causal de los expertos evaluar los principales factores críticos. A continuación se realiza una describen los resultados obtenidos.

### Actividad 1 identificación de los expertos:

Para el desarrollo de estudio, se consultaron 7 expertos que representaron la base para la identificación de las relaciones causales. La actividad permite la obtención identificación de los potenciales expertos para la identificación de los factores críticos en la implementación de minería de procesos.

### Actividad 2 identificación de los factores críticos:

Se identificaron a partir del trabajo con los expertos, 4 indicadores evaluativos los cuales son relacionados en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Factores críticos.



No.	Factores críticos
1	Estructura y composición de los registros de eventos
2	Representación del modelo
3	Análisis temporal
4	Selección del algoritmos de descubrimiento
5	Criterios de calidad

Definición de los factores definidos:

- 1- Estructura y composición de los registros de eventos (eventos del proceso): Registro de eventos: grabación de cada suceso que va ocurriendo a lo largo de la ejecución del proceso. Este formato tiene una serie de particularidades que deberán ser definidas para poder explotar la información de forma estandarizada. Cada fila del registro se corresponde con un evento del proceso. Evento del proceso: un evento del proceso como la unidad elemental de comportamiento de un proceso. Como a todo evento particular y unitario se le asocia un tiempo de ocurrencia, un recurso como agente ejecutor y una acción o actividad determinada llevada a cabo por este. Cada evento está descrito por un conjunto de atributos.
- 2- Representación del modelo: Seleccionar tipo de representación de modelos: En la disciplina de modelado se utilizan numerosas notaciones o sistemas de representación. El uso de cada una de las formas de representación se ve condicionado al ámbito de aplicación de cada modelado. Sistema de transiciones, Red de petri, BPMN.
- 3- Análisis temporal: El análisis temporal contempla el tiempos de decisión, tiempos de actuación, tiempos de ejecución, transiciones entre eventos.
- 4- Selección del algoritmo de descubrimiento: La selección del algoritmo permite determinar si se realiza un minado heurístico, Minado ILP o minado inductivo entre otros.
- 5- Criterios de calidad: Se refiere a los criterios de calidad que definen una minería de procesos con un alto grado de verdad. Pueden ser tales como: Ajuste, Precisión, Generalización o Simplicidad.

### Actividad 3 determinar las relaciones causales:

Para el proceso de identificación de las relaciones causales se obtuvieron 7 matrices de adyacencias correspondiente a los 7 expertos que intervinieron en el proceso para lo cual se agregaron en la matriz resultante.

Los expertos expresan la valoración sobre las relaciones causales mediante un conjunto borroso, se formulan en la escala lingüística presentada en la tabla 2, sustituyendo sus términos lingüísticos equivalentes.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

**Tabla 2:** Términos lingüísticos empleados.

<b>Término lingüístico</b>	<b>Números borroso</b>
Extremadamente buena(EB)	(1)
Muy muy buena (MMB)	(0.9)
Muy buena (MB)	(0.8)
Buena (B)	(0.70)
Medianamente buena (MDB)	(0.60)
Media (M)	(0.50)
Medianamente mala (MDM)	(0.40)
Mala (MA)	(0.30)
Muy mala (MM)	(0.20)
Muy muy mala (MMM)	(0.10)
Extremadamente mala (EM)	(0)

La tabla 3 muestra la matriz de adyacencia resultante del proceso.

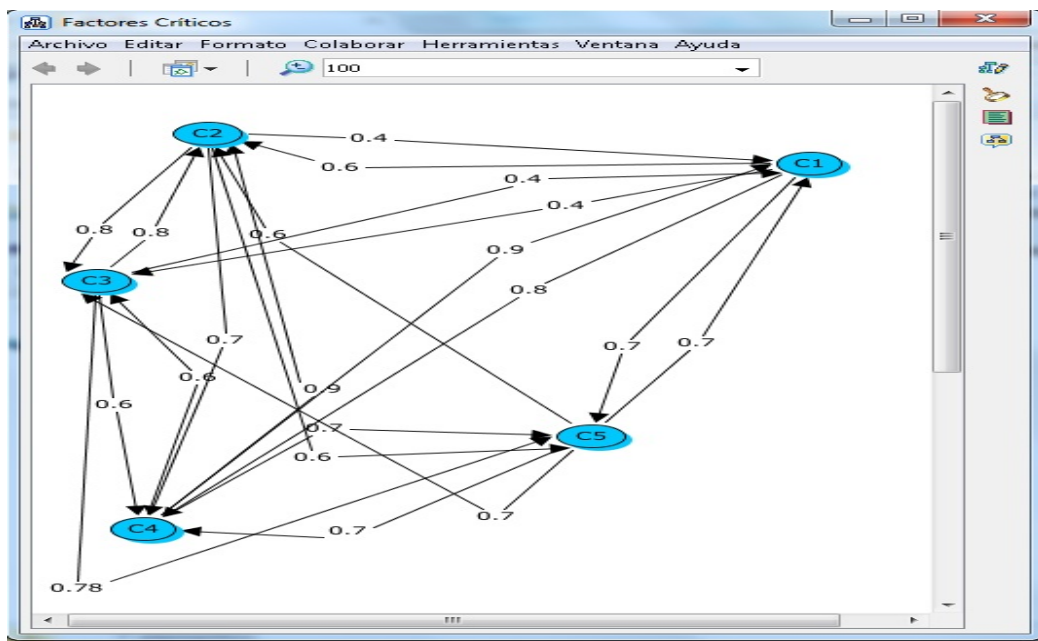
**Tabla 3:** Matriz de adyacencia sobre los factores críticos.

	<b>FC<sub>1</sub></b>	<b>FC<sub>2</sub></b>	<b>FC<sub>3</sub></b>	<b>FC<sub>4</sub></b>	<b>FC<sub>5</sub></b>
<b>FC<sub>1</sub></b>	[0]	[0.4]	[0.4]	[0.9]	[0.7]
<b>FC<sub>2</sub></b>	[0.6]	[0]	[0.8]	[0.8]	[0.6]
<b>FC<sub>3</sub></b>	[0.4]	[0.8]	[0]	[0.8]	[0.7]
<b>FC<sub>4</sub></b>	[0.8]	[0.7]	[0.6]	[0]	[0.9]
<b>FC<sub>5</sub></b>	[0.7]	[0.6]	[0.7]	[0.9]	[0]

#### **Actividad 4 obtenciones del MCD resultante:**

A partir de la matriz de adyacencia resultante se obtiene el Mapa Cognitivo Difuso del método para la evaluación del impacto del comercio informal. La Figura 3 muestra el Mapa Cognitivo Difuso resultante.





**Figura 3:** Mapa Cognitivo Difuso resultante.

**Actividad 5 evaluación:**

A partir de la matriz de adyacencia se identificaron los pesos atribuidos a los factores críticos mediante la resolución de la ecuación (1). La tabla 4 muestra los resultados obtenidos de los pesos.

**Tabla 4:** Peso atribuido a los factores críticos.

No.	Factores críticos	Peso
FC <sub>1</sub>	Estructura y composición de los registros de eventos	0,021
FC <sub>2</sub>	Representación de modelos	0,025
FC <sub>3</sub>	Análisis temporal	0,024
FC <sub>4</sub>	Selección del algoritmos de descubrimiento	0,027
FC <sub>5</sub>	Criterios de calidad	0,026

A partir del comportamiento de los pesos atribuidos a los factores críticos se realiza un proceso de simulación de escenario que permite la predicción de criticidad de los factores a partir de la Ecuación (2). La tabla 5 muestra finalmente el impacto atribuido a los factores críticos a partir de la aplicación del método.

**Tabla 5:** Impacto atribuido a los factores críticos.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)



No.	Factores críticos	Peso
C <sub>1</sub>	Estructura y composición de los registros de eventos	0,30
C <sub>2</sub>	Representación de modelos	0,35
C <sub>3</sub>	Análisis temporal	0,33
C <sub>4</sub>	Selección del algoritmos de descubrimiento	0,37
C <sub>5</sub>	Criterios de calidad	0,36

Una vez evaluados los factores críticos se identifican sus impactos. Se evidencia los factores críticos 4 y 5 representan los elementos de mayor impacto para la implementación de la minería de proceso.

## Conclusiones

A partir de la presente investigación, se obtuvo un método para la identificación de factores críticos para la aplicación de minería de procesos. El método basó su funcionamiento mediante un enfoque multicriterio con el empleo del consenso de múltiples expertos.

El método obtuvo como resultado el Mapa Cognitivo Difuso agregado con la representación de las relaciones causales sobre los factores críticos. El Mapa Cognitivo Difuso resultante constituye la base para la inferencia de la clasificación empleada para los factores.

A partir de la corrida del método fue posible demostrar su aplicabilidad mediante la identificación de factores críticos para la implementación de la minería de proceso.

## Conflictos de intereses

Los autores no poseen conflictos de intereses.

## Contribución de los autores

1. Conceptualización: Karina Virginia Mero Suárez, Edwin Joao Merchán Carreño, Carlos Renán Mero Suárez.
2. Curación de datos: Edwin Joao Merchán Carreño, Carlos Renán Mero Suárez.
3. Análisis formal: Karina Virginia Mero Suárez, Edwin Joao Merchán Carreño.
4. Adquisición de fondos: Karina Virginia Mero Suárez.
5. Investigación: Carlos Renán Mero Suárez.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

6. Metodología: Karina Virginia Mero Suárez, Edwin Joao Merchán Carreño.
7. Administración del proyecto: Karina Virginia Mero Suárez.
8. Recursos: Edwin Joao Merchán Carreño, Carlos Renán Mero Suárez.
9. Software: Karina Virginia Mero Suárez,
10. Supervisión: Edwin Joao Merchán Carreño, Carlos Renán Mero Suárez.
11. Validación: Karina Virginia Mero Suárez,
12. Visualización: Edwin Joao Merchán Carreño, Carlos Renán Mero Suárez.
13. Redacción – borrador original: Karina Virginia Mero Suárez, Edwin Joao Merchán Carreño, Carlos Renán Mero Suárez.
14. Redacción – revisión y edición: Karina Virginia Mero Suárez, Edwin Joao Merchán Carreño, Carlos Renán Mero Suárez.

## Financiamiento

La investigación ha sido financiada mediante el proyecto de investigación de la Carrera de Tecnologías de información de la Universidad Estatal del Sur de Manabí y que versa: Metodología de peligros y puntos críticos de control aplicando minería de procesos.

## Referencias

- Batyuk, A., & Voityshyn, V. (2020, 21-25 Aug. 2020). Streaming Process Discovery Method for Semi-Structured Business Processes. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP),
- Ellatif, M. A., Shaaban, E. M., & Amin, M. A. (2019, 17-17 Dec. 2019). Detecting Deviations in Business Processes Using Process Mining. 2019 14th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES),
- Feng, Z., Zhu, S., Wu, J., & Guo, H. (2019). Theory and Method of Time-varying Computational Experiments for the Fully Mechanized Mining Process in an Artificial System Environment. *IEEE Access*, 7, 168162-168174. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2954591>
- Garcia, C. d. S., Meinheim, A., Filho, F. C. G., Santos, E. A. P., & Scalabrin, E. E. (2019, 6-9 Oct. 2019). Getting Insights to Improve Business Processes with Agility: A Case Study Using Process Mining. 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC),



- Giordano, R., & Vurro, M. (2010). *Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management fuzzy cognitive maps* (Vol. En M. Glykas).
- GIRALDO, J. C., JIMÉNEZ, J., & TABARES, M. S. (2017). Modelo para optimizar el proceso de gestión de negocio combinando minería de procesos con inteligencia de negocios desde almacenes de datos. *Revista ESPACIOS*, 38(02). <http://www.sweetpoison.revistaespacios.com/a17v38n02/17380209.html>
- Joty, S., Carenini, G., Ng, R. T., & Murray, G. (2018, 17-20 Nov. 2018). Discourse Processing and Its Applications in Text Mining. 2018 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM),
- Kosko, B. (1992). *Neural networks and fuzzy systems: A dynamical systems approach to machine intelligence*.
- Kukreja, G., & Batra, S. (2017, 21-23 Sept. 2017). Analogize process mining techniques in healthcare: Sepsis case study. 2017 4th International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC),
- Leemans, S. J. J., Goel, K., & Zelst, S. J. v. (2020, 5-8 Oct. 2020). Using Multi-Level Information in Hierarchical Process Mining: Balancing Behavioural Quality and Model Complexity. 2020 2nd International Conference on Process Mining (ICPM),
- Mar, O., Ching, I., & González, J. (2020). Operador por selección para la agregación de información en Mapa Cognitivo Difuso. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 14(1), 20-39. <https://rcci.uci.cu/?journal=rcci&page=article&op=download&path%5B%5D=1876&path%5B%5D=794>
- Mar, O., & Gulín, J. (2018). Model for the evaluation of professional skills in a remote laboratory system. *Revista Científica*, 3(33), 332-343.
- Mishra, V. P., Dsouza, J., & Elizabeth, L. (2018, 29-31 Aug. 2018). Analysis and Comparison of Process Mining Algorithms with Application of Process Mining in Intrusion Detection System. 2018 7th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO),
- Nemeth, M., Michalconok, G., & Peterkova, A. (2017, 20-23 Oct. 2017). The analysis of emerging failures of process control systems based on data mining. 2017 IEEE 21st International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES),
- Ouanan, H., & Abdelwahed, E. H. (2019, 26-27 Dec. 2019). Image processing and machine learning applications in mining industry: Mine 4.0. 2019 International Conference on Intelligent Systems and Advanced Computing Sciences (ISACS),
- Peña, M. R., & Bayona-Oré, S. (2018, 17-19 Oct. 2018). Process Mining and Automatic Process Discovery. 2018 7th International Conference On Software Process Improvement (CIMPS),



- Rafiei, M., & van der Aalst, W. M. P. (2021). Group-based privacy preservation techniques for process mining. *Data & Knowledge Engineering*, 134, 101908. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2021.101908>
- Rbigui, H., & Cho, C. (2018, 17-19 Oct. 2018). Purchasing Process Analysis with Process Mining of a Heavy Manufacturing Industry. 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC),
- Seidl, T. (2020, 5-8 Oct. 2020). Keynote: Data Mining on Process Data. 2020 2nd International Conference on Process Mining (ICPM),
- Vasquez, M. Y. L., Veloz, G. S. D., Saleh, S. H., Roman, A. M. A., & Flores, R. M. A. (2018). A model for a cardiac disease diagnosis based on computing with word and competitive fuzzy cognitive maps. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Guayaquil*, 19(1).
- White, E., & Mazlack, D. (2011). Discerning suicide notes causality using fuzzy cognitive maps. IEEE International Conference Taipei, Taiwan.
- Yıldız, E. C., Aktas, M. S., Kalıpsız, O., Kanlı, A. N., & Turgut, U. O. (2018, 20-23 Sept. 2018). Data Mining Library for Big Data Processing Platforms: A Case Study-Sparkling Water Platform. 2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK),

