



# **SIMDIA'2021**

November, 11th 2021 (on-line)

<https://www.iberamia.org/iberamia/iberamia2022/simdia/>



**Proceedings of the**

**First Ibero-American Symposium of  
Master and Doctorate in Artificial Intelligence**

---

**Organized by:**

**Doctorate: Pr. Juan de Dios Murillo. National University Costa Rica.**

**Masters: Pr. Nestor Dario Duque. National University of Colombia in Manizales.**

## **Preface**

In the context of the XVII edition of the Ibero-American Conference on Artificial Intelligence, the first Ibero-American Symposium of Master and Doctorate in Artificial Intelligence (SIMDIA'2021) was held as a preliminary activity, which will aim to be a space for socialization, presentation and discussion of academic master's and doctorate works on different topics around Artificial Intelligence (AI).

The Symposium consisted of the presentation of a set of research papers carried out by postgraduate students (Master's or Doctorate) with a significant contribution to knowledge or presenting innovative experiences in the different areas of AI. The papers submitted went through a peer review and those accepted in the evaluation process were presented. A scientific committee was formed made up of researchers from the different areas of AI and with the support of the different societies that make up IBERAMIA.

The best qualified papers were invited to publish an extended version in the 'Inteligencia Artificial' journal (edited by IBERAMIA) and granted for the 17th Iberoamerican Conference on Artificial Intelligence (Iberamia'2022) to present their works.

These proceedings contain the set of papers accepted and presented at the First Ibero-American Symposium on Masters and Doctorates in Artificial Intelligence, held online on November 11, 2011.

## **Prefacio**

En el marco de la XVII edición del Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial, se llevó a cabo como actividad preliminar el primer Simposio Iberoamericano de Maestría y Doctorado en Inteligencia Artificial (SIMDIA'2021), que tendrá como objetivo ser un espacio de socialización, presentación y discusión de trabajos académicos de maestría y doctorado sobre diferentes temas en torno a la Inteligencia Artificial (IA).

El Simposio consistió en la presentación de un conjunto de trabajos de investigación realizados por estudiantes de posgrado (Máster o Doctorado) con una contribución significativa al conocimiento o presentando experiencias innovadoras en las diferentes áreas de la IA. Los trabajos presentados pasaron por una revisión por pares y se presentaron los aceptados en el proceso de evaluación. Se formó un comité científico formado por investigadores de las distintas áreas de la IA y con el apoyo de las distintas sociedades que forman IBERAMIA.

Los trabajos mejor calificados fueron invitados a publicar una versión extendida en la revista 'Inteligencia Artificial' (editada por IBERAMIA) y becados para el 17º Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial (Iberamia'2022) para presentar sus trabajos.

Estas actas contienen el conjunto de trabajos aceptados y presentados en el Primer Simposio Iberoamericano de Maestría y Doctorado en Inteligencia Artificial, realizado en línea el 11 de noviembre de 2011.

## **Prefácio**

No âmbito da XVII edição da Conferência Ibero-Americana de Inteligência Artificial, realizou-se como atividade preliminar o primeiro Simpósio Ibero-Americano de Mestrado e Doutorado em Inteligência Artificial (SIMDIA'2021), que pretende ser um espaço de socialização, apresentação e discussão de trabalhos acadêmicos de mestrado e doutorado sobre diferentes temas em torno da Inteligência Artificial (IA).

O Simpósio consistiu na apresentação de um conjunto de trabalhos de investigação realizados por alunos de pós-graduação (Mestrado ou Doutorado) com um contributo significativo para o conhecimento ou apresentando experiências inovadoras nas diferentes áreas da IA. Os trabalhos submetidos passaram por uma revisão por pares e foram apresentados os aceites no processo de avaliação. Foi formado um comitê científico formado por pesquisadores das diferentes áreas da IA e com o apoio das diferentes sociedades que compõem a IBERAMIA.

Os trabalhos mais qualificados foram convidados a publicar uma versão estendida na revista 'Inteligencia Artificial' (editada pela IBERAMIA) e premiados para a 17ª Conferência Iberoamericana de Inteligência Artificial (Iberamia'2022) para apresentar seus trabalhos.

Estas atas contêm o conjunto de trabalhos aceites e apresentados no I Simpósio Ibero-Americano de Mestrado e Doutorado em Inteligência Artificial, realizado online em 11 de novembro de 2011.

# Index

---

## **SIMDIA-Master**

Detección y Segmentación Semántica de Displasias Corticales Focales en Sujetos con Epilepsia Refractaria por Medio de Imágenes de Resonancia Magnética y Aprendizaje Profundo.

*David Jiménez-Murillo, Juan David Martínez-Vargas and Andrés Eduardo Castro Ospina*

Uma Abordagem de Auto-ML para Análise de Sentimentos na Língua Portuguesa.

*Douglas Nunes de Oliveira and Luiz Merschmann*

Implementación de un Sistema de Detección de Intrusos Soportado en Técnicas de Aprendizaje Supervisado Orientado a Servicios en la Nube para la Detección de Ataques de Denegación de Servicios Distribuidos.

*Jose Albeiro Montes Gil, Néstor Darío Duque Méndez and Gustavo Adolfo Isaza Echeverry.*

## **SIMDIA-Doctorate**

Algoritmos de sumarización lingüística de datos para la ayuda a la toma de decisiones.

*Iliana Pérez Pupo, Pedro Y. Piñero Pérez and Rafael E. Bello Pérez*

Desarrollo de métodos de recomendación grupal basada en contenido con aplicación en el sector turístico.

*Yilena Pérez Almaguer and Raciél Yera Toledo*

Nuevas Extensiones de Mapas Cognitivos Difusos para Problemas de Toma de Decisiones Secuenciales Multietapa.

*Paola Daniela Budan*

Algoritmos de estimación de distribuciones con tratamiento de restricciones para la construcción de cronogramas de proyectos.

*Salah Hasan Saleh Al-Subhi and Pedro Piñero Pérez*

Calculating the Strength of Rhetorical Arguments in Persuasive Negotiation Dialogues.

*Mariela Morveli-Espinoza and Cesar A. Tacla*

# Detección y Segmentación Semántica de Displasias Corticales Focales en Sujetos con Epilepsia Refractaria por Medio de Imágenes de Resonancia Magnética y Aprendizaje Profundo<sup>\*</sup>

David Jiménez-Murillo<sup>1</sup>[0000-0001-6335-8657], Juan D. Martínez-Vargas<sup>[0000-0001-7037-6925]</sup>, and Andrés E. Castro-Ospina<sup>[0000-0003-3893-1137]</sup>

Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia  
davidjimenez215489@correo.itm.edu.co  
{juanmartinez, andrescastro}@itm.edu.co

**Resumen** La epilepsia es una enfermedad que afecta aproximadamente a 70 millones de personas alrededor del mundo. Ésta se caracteriza por episodios convulsivos, recurrentes y resistentes al tratamiento médico en aproximadamente el 30% de los casos. Una de las posibles causas de epilepsia refractaria es la presencia de malformaciones en la corteza cerebral conocidas como displasias corticales focales (FCD). Estas pequeñas malformaciones suelen ser casi imperceptibles en las imágenes de resonancia y escapan de la vista del radiólogo con considerable frecuencia. Por esta razón y dado que la correcta detección y segmentación de FCD es clave en el éxito de la cirugía, se hace necesario el desarrollo de técnicas computacionales para automatizar el proceso de diagnóstico. Uno de los métodos más efectivos para reconocimiento de patrones en imágenes son las técnicas de aprendizaje profundo. En este trabajo se plantea desarrollar una metodología basada en algoritmos de aprendizaje profundo donde se integren los modelos para la detección y segmentación automática de FCD sobre imágenes de resonancia magnética de cabeza.

**Palabras clave:** Diagnóstico asistido por computador · Displasia cortical focal · Epilepsia · Imágenes de resonancia magnética · Redes neuronales profundas

## 1. Introducción

La epilepsia es una enfermedad neurológica que aún hoy es el desorden neurológico más común [1]. A 2019 se estima que la epilepsia afecta a alrededor de 70 millones de personas a nivel mundial, de los cuales el 80% provienen de países en vías de desarrollo [16]. En Colombia se ha encontrado que la prevalencia de la enfermedad es de 11,3 diagnósticos por cada 1000 habitantes, con un pico en la región oriental de 23 casos por cada 1000 habitantes [15]. Estos pacientes, según

---

<sup>\*</sup> Supported by Instituto Tecnológico Metropolitano. Project P20214.

Espinosa Jovel et al. (2016) [2] muestran mayor deserción escolar (10.2% de pacientes tiene un nivel de educación superior), altas tasas de desempleo (76.7%) e inhabilidad para formar una familia (73.8% eran solteros).

Las displasias corticales focales (FCD, por sus siglas en inglés), que son malformaciones del desarrollo cortical, son una causa frecuente de epilepsia refractaria. Aproximadamente el 30% de pacientes diagnosticados con epilepsia padece epilepsia refractaria [9], es decir, no responden al tratamiento con medicamentos. Para ellos la única solución efectiva suele ser la resección quirúrgica del foco epileptógeno. Sin embargo, para que la cirugía sea llevada a cabo con éxito es necesario la ubicación y delineación precisa del foco epileptógeno, trabajo que generalmente es realizado manualmente por un neuro radiólogo. Esta es una tarea que consume mucho tiempo y está sujeta al error humano ya que las FCD se manifiestan de forma muy sutil en las imágenes de resonancia magnética (MRI, por sus siglas en inglés) [7].

Existe entonces la necesidad de automatizar este proceso para que sirva de ayuda en el diagnóstico de FCD. Diversos trabajos han sido propuestos con diferentes técnicas tradicionales de procesamiento de imágenes [3] y aprendizaje de máquinas [8,5]. Sin embargo, los recientes desarrollos en el área de aprendizaje profundo y el impacto que han tenido en el procesamiento de imágenes [10], ha hecho que cada vez más se estudie su aplicación en las imágenes médicas [6,11] y a su vez en detección y segmentación automática de FCD [17,14].

En este trabajo se propone realizar la detección y segmentación de FCD por medio de una red neuronal llamada U-Net [12], que es una CNN creada especialmente para aplicaciones médicas donde se dispone de pocos datos [13]. Asimismo, se plantea simular las FCD sobre MRI de pacientes normales, partiendo de lo propuesto por Feng et al. [4] y, como veremos más adelante, añadiendo nuestra propuesta de simulación con el fin de tener datos suficientes para el entrenamiento del algoritmo.

Con el fin de presentar de forma clara nuestro trabajo de investigación preliminar, hemos dividido este artículo en diferentes secciones. En primer lugar presentamos la hipótesis de investigación en la Sección 2, seguida de la Sección 3 donde están los objetivos que esperamos alcanzar con este trabajo. En la Sección 4 tenemos una discusión sobre los resultados esperados y finalizamos con los métodos de evaluación y alcance de la investigación en la Sección 5.

## 2. Hipótesis

Mediante técnicas de aprendizaje profundo será posible detectar la presencia de FCD y realizar una segmentación semántica de las mismas a partir de imágenes de resonancia magnética estructural del cerebro, logrando así construir una herramienta que realice una ubicación precisa de las malformaciones.

### 3. Objetivo General

Desarrollar una metodología basada en aprendizaje profundo para la detección y segmentación semántica de FCD a partir de imágenes de resonancia magnética estructural del cerebro.

#### 3.1. Objetivos Específicos

- Proponer un método computacional para simular FCD sobre imágenes de resonancia magnética de sujetos sanos para generar volúmenes que presenten malformaciones.
- Desarrollar un método de detección de FCD utilizando técnicas de aprendizaje profundo con el fin de identificar la presencia de malformaciones.
- Desarrollar una metodología, que integre el método de detección, para la segmentación semántica de FCD basada en técnicas de aprendizaje profundo que permita la delineación anatómica de las malformaciones.
- Evaluar el desempeño de la metodología integral propuesta usando métricas de evaluación adecuadas para segmentación semántica con el fin establecer su utilidad como herramienta de diagnóstico.

### 4. Resultados Esperados y Discusión

Se espera construir una base de datos MRI de cabezas que contengan FCD simulada que sea suficiente y replicable, a partir de algoritmos de visión artificial. Esto debido a la escasez de datos de acceso público y con el fin de que sirva de apoyo en investigación, especialmente para el entrenamiento y uso de algoritmos de aprendizaje profundo. Si bien Feng et al. [4] proponen la simulación de displasias, se desea ir más allá, mejorando el modelo propuesto por ellos de simulación de aumento de brillo en la materia blanca e incluyendo otras características de FCD como son aumento de grosor cortical y borrosidad de la frontera materia gris-blanca. Esto con el fin de crear un modelo con mejor capacidad para generalizar la manifestación de FCD en volúmenes MRI.

Con este trabajo se espera contribuir al estado del arte en la automatización de la detección y segmentación semántica de FCD sobre MRI por medio de algoritmos de aprendizaje profundo. Thomas et al. [14] demostraron que la U-Net puede tener excelentes resultados en el análisis de FCD en MRI, por lo que esperamos partir de ahí para desarrollar una herramienta automática para que sirva al personal médico como apoyo en el diagnóstico asistido por computador.

### 5. Evaluación y Alcance

Los resultados serán evaluados de forma cuantitativa con el coeficiente Sørensen-Dice como medida de similitud entre las máscaras predichas por el modelo y la segmentación realizada por un experto, sobre en una base de datos de volúmenes

MRI de pacientes diagnosticados con FCD y utilizada únicamente para prueba. La divulgación de resultados se hará por medio de participación en eventos científicos y sometimiento de artículos en revistas indexadas. Asimismo, se pretende realizar una búsqueda exhaustiva en el estado del arte sobre detección y segmentación de FCD para publicar un artículo que reúna los avances.

## Referencias

1. Banerjee, P.N., Filippi, D., Allen Hauser, W.: The descriptive epidemiology of epilepsy—A review. *Epilepsy Research* **85**(1), 31–45 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2009.03.003>
2. Espinosa Jovel, C., Pardo, C., Moreno, C., Vergara, J., Hedmont, D., Sobrino Mejía, F.: Perfil demográfico y social de la epilepsia en una población vulnerable y de bajos recursos económicos en Bogotá, Colombia. *Neurología* **31**(8), 528–534 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2014.10.016>
3. Feng, C., Zhao, H., Tian, M., Lu, M., Wen, J.: Detecting focal cortical dysplasia lesions from FLAIR-negative images based on cortical thickness. *BioMedical Engineering OnLine* **19**(1) (2020). <https://doi.org/10.1186/s12938-020-0757-8>
4. Feng, C., Zhao, H., Zhang, J., Cheng, Z., Wen, J.: Automated localization of epileptic focus using convolutional neural network. In: *Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Big Data Engineering and Technology*. pp. 72–75 (2020)
5. Gill, R.S., Hong, S.J., Fadaie, F., Caldairou, B., Bernhardt, B., Bernasconi, N., Bernasconi, A.: Automated detection of epileptogenic cortical malformations using multimodal MRI. In: *Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support*, pp. 349–356. Springer (2017)
6. Gurcan, M., Senaras, C.: Deep learning for medical image analysis. *Journal of Pathology Informatics* **9**(1), 25 (2018). [https://doi.org/10.4103/jpi.jpi\\_27\\_18](https://doi.org/10.4103/jpi.jpi_27_18)
7. Gálvez M, M., Rojas C, G., Cordovez M, J., Ladrón de Guevara, D., Campos P, M., López S, I.: Displasias corticales como causa de epilepsia y sus representaciones en las imágenes. *Revista chilena de radiología* **15** (2009). <https://doi.org/10.4067/s0717-93082009000400005>
8. Hong, S.J., Kim, H., Schrader, D., Bernasconi, N., Bernhardt, B.C., Bernasconi, A.: Automated detection of cortical dysplasia type II in MRI-negative epilepsy. *Neurology* **83**(1), 48–55 (2014). <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000000543>
9. Kwan, P., Sander, J.: The natural history of epilepsy: an epidemiological view. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* **75**(10), 1376–1381 (2004). <https://doi.org/10.1136/jnnp.2004.045690>
10. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G.: Deep learning. *Nature* **521**(7553), 436–444 (2015). <https://doi.org/10.1038/nature14539>
11. Nogales, A., García-Tejedor, A.J., Monge, D., Vara, J.S., Antón, C.: A survey of deep learning models in medical therapeutic areas. *Artificial Intelligence in Medicine* **112**, 102020 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2021.102020>
12. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.: U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*. pp. 234–241. Springer (2015)
13. Siddique, N., Paheding, S., Elkin, C.P., Devabhaktuni, V.: U-Net and Its Variants for Medical Image Segmentation: A Review of Theory and Applications. *IEEE Access* **9**, 82031–82057 (2021). <https://doi.org/10.1109/access.2021.3086020>



14. Thomas, E., Pawan, S.J., Kumar, S., Horo, A., Niyas, S., Vinayagamani, S., Kesavadas, C., Rajan, J.: Multi-Res-Attention UNet: A CNN Model for the Segmentation of Focal Cortical Dysplasia Lesions from Magnetic Resonance Images. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* **25**(5), 1724–1734 (2021). <https://doi.org/10.1109/jbhi.2020.3024188>
15. Velez, A., Eslava-Cobos, J.: Epilepsy in Colombia: Epidemiologic Profile and Classification of Epileptic Seizures and Syndromes. *Epilepsia* **47**(1), 193–201 (2006). <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2006.00387.x>
16. Vergara Aguilar, J.P., Nariño González, D., Gómez Calzada, U.E., Gómez Arias, B., Rosselli, D., Pantoja, C.: Reunión de expertos en epilepsia. *Acta Neurológica Colombiana* **35**(2), 89–98 (2019). <https://doi.org/10.22379/24224022238>
17. Wang, H., Ahmed, S.N., Mandal, M.: Automated detection of focal cortical dysplasia using a deep convolutional neural network. *Computerized Medical Imaging and Graphics* **79**, 101662 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2019.101662>

# Uma Abordagem de Auto-ML para Análise de Sentimentos na Língua Portuguesa<sup>\*</sup>

Douglas Nunes de Oliveira<sup>1</sup> and Luiz Henrique de Campos Merschmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Lavras,  
37200-900, Lavras-MG, Brasil  
`douglas.nunes@stilingue.com.br`

<sup>2</sup> Departamento de Computação Aplicada, Universidade Federal de Lavras,  
37200-900, Lavras-MG, Brasil  
`luiz.hcm@ufla.br`

**Resumo** A análise de sentimentos (AS) é uma área de estudo que utiliza diversas técnicas de processamento de linguagem natural e de mineração de dados para extrair opiniões e emoções expressas em textos. Um dos desafios nessa área é encontrar a combinação dessas técnicas que resulta no melhor desempenho, dado que isso geralmente envolve a avaliação de uma quantidade enorme de combinações. Neste trabalho, além de mostrarmos que combinações distintas podem resultar em desempenhos significativamente diferentes para a tarefa de AS, uma abordagem de Auto-ML foi proposta para automatizar a busca por uma boa combinação. Os experimentos realizados comprovam a eficiência da abordagem proposta ao compará-la com uma ferramenta do estado-da-arte.

**Keywords:** Auto-ML · Análise de Sentimentos · Mineração de Dados.

## 1 Introdução

A análise de sentimentos (AS) é uma área de estudo que tem como foco o desenvolvimento de ferramentas computacionais voltadas para a obtenção de opiniões sobre um determinado assunto ou entidade a partir das manifestações das pessoas realizadas em redes sociais online, fóruns, aplicativos de comércio eletrônico e outros.

Para realizar a extração de opiniões a partir de dados textuais diversos trabalhos fazem uso de técnicas das áreas de Processamento de Linguagem Natural (PLN) e Mineração de Dados (MD). Nesse tipo de abordagem, que é o foco deste trabalho, classificadores são treinados a partir de bases de dados previamente rotuladas para determinarem a opinião expressa em um texto. As técnicas de PLN são utilizadas para pré-processar o texto e colocá-lo num formato adequado para a etapa de classificação. O pré-processamento do texto pode incluir diversas etapas, tais como a conversão do texto para minúsculo, a remoção de palavras irrelevantes, a extração do radical das palavras, a determinação da classe morfológica das palavras e a vetorização do texto.

---

<sup>\*</sup> Apoio financeiro da CAPES e da Stilingue Inteligência Artificial Ltda.

Saber quais etapas de pré-processamento devem ser realizadas para maximizar o desempenho preditivo da fase de classificação é um grande desafio, dado que não há um único conjunto de etapas que maximiza o desempenho de diferentes classificadores para qualquer conjunto de dados. De modo semelhante, não existe um único classificador que sempre alcance o melhor desempenho para diferentes bases de dados relacionadas com o problema de AS [8].

Embora o português seja o sétimo idioma mais falado do mundo com mais de 200 milhões de falantes [10], a quantidade de trabalhos voltados para a análise de sentimentos para o idioma português é relativamente pequena [7]. Como consequência, existem poucos recursos e ferramentas computacionais para a análise de sentimentos focados na língua portuguesa, o que mostra que para esse idioma ainda temos grandes desafios e oportunidades. Desse modo, este trabalho teve como foco a língua portuguesa do Brasil.

**Cenário Atual.** Alguns trabalhos na literatura já apresentaram estudos que avaliaram a influência de diferentes etapas de pré-processamento no desempenho dos classificadores utilizados para a tarefa de análise de sentimentos na língua portuguesa. No entanto, todos eles realizaram essas avaliações num escopo sempre mais limitado do que aquele que utilizamos neste trabalho. Por escopo entende-se a quantidade de tarefas de pré-processamento avaliadas, a quantidade de combinações das tarefas consideradas no estudo, a quantidade de classificadores utilizados e a metodologia adotada na avaliação.

Dada a importância de se obter uma boa combinação de técnicas de pré-processamento e classificadores para problemas como o abordado neste trabalho, a área de estudo e pesquisa denominada Aprendizado de Máquina Automatizado (*Automated Machine Learning* – Auto-ML) busca por soluções para recomendação, de forma automática, de métodos e seus hiper-parâmetros para um determinado problema de aprendizado de máquina utilizando uma dada base de dados históricos. Apesar de ferramentas como Auto-Weka [11], Auto-Sklearn [6], TPOT [5] e RECIPE [9] terem sido apresentadas para esse propósito, nenhuma delas é capaz de resolver de forma nativa o problema foco deste trabalho, a saber, encontrar uma pipeline (sequência de técnicas de pré-processamento de texto e classificador) com todo o seu conjunto de hiper-parâmetros que resulte num bom desempenho para uma determinada instância do problema de AS.

**Principais Contribuições.** Dado o cenário apresentado anteriormente, a primeira contribuição deste trabalho (ver Seção 2) foi a realização de um extenso estudo para avaliar como diferentes combinações de etapas de pré-processamento de texto com classificadores afetam o desempenho preditivo da tarefa de AS para textos escritos na língua portuguesa. Esse estudo mostra a importância da realização de uma avaliação conjunta de tarefas de pré-processamento com classificadores no momento de se escolher uma pipeline adequada para uma determinada base de dados. Vale ressaltar que nenhum dos estudos encontrados na literatura realizou tal avaliação de forma conjunta. O resultado desse estudo foi publicado no periódico *Multimedia Tools and Applications* [4].

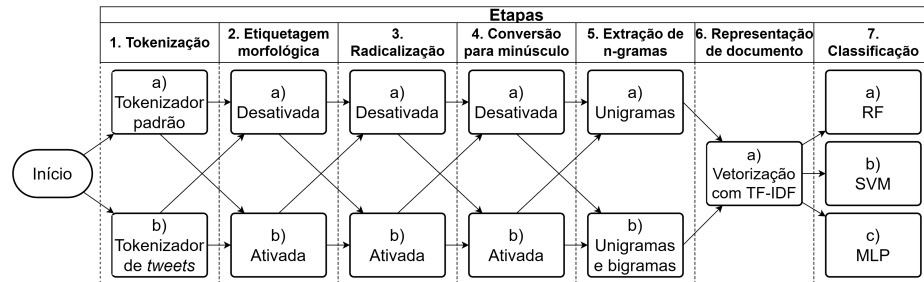
A partir da confirmação da importância de se encontrar uma pipeline adequada para resolver o problema de AS e da escassez de ferramentas disponíveis

para tal, a segunda contribuição deste trabalho foi a proposição de uma abordagem de Auto-ML para a tarefa de AS a partir de textos escritos em português (ver Seção 3). A abordagem proposta foi comparada com o serviço disponibilizado por meio da plataforma Google Cloud utilizando-se sete bases de dados públicas. Experimentos computacionais mostraram que a abordagem proposta apresentou desempenho preditivo equivalente ou superior àquele alcançado pelo serviço disponibilizado pela Google nas bases avaliadas.

## 2 Avaliação Conjunta de Tarefas de Pré-processamento com Classificadores

O objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação conjunta de tarefas de pré-processamento de texto com classificadores para o problema de AS a partir de textos escritos na língua portuguesa para responder as seguintes questões: **Q1)** Existe alguma combinação de tarefas de pré-processamento e classificador que seja sempre a melhor para qualquer base de dados?; **Q2)** Dada uma base de dados, existe uma combinação de tarefas de pré-processamento que seja sempre a melhor independentemente do classificador utilizado?; **Q3)** Quanto que diferentes combinações de tarefas de pré-processamento afetam o desempenho preditivo de um classificador?

A metodologia proposta para responder essas perguntas envolve a avaliação de todas as combinações de tarefas de pré-processamento (compostas por seis etapas de pré-processamento comumente utilizadas em AS) com classificadores. Cada combinação representa uma pipeline que é executada numa sequência pré-definida, conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1.** Representação das possibilidades de combinações de tarefas de pré-processamento e classificadores.

As etapas definidas para o pré-processamento do texto foram: tokenização, etiquetação morfológica, radicalização, conversão para minúsculo, extração de n-gramas e representação de documentos. Para cada uma dessas etapas, com exceção da representação de documentos, foram definidas duas possibilidades

distintas de execução. Por exemplo, para a etapa de tokenização existe a possibilidade de se utilizar um tokenizador simples ou um adaptado para *tweets*. Os classificadores Floresta Aleatória (RF), Máquina de Vetor de Suporte (SVM) e Perceptron Multi-camadas (MLP), frequentemente utilizados na literatura para AS, foram escolhidos para compor as combinações avaliadas neste estudo. Desse modo, para cada base de dados utilizada, foram avaliadas 96 combinações diferentes de etapas de pré-processamento associadas com classificadores.

A implementação da metodologia proposta foi realizada utilizando-se as ferramentas *open-source* Scikit-learn [6], NLTK [2] e Nlpnet [3]. Além disso, cinco bases de dados relacionadas com a tarefa de AS foram selecionadas para a realização dos experimentos computacionais. Utilizando-se dez repetições da técnica 10-validação cruzada estratificada, todas as combinações de tarefas de pré-processamento e classificadores foram avaliadas com cada uma das bases de dados selecionadas. O teste estatístico de Friedman (grau de confiança de 95%) foi utilizado para verificar se existiu diferença com significância estatística entre os desempenhos preditivos alcançados pelas diferentes combinações avaliadas.

As seguintes respostas para as questões de pesquisa previamente formuladas foram obtidas a partir da análise dos resultados dos experimentos realizados: **Resposta para Q1:** Para cada base de dados avaliada, os experimentos revelaram que existe um conjunto de combinações de tarefas de pré-processamento e classificador que são estatisticamente equivalentes (em termos de desempenho preditivo) à melhor combinação encontrada. Além disso, os resultados mostram que seis combinações distintas estão presentes entre as melhores de todas as bases de dados. **Resposta para Q2:** Verificou-se que não existe uma combinação de tarefas de pré-processamento que seja sempre a melhor independentemente do classificador utilizado. **Resposta para a Q3:** Para todos os classificadores utilizados neste estudo foi possível verificar que, para uma mesma base de dados, um classificador pode ter uma grande variação no seu desempenho quando combinado com diferentes conjuntos de tarefas de pré-processamento. Por exemplo, para uma das bases avaliadas a métrica F1 para o classificador MLP variou 12,5% dependendo da combinação de tarefas de pré-processamento utilizada.

### 3 Abordagem de Auto-ML Proposta

Auto-ML pode ser definido como o problema de Seleção de Algoritmo Combinada com Otimização de Hiper-parâmetros (*Combined Algorithm Selection and Hyperparameter Optimization* – CASH) [11]. Em resumo, CASH é o problema de busca por um algoritmo configurado com seus hiper-parâmetros que apresente um bom desempenho médio. Esse problema pode ainda ser incrementado para incluir um conjunto de algoritmos para realização de tarefas de pré-processamento. Nesse caso, o objetivo é encontrar uma pipeline que apresente bom desempenho. Dessa forma, uma pipeline é composta por um conjunto de algoritmos e seus respectivos hiper-parâmetros. Neste trabalho, a pipeline é composta pelo conjunto de algoritmos responsáveis pelo pré-processamento e classificação de textos com seus respectivos hiper-parâmetros.

Resumidamente, a abordagem proposta baseia-se no Algoritmo Evolutivo (AE) [1], usa Otimização Bayesiana (OB) para a otimização dos hiper-parâmetros dos métodos utilizados no pré-processamento de texto e do método de classificação, e faz uso das técnicas *Bootstrap Bias Corrected Cross-Validation* (BBC-CV) e *Bootstrap Bias Corrected with Dropping Cross-Validation* (BBCD-CV) apresentadas por [12] para as avaliações dos indivíduos do AE.

Com relação às técnicas de Auto-ML já existentes na literatura, a utilização de AE e OB não é uma novidade deste trabalho, sendo a utilização do BBC-CV e BBCD-CV o principal diferencial desta proposta. Eles foram utilizados para atacar dois problemas encontrados em abordagens de Auto-ML, a saber, o viés da avaliação de desempenho dos modelos treinados e o alto custo computacional para treinar muitos modelos.

Basicamente, o BBC-CV é usado para aumentar a precisão das estimativas de desempenho dos algoritmos a partir das previsões obtidas pelos modelos treinados por esses algoritmos. O BBC-CV reduz o viés encontrado na avaliação de seu desempenho preditivo sem aumentar significativamente o custo computacional necessário para tal. Reduzir esse viés é importante, pois a chance de encontrar um modelo super-ajustado aumenta ao se realizar a otimização de seus hiper-parâmetros. Além disso, o BBCD-CV é usado para interromper precocemente a avaliação de um algoritmo caso o seu desempenho nas primeiras partições de dados seja muito inferior ao dos algoritmos previamente avaliados, reduzindo assim o custo computacional do processo.

A avaliação da abordagem proposta foi realizada a partir de uma análise comparativa do seu desempenho preditivo com aquele obtido pela ferramenta *Google Cloud AutoML*. Nos experimentos realizados, a abordagem proposta usou as seguintes técnicas de pré-processamento e classificadores: conversor para minúsculo, etiquetador morfológico Nlpnet, agrupamento N-gram, radicalizador RSLP, seleção de atributos (tipo filtro), tokenizador de *tweets*, tokenizador simples, vetorizador TF-IDF, classificador MLP, classificador RF e classificador SVM.

Sete bases de dados relacionadas com a tarefa de AS e formadas por textos em português foram obtidas na *Web* para a avaliação da abordagem proposta. O serviço do Google e a abordagem proposta foram avaliados utilizando-se a técnica 10-validação cruzada estratificada em todas as bases de dados usando as mesmas partições de dados em ambas abordagens.

A partir dos resultados experimentais verificou-se que o desempenho preditivo da abordagem proposta é sempre equivalente ou superior ao da abordagem da Google. Considerando somente os resultados médios (sem a realização do teste estatístico) obtidos por cada abordagem para cada base de dados, a abordagem proposta foi superior à abordagem da Google em quatro bases de dados e inferior em outras três. Considerando-se os resultados do teste estatístico, a abordagem proposta foi superior à abordagem da Google para uma base de dados e equivalente para as demais bases. Por fim, considerando todas as bases de dados, o método proposto apresenta uma média de desempenho (micro-F1 = 80,8%) superior ao da abordagem da Google (micro-F1 = 80,3%).

## Referências

1. Bäck, T., Fogel, D.B., Michalewicz, Z. (eds.): *Evolutionary computation 1: Basic algorithms and operators*. Institute of Physics Publishing, Bristol, Inglaterra (2000)
2. Bird, S., Klein, E., Loper, E.: *Natural Language Processing with Python*. O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, Estados Unidos (2009)
3. Fonseca, E.R., Rosa, J.L.G.: *Mac-morpho revisited: Towards robust part-of-speech tagging*. In: 9th Brazilian Symposium in Information and Human Language Technology (STIL). SBC, Fortaleza, Brasil (2013)
4. Oliveira, D.N., Merschmann, L.H.C.: *Joint evaluation of preprocessing tasks with classifiers for sentiment analysis in brazilian portuguese language*. *Multimedia Tools Applications* **80**(10), 15391–15412 (2021)
5. Olson, R.S., Bartley, N., Urbanowicz, R.J., Moore, J.H.: *Evaluation of a tree-based pipeline optimization tool for automating data science*. In: 25th Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO). ACM, Denver, Estados Unidos (2016)
6. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., Duchesnay, E.: *Scikit-learn: Machine learning in Python*. *Journal of Machine Learning Research* **12**, 2825–2830 (2011)
7. Pereira, D.A.: *A survey of sentiment analysis in the portuguese language*. *Artificial Intelligence Review* **54**, 1087–1115 (2021)
8. Ribeiro, F.N., Araújo, M., Gonçalves, P., André Gonçalves, M., Benevenuto, F.: *SentiBench - a benchmark comparison of state-of-the-practice sentiment analysis methods*. *EPJ Data Science* **5**, 1–29 (2016)
9. de Sá, A.G.C., Pinto, W.J.G.S., Oliveira, L.O.V.B., Pappa, G.L.: *RECIPE: A grammar-based framework for automatically evolving classification pipelines*. In: 20th European Conference on Genetic Programming (EuroGP). Amsterdã, Holanda (2017)
10. Simons, G.F., Fennig, C.D. (eds.): *Ethnologue: Languages of the World*. SIL International, Dallas, Estados Unidos, 21 edn. (2018)
11. Thornton, C., Hutter, F., Hoos, H.H., Leyton-Brown, K.: *Auto-weka: combined selection and hyperparameter optimization of classification algorithms*. In: 19th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (SIGKDD). ACM, Chicago, Estados Unidos (2013)
12. Tsamardinos, I., Greasidou, E., Borboudakis, G.: *Bootstrapping the out-of-sample predictions for efficient and accurate cross-validation*. *Machine Learning* **107**, 1895–1922 (2018)

# Implementación de un Sistema de Detección de Intrusos Soportado en Técnicas de Aprendizaje Supervisado Orientado a Servicios en la Nube para la Detección de Ataques de Denegación de Servicios Distribuidos

José Albeiro Montes Gil, Néstor Darío Duque Méndez, Gustavo Adolfo Isaza Echeverry

[joamontesgi@unal.edu.co](mailto:joamontesgi@unal.edu.co), [ndduqueme@unal.edu.co](mailto:ndduqueme@unal.edu.co), [gustavo.isaza@ucaldas.edu.co](mailto:gustavo.isaza@ucaldas.edu.co)

***Abstract:** Actualmente las organizaciones buscan proteger su infraestructura tecnológica, datos e información de las diversas maneras que existen para realizar ataques informáticos. Uno de los ataques más comunes es el denominado Denegación de Servicios Distribuido (DDoS), dada su característica para afectar total o parcialmente un recurso. Los Sistemas de Detección de Intrusos (IDS) soportados con técnicas de aprendizaje supervisado surgen como una alternativa de solución ante los ataques DDoS, no obstante, la replicabilidad de estos sistemas no es trivial. En este trabajo, se propone un IDS soportado en técnicas de aprendizaje supervisado orientado a servicios en la nube para ataques DDoS, que les permita a los administradores de red usar un IDS sin necesidad de tener conocimientos avanzados en técnicas de inteligencia artificial.*

***Palabras claves:** IDS, DDoS, Orientado a Servicios.*

## Planteamiento del Problema

La Seguridad Informática es una disciplina que se encarga del bienestar de los activos tecnológicos, en particular haciendo referencia a los datos, información y la infraestructura tecnológica [1], sin embargo, en [2] se mencionan incidentes que afectan la seguridad de los activos, como por ejemplo phishing, virus o malware, fraude electrónico, inyección SQL y ataques DDoS. Con el fin de dar solución a esta problemática la Seguridad Informática plantea mecanismos de protección, como por ejemplo antivirus, firewalls, VPN, sistemas de detección basados en anomalías, sistemas de prevención y detección de intrusos, tal cual como se observa en [3].

Una de las estrategias planteadas para intentar dar solución a esta problemática, se conoce como Sistema de Detección de Intrusos (IDS); este componente permite detectar el tráfico potencialmente riesgoso en una red de datos [4]. El uso de técnicas de Inteligencia Artificial se establece como una propuesta válida para el diseño de Sistemas de Detección de Intrusos, tal como se observa en [5], [6], [7]. La implementación de IDS con Redes Neuronales Artificiales (ANN) ha permitido generar un avance en la tasa de detección de intrusos, teniendo en cuenta la capacidad de clasificación de las Redes Neuronales, como se plantea en [8], [9] y [10]. Las amenazas a las que se enfrentan los sistemas informáticos son diversas tanto por sus características como por el riesgo asociado. Algunas de estas son más relevantes lo que se refleja en las investigaciones y trabajos relacionados. El uso de IDS para la mitigación en ataques DDoS se puede observar en [11], [12], [13], [14]. Sin embargo, un espacio abierto está asociado con la construcción de sistemas o herramientas que permitan que los administradores de redes puedan aprovechar los avances en estos trabajos en beneficio concreto de sus instalaciones. Para lograr esto se requiere contar con características que faciliten su uso y garanticen el desempeño del sistema, arquitecturas orientadas a servicios que faciliten la integración con otros sistemas, interfaz gráfica y amigable y reportes visualmente claros y dinámicos son algunas de las características deseables. Las arquitecturas



orientadas a servicios mejoran la eficiencia en los procesos y reducen la carga en el mantenimiento de sistema y facilitan la adaptación e integración con otros sistemas. En la tabla 1 se observan algunas de las características deseables para la administración de un sistema de detección de intrusos [15] y su presencia en trabajos revisados.

*Tabla No 1: Indicadores para la implementación un IDS para DDoS*

Trabajo	Explicación sobre la propuesta	Propuesta orientada a servicios	Integración con otros sistemas	Código fuente	Validación con dataset	Interfaz gráfica	Reportes y gráficas dinámicas
[16]	x				x		
[17]					x		
[18]	x				x		
[19]	x				x		
[20]	x			x	x		
[11]	x				x		
[12]	x				x		
[13]	x		x		x		
[14]	x				x		

*Tabla 1: Fuente (Elaboración propia)*

Tal como se aprecia en la tabla 1, las propuestas generadas en torno a sistemas de detección de intrusos soportados en técnicas de aprendizaje supervisado, no se orientan a proveer características que faciliten la implementación o replicación por parte de administradores de redes de datos. En vista de la ausencia de propuestas de sistemas de detección de intrusos soportadas en aprendizaje supervisado, orientadas a servicios en la Nube, con fácil acceso al código fuente para reducir los tiempos en la replicación, con características de integración a otros sistemas y que cuenten con interfaz gráfica, generación de reportes y estadísticas, que facilite la administración e implementación por parte de los administradores de redes de datos, se plantean como retos en la presente investigación:

1. Diseño e implementación de la solución IDS basada en aprendizaje supervisado.
2. Experimentos con técnicas de aprendizaje supervisado aceptadas por la comunidad científica que resuelvan problemas de intrusiones, para evaluar su desempeño.
3. Diseño de la arquitectura orientada a servicios para el IDS.
4. Implementación del prototipo computacional de un IDS basado en aprendizaje supervisado en una arquitectura orientada a servicios en la Nube.
5. Validación funcional del sistema como servicio en la Nube ante ataques de denegación de servicios distribuidos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea la pregunta de investigación, **¿Cómo implementar un Sistema de Detección de Intrusos orientado a servicios en la Nube, usando Aprendizaje Supervisado para la detección de Ataques de Denegación de Servicios Distribuidos?**

### **Justificación**

La Seguridad Informática es una estrategia implementada para garantizar el bienestar de los activos tecnológicos como lo son los datos, la información y la infraestructura tecnológica; por esta razón se hace importante establecer mecanismos que permitan el correcto funcionamiento de las estrategias de seguridad. En [21] se mencionan algunas de las amenazas más comunes en ambientes organizacionales. Sin embargo, teniendo en cuenta que el uso de herramientas tecnológicas viene en aumento, estos factores de riesgo pueden incrementarse significativamente [22].

En vista del aumento en los ataques a infraestructuras tecnológicas [23] y en particular los ataques DDoS que afectan la disponibilidad de los servicios informáticos, es importante contar con mecanismos que permitan evitar que se concreten estos ataques. La implementación de IDS basados en aprendizaje supervisado, permitirá a los encargados de redes informáticas contar con mecanismos para aumentar los niveles de seguridad y minimizar la probabilidad de ocurrencia de un ataque, tal como se menciona en [24]. Además, contar con una arquitectura orientada a servicios en la Nube, expone estas posibilidades para que sean consumidas por los administradores de las redes en beneficio de sus instalaciones.

### **Objetivo General**

Implementar un Sistema de Detección de Intrusos (IDS) soportado en técnicas de aprendizaje supervisado, con una arquitectura orientado a servicios en la Nube para la detección de ataques de Denegación de Servicios Distribuidos (DDoS).

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la(s) técnica(s) de aprendizaje supervisado relevantes en detección de ataques DDoS.
- Diseñar la arquitectura del prototipo orientado a servicios.
- Implementar el prototipo computacional de un IDS basado en aprendizaje supervisado en arquitectura orientada a servicios en la Nube.
- Verificación y Validación de la implementación orientada a servicios del IDS con un dataset reconocido por la comunidad científica.

### **Metodología**

La metodología involucra los 2 componentes involucrados en la Tesis: Técnicas de análisis de Datos para sistemas IDS y el desarrollo de la arquitectura orientada a servicios que permita el uso de la solución. La metodología comprende las siguientes etapas:

Etapas 1: Revisión e identificación de la técnica de aprendizaje profundo más apropiada.

Etapas 2: Diseño de la arquitectura orientada a servicios.

Etapa 3: Diseño e implementación del Sistema de Detección de Intrusos propuesto  
Etapa 4: Validación del Sistema de Detección de Intrusos implementado como servicios en la Nube y aplicado en un dataset reconocido por la comunidad científica.

### Resultados Esperados y Avances

En esta investigación se espera analizar el dataset de validación para comprobar la precisión del IDS, de tal forma que se pueda generar una discusión en los diferentes medios de divulgación científica. En concreto, se definen las siguientes actividades:

- Revisión de técnicas de aprendizaje supervisado usados en detección de ataques DDoS.
- Establecer el funcionamiento de los ataques DDoS y de un IDS.
- Revisión y selección de frameworks para el desarrollo orientado a servicios en la nube.
- Definición de componentes en la arquitectura orientada a servicios.
- Implementación de técnica de aprendizaje supervisado con interfaz gráfica.
- Procesos de validación en el ambiente de pruebas.

Como parte del desarrollo de la Tesis se han realizado experimentos aplicando los algoritmos de Boruta y de Importancia de la Permutación para la Selección de Características del conjunto de datos CICIDS-2017. Se aplicó RandomForest como técnica de aprendizaje supervisado luego de realizar tareas de preparación de datos, en particular manejo de valores faltantes o inconsistentes y normalización de los valores de los atributos. De los 79 atributos del dataset CICIDS-2017, la aplicación de Boruta arroja 57 atributos como selección, mientras que el algoritmo de Importancia de la Permutación recomienda 15 características, luego de la normalización. Para reforzar este hallazgo se debe trabajar en la validación con otros datos de estos resultados. Estos resultados facilitan la aplicación de otras técnicas orientadas a la detección automática de los ataques DDos.

### Referencias

- [1] J. A. Figueroa, R. F. Rodríguez-Andrade, C. C. Bone-Obando, and J. A. Saltos-Gómez, "La seguridad informática y la seguridad de la información," *Polo del Conocimiento*, vol. 2, no. 12, p. 145, 2018, doi: 10.23857/pc.v2i12.420.
- [2] A. R. Almanza J., "XIX Encuesta Nacional de Seguridad Informática," *Revista SISTEMAS*, no. 151, pp. 12–41, 2019, doi: 10.29236/sistemas.n151a3.
- [3] J. J. Cano, "Seguridad de la información y privacidad: dos conceptos convergentes," 2012.
- [4] C. Rojas *et al.*, "Redes neuronales artificiales y estado del arte aplicado en la ciberseguridad State of the art artificial networks applied to cybersecurity," pp. 58–63, 2020.
- [5] M. Pawlicki, M. Choraś, and R. Kozik, "Defending network intrusion detection systems against adversarial evasion attacks," *Future Generation Computer Systems*, vol. 110, pp. 148–154, 2020, doi: 10.1016/j.future.2020.04.013.
- [6] I. Lafram, N. Berbiche, and J. El Alami, "Artificial Neural Networks Optimized with Unsupervised Clustering for IDS Classification," *ICSSD 2019 - International Conference on Smart Systems and Data Science*, 2019, doi: 10.1109/ICSSD47982.2019.9002827.
- [7] A. Abughazleh, M. Almiani, B. Magableh, and A. Razaque, "Intelligent intrusion detection using radial basis function neural network," *2019 6th International Conference on Software Defined Systems, SDS 2019*, pp. 200–208, 2019, doi: 10.1109/SDS.2019.8768575.
- [8] T. T. H. Le, Y. Kim, and H. Kim, "Network intrusion detection based on novel feature selection model and various recurrent neural networks," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 7, 2019, doi: 10.3390/app9071392.
- [9] N. Moukafih, G. Orhanou, and S. El Hajji, "Neural Network-Based Voting System with High Capacity and Low Computation for Intrusion Detection in SIEM/IDS Systems," *Security and Communication Networks*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/3512737.
- [10] Y. Xiao, C. Xing, T. Zhang, and Z. Zhao, "An Intrusion Detection Model Based on Feature Reduction and Convolutional Neural Networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 42210–42219, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2904620.

- [11] A. A. Sallam, M. N. Kabir, Y. M. Alginahi, A. Jamal, and T. K. Esmeel, "IDS for Improving DDoS Attack Recognition Based on Attack Profiles and Network Traffic Features," *Proceedings - 2020 16th IEEE International Colloquium on Signal Processing and its Applications, CSPA 2020*, no. Cspa, pp. 255–260, 2020, doi: 10.1109/CSPA48992.2020.9068679.
- [12] M. Almseidin and S. Kovacs, "Intrusion detection mechanism using fuzzy rule interpolation," *arXiv*, 2019.
- [13] P. Manso, J. Moura, and C. Serrão, "SDN-based intrusion detection system for early detection and mitigation of DDoS attacks," *Information (Switzerland)*, vol. 10, no. 3, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/info10030106.
- [14] A. Chaudhary and G. Shrimal, "Intrusion Detection System Based on Genetic Algorithm for Detection of Distribution Denial of Service Attacks in MANETs," *SSRN Electronic Journal*, pp. 370–377, 2019, doi: 10.2139/ssrn.3351807.
- [15] N. D. Pantoja, A. S. Donado, and M. K. Villalba, "Selección de indicadores para la implementación de un IDS en PYMES.," *Risti*, pp. 777–786, 2019.
- [16] M. Shurman, R. Khrais, and A. Yateem, "DoS and DDoS attack detection using deep learning and IDS," *International Arab Journal of Information Technology*, vol. 17, no. 4A Special Issue, pp. 655–661, 2020, doi: 10.34028/iajit/17/4A/10.
- [17] A. Davis, S. Gill, R. Wong, and S. Tayeb, "Feature Selection for Deep Neural Networks in Cyber Security Applications," pp. 1–7, 2020, doi: 10.1109/iemtronics51293.2020.9216403.
- [18] A. Rajapkar, P. Binnar, and F. Kazi, "Design of Intrusion Prevention System for OT Networks Using Deep Neural Networks," pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/icccnt49239.2020.9225339.
- [19] A. Krishna, M. A. Ashik Lal, A. J. Mathewkutty, D. S. Jacob, and M. Hari, "Intrusion Detection and Prevention System Using Deep Learning," *Proceedings of the International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, ICESC 2020*, no. Icesc, pp. 273–278, 2020, doi: 10.1109/ICESC48915.2020.9155711.
- [20] S. Rezvy, M. Petridis, A. Lasebae, and T. Zebin, *Intrusion detection and classification with autoencoded deep neural network*, vol. 11359 LNCS, no. January. Springer International Publishing, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-12942-2\_12.
- [21] Ciro. Dussan, "Políticas de la Seguridad Informática.," *Entramado Universidad Libre Colombia.*, vol. 2, no. 1., pp. 86-92., 2006.
- [22] S. Quiroz Tascón, J. Zapata Jiménez, and H. F. Vargas Montoya, "Predicción de ciberataques en sistemas industriales SCADA a través de la implementación del filtro Kalman," *TecnoLógicas*, vol. 23, no. 48, pp. 249–267, 2020, doi: 10.22430/22565337.1586.
- [23] J. Moreno, C. Rodríguez, and I. Leguías, "Revisión sobre propagación de ransomware en sistemas operativos Windows," *I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 1, pp. 39–45, 2020, doi: 10.33412/idt.v16.1.2438.
- [24] J. J. Marín Valencia, A. Patiño Valencia, and J. C. Acevedo Bedoya, "Ingeniería," *Revista Universidad Católica de Oriente*, vol. 31, no. 2020, pp. 84–99, 2020.

# Algoritmos de sumarización lingüística de datos para la ayuda a la toma de decisiones (Resumen tesis doctoral)

Iliana Pérez Pupo<sup>1</sup> [0000-0003-1433-0601]

Universidad de las Ciencias Informáticas (La Habana, Cuba, CP 54830)  
iperez@uci.cu, iliperezpupo@gmail.com

**Resumen.** Esta investigación propone nuevos algoritmos de generación de resúmenes lingüísticos a partir de datos estructurados que combinan técnicas de computación emergente como la teoría neutrosófica, conjuntos aproximados, el aprendizaje de reglas de asociación y de grafos probabilísticos, mejorando la eficacia de los algoritmos existentes. Los algoritmos propuestos también se combinan con lenguajes naturales controlados para facilitar la representación de los resúmenes en múltiples idiomas. También se proponen nuevas extensiones a los indicadores de evaluación de calidad de los resúmenes lingüísticos complementando a los reportados en la bibliografía, incorporando elementos de la teoría de conjuntos aproximados y de la teoría neutrosófica para mejorar el tratamiento de la indeterminación. Finalmente se demuestra en la validación que los algoritmos propuestos reportaron mejores resultados que los reportados en la bibliografía.

**Palabras claves:** Inteligencia Artificial, Soft Computing, Sumarización Lingüística de Datos.

## 1 Introducción

La Sumarización Lingüística de Datos (SLD) surge bajo la necesidad de representar en forma de oraciones, relaciones subyacentes como: correlaciones, tendencias, agrupaciones o anomalías [1] que existen en los datos de bases de datos estructuradas [2], mediante el uso de protoformas, facilitando por su naturaleza, la toma de decisiones, pues muestra de forma más legible y entendible a simple vista por los decisores, las dependencias no triviales ocultas en los datos, lo cual es uno de los problemas latentes en los procesos de toma de decisiones no estructuradas [3].

En esta tesis doctoral se desarrolla una revisión sistemática [4] [5] [6] [7], donde se analiza la eficacia de los algoritmos para la generación y evaluación de resúmenes lingüísticos. Entendiendo la eficacia como la capacidad de los algoritmos para generar resúmenes con calidad, interpretables y que faciliten la toma de decisiones bajo un enfoque multilingüe. En la bibliografía se identifican las siguientes limitaciones:

- Entre los enfoques fundamentales para la generación de resúmenes lingüísticos están el aprendizaje de reglas [3] y el basado en metaheurísticas [8]. Pero, estos no

---

<sup>1</sup> Tutores: Pedro Y. Piñero Pérez<sup>1</sup>[0000-0002-7635-8290], Rafael E. Bello Pérez<sup>2</sup>[0001-5567-2638]

explotan la información asociada a la correlación entre las variables y tienen un alto costo computacional. Incluso pueden generar resúmenes candidatos que no tienen una representación real en los datos afectando la eficacia y la eficiencia.

- La mayoría de los algoritmos en la bibliografía se concentran en la construcción de resúmenes que reflejen comportamientos frecuentes, pero no contemplan patrones que representen situaciones de baja frecuencia. Esto afecta su aplicabilidad en entornos donde se necesite detectar datos anómalos para la detección de fraudes, el aseguramiento de ingresos o la detección de errores en proyectos [9].
- Las protoformas clásicas, creadas inicialmente por Zadeh [10], han sido extendidas y adaptadas para su aplicación en disímiles escenarios [4], pero en su mayoría están diseñadas para construir resúmenes en inglés. Esta situación afecta la eficacia de los algoritmos para la generación de los resúmenes respecto a su interpretabilidad y presentación en múltiples idiomas.
- Los métodos para la evaluación de resúmenes lingüísticos solo consideran el grado de certeza en la información pero no incluyen el tratamiento de la indeterminación y la falsedad [11] que son otros fenómenos que aparecen en los entornos de toma de decisiones.

A partir de estos análisis se identifica como **problema de investigación**: ¿Cómo mejorar la eficacia de los algoritmos de sumarización lingüística de datos para la ayuda a la toma de decisiones?

Para resolver este problema de investigación se traza como **objetivo general**: Desarrollar nuevos algoritmos para la generación y evaluación de resúmenes lingüísticos que mejoren los indicadores de calidad de los resúmenes, el tratamiento de la indeterminación, la interpretabilidad y que faciliten la toma de decisiones bajo con un enfoque multilingüe. Además, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Construir un marco teórico referencial que permita identificar las tendencias en los métodos de generación, representación y evaluación de los resúmenes lingüísticos.
- Desarrollar nuevos algoritmos para la generación de resúmenes lingüísticos a partir de la hibridación de técnicas de soft computing mejorando: la evaluación de los resúmenes respecto a los indicadores de calidad, el tratamiento de la indeterminación, la interpretabilidad bajo un enfoque multilingüe.
- Desarrollar extensiones que mejoren los indicadores de evaluación de resúmenes lingüísticos respecto al tratamiento de la indeterminación.
- Validar los métodos propuestos a partir de la comparación de estos con otras técnicas reportadas en la bibliografía combinando métodos cualitativos y cuantitativos.

Para el desarrollo de la investigación se establece la siguiente **hipótesis**: el desarrollo de nuevos algoritmos para la generación de resúmenes lingüísticos y nuevos indicadores de evaluación de resúmenes bajo un enfoque multilingüe con centro en el tratamiento de la incertidumbre, mejorará la eficacia en la generación de los resúmenes lingüísticos y su aplicabilidad en la toma de decisiones.

Este trabajo está organizado en tres secciones. En la segunda sección se presentan algoritmos de generación de resúmenes lingüísticos y extensiones a los indicadores tradicionales de evaluación de los resúmenes. En la tercera sección se presenta los

resultados parciales de la validación de la investigación. Finalmente se presentan las conclusiones.

## 2 Nuevos métodos para la generación y evaluación de resúmenes lingüísticos

Como novedad de la investigación en la subsección 2.1 se proponen 4 nuevos algoritmos para generar resúmenes lingüísticos que combinan diferentes técnicas de *soft computing* y los lenguajes naturales controlados (LNC) [12], mejorando la eficacia de los algoritmos existentes. Además, también es novedad un conjunto de nuevos indicadores para la evaluación de la calidad de los resúmenes lingüísticos que mejoran el comportamiento de los indicadores tradicionales reportados en la bibliografía y que son presentados en la subsección 2.2.

### 2.1 Nuevos algoritmos para la generación de resúmenes lingüísticos

Algoritmo *PCA\_LDS*: Este algoritmo combina el análisis de componentes principales, el aprendizaje de reglas de asociación y los LNC para la generación de resúmenes lingüísticos. Los pasos fundamentales del algoritmo incluyen la aplicación del algoritmo PCA [13] para la generación de las componentes principales, estas son filtradas en función de su relevancia. Considerando la relevancia de los atributos que conforman cada componente seleccionada se generan reglas de asociación. Luego las reglas generadas son humanizadas y convertidas en resúmenes lingüísticos usando el lenguaje natural controlado establecido como parámetro.

Algoritmo *LPA\_LDS*: Este algoritmo combina los algoritmos de aprendizaje de grafos probabilísticos y los LNC para la generación de resúmenes lingüísticos. Los pasos fundamentales del algoritmo incluyen la aplicación del algoritmo *LPA* [14] para la generación de grafos probabilísticos. Por cada árbol generado se construyen resúmenes candidatos que luego son humanizados y convertidos en resúmenes lingüísticos usando el lenguaje natural controlado establecido como parámetro.

Algoritmo *RST\_LDS*: este algoritmo combina la teoría de conjuntos aproximados [15] y los LNC para la generación de resúmenes lingüísticos. Los pasos fundamentales del algoritmo incluyen la identificación de relaciones entre atributos que tengan una dependencia en grado  $k$  mayor a un valor fijado como umbral. Por cada conjunto de valores identificado se construyen resúmenes candidatos que luego son humanizados y convertidos en resúmenes lingüísticos.

En la tesis se analizan dos enfoques para la generación de resúmenes lingüísticos sobre datos anómalos. El primer enfoque aplica algoritmos como el *RST\_LDS* que permitan encontrar situaciones poco frecuentes en la base de datos e identificar, a partir de estos resúmenes, situaciones anómalas. El segundo enfoque parte de aplicar métodos para la detección de datos anómalos y luego generar resúmenes a partir de estos datos; en este segundo enfoque se propone el algoritmo *LDS\_Outliers*.

## 2.2 Nuevos indicadores para la evaluación de los resúmenes lingüísticos

Las extensiones que se proponen a los indicadores de calidad [6] [7] combinan elementos de la teoría de los conjuntos aproximados [16] [17] y la teoría neutrosófica [18]. De esta forma se logra que los indicadores de calidad de resumen, no solo consideren el tratamiento del grado de pertenencia, sino también el grado de indeterminación y de no pertenencia. La Tabla 1 muestra un resumen de la comparación de los indicadores.

**Tabla 1.** Resumen de comparación de los indicadores de calidad de resúmenes lingüísticos.

	Indicadores tradicionales				Indicadores extendidos propuestos							
	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$Te_{1a}$	$Te_{1b}$	$Te_{2a}$	$Te_{2b}$	$Te_{2c}$	$Te_{2d}$	$Te_3$	$Te_4$
Certidumbre	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Indeterminación							√	√	√			√
Falsedad							√	√		√		√
Umbral parametrizo					√	√	√	√	√	√	√	√

## 3 Análisis de resultados y validación

Para validar la investigación, se combinan métodos cualitativos y cuantitativos [19], se realizan pruebas paramétricas y no paramétricas comparando los algoritmos propuestos con tres algoritmos reportados en la bibliografía en 12 bases de datos:

- 7 bases de datos públicas en el Repositorio de Investigaciones en Gestión de Proyectos [20], asociadas a toma de decisiones en gestión de proyectos.
- 2 bases de datos relacionadas con auditorías realizadas a compañías del país.
- 2 bases de datos relacionadas con el tratamiento de embarazadas cardiopatas.
- 1 base de datos asociadas enfermos de covid-19 en Cuba.

Se realizan los siguientes conjuntos de pruebas:

Conjunto de pruebas 1. Comparación de los algoritmos propuestos con algoritmos de la bibliografía: algoritmo basado en reglas de asociación [3], basado en algoritmo genético [21] y en colonia de hormigas [8]. En este caso se compararon los resultados obtenidos respecto a los indicadores tradicionales ( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ ), a los indicadores extendidos ( $Te_{1a}, Te_{1b}, Te_3, Te_4, Te_5$ ), a la “Fortaleza de las dependencias” y al “Cubrimiento de diferentes situaciones en la base de datos”.

Conjunto de pruebas 2. Comparación de la eficiencia de los seis algoritmos respecto a la complejidad computacional y al tiempo de ejecución.

Conjunto de pruebas 3. Comparación de los algoritmos propuestos con los de la bibliografía respecto a su desempeño integral mediante el *Page L Trent Test* [22].

Conjunto de pruebas 4. Demostración de la aplicabilidad de los algoritmos propuestos para la toma de decisiones”. Para ello, los algoritmos propuestos se integran al meta-algoritmo *Hybrid\_LDS*, el cual se aplicó a dos casos de estudio de toma



de decisiones: sobre gestión de proyectos y embarazadas cardiópatas. Se aplican técnicas de análisis multicriterio con expertos de ambos escenarios.

Conjunto de pruebas 5. Análisis de los algoritmos propuestos respecto a su capacidad para la generación de resúmenes en los idiomas: español, inglés, árabe y japonés. Se seleccionan estas lenguas porque se dispone de especialistas que pueden validar la calidad de los resúmenes generados en estos idiomas.

Conjunto de pruebas 6. Comparación de los indicadores de calidad propuestos con los indicadores tradicionales considerando las medidas: capacidad para el tratamiento de la incertidumbre y comportamiento en diferentes escenarios de prueba. Para las comparaciones se simulan 29 posibles escenarios de prueba.

En estas pruebas se obtienen los resultados que muestran las conclusiones.

Como resultado de esta investigación se han logrado las siguientes publicaciones: 4 publicaciones en SCOPUS [23] [24] [25] [26] y 3 en SCIELO [20] [27] [28].

## Conclusiones

En la investigación se demuestra que los algoritmos *PCA\_LDS* y *RST\_LDS* superaron a los algoritmos reportados en la bibliografía en la mayoría de los experimentos, siendo el algoritmo *RST\_LDS* el que reportó los mejores resultados en el análisis global.

Los nuevos indicadores propuestos para la evaluación de los resúmenes complementan a los indicadores tradicionales reportados en la bibliografía, mejorando el tratamiento de la indeterminación y la falsedad. La introducción de conceptos como el parámetro  $\alpha$ -corte, la aproximación superior y la aproximación inferior en el cálculo de los indicadores, flexibiliza el rigor en la evaluación de calidad de los resúmenes lingüísticos.

Se demuestra la aplicabilidad de los algoritmos propuestos para la toma de decisiones a partir de dos casos de estudio y el empleo de métodos multicriterios.

Finalmente se valida la capacidad de los algoritmos propuestos para la generación de resúmenes lingüísticos en los idiomas español, inglés, japonés y árabe respecto a los criterios gramática, sencillez, legibilidad y ortografía. En la mayoría de los criterios, la evaluación fue entre alta y muy alta.

Como aporte práctico se incorporan los algoritmos propuestos a una biblioteca de análisis de datos para la ayuda a la toma de decisiones [28] y se publica un repositorio de bases de datos para el desarrollo de investigaciones en gestión de proyectos [20].

Como continuidad de la investigación, se propone aplicar los métodos de sumarización lingüística de datos en otros escenarios y ampliar la cantidad de idiomas, explotando su flexibilidad para la toma de decisiones.

Además, se propone continuar la investigación generando nuevos algoritmos basados en protoformas que potencien la integración de múltiples resúmenes y faciliten la generación de textos largos que apoyen la toma de decisiones.

## Referencias

- [1] J. Kacprzyk and S. Zadrozny, "On a fuzzy querying and data mining interface," *Kybernetika*, vol. 36, no. 6, pp. 657–670, 2000.
- [2] R. R. Yager, "On Linguistic Summaries of Data," *Knowledge Discovery in Databases*, pp. 378–389, 1991.
- [3] R. Dijkman and A. Wilbik, "Linguistic summarization of event logs – A practical approach," *Information Systems*, vol. 67, pp. 114–125, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.is.2017.03.009.
- [4] I. Pérez Pupo, P. Y. Piñero Pérez, N. Martín, and R. E. Bello Pérez, "Tendencias en la sumariación lingüística de datos," *Revista cubana de transformación digital*, vol. 2, no. 1, pp. 79–101, 2021.
- [5] R. R. Yager, "A new approach to the summarization of data," *Information Sciences*, vol. 28, no. 1, pp. 69–86, 1982, doi: 10.1016/0020-0255(82)90033-0.
- [6] L. A. Zadeh, "A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages," *Computers & Mathematics with applications*, vol. 9, no. 1, pp. 149–184, 1983.
- [7] J. Kacprzyk, "Fuzzy logic for linguistic summarization of databases," in *FUZZ-IEEE'99. 1999 IEEE International Fuzzy Systems. Conference Proceedings (Cat. No.99CH36315)*, 1999, vol. 2, pp. 813–818 vol.2, doi: 10.1109/FUZZY.1999.793053.
- [8] C. A. Donis-Díaz, R. Bello, et. al. "Using Ant Colony Optimization and Genetic Algorithms for the Linguistic Summarization of Creep Data," in *Intelligent Systems'2014*, Cham, 2015, pp. 81–92, doi: 10.1007/978-3-319-11313-5\_8.
- [9] G. F. Castro Aguilar, "Modelo para el aseguramiento de ingresos en organizaciones orientadas a proyectos basado en minería de datos anómalos," Doctoral, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, 2017.
- [10] L. A. Zadeh, "A prototype-centered approach to adding deduction capability to search engines—the concept of protoform," in *Intelligent Systems, 2002. Proceedings. 2002 First International IEEE Symposium*, 2002, vol. 1, pp. 2–3, doi: 10.1109/IS.2002.1044219.
- [11] J. A. L. García, A. B. Peña, et. al. "Project Control and Computational Intelligence: Trends and Challenges," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 320–335, 2017, doi: 10.2991/ijcis.2017.10.1.22.
- [12] T. Kuhn, "A Survey and Classification of Controlled Natural Languages," *Computational Linguistics, ISSN: 0891-2017*, vol. 40, no. 1, pp. 121–170, Mar. 2014, doi: 10.1162/COLI\_a\_00168.
- [13] A. Lasisi and N. Attoh-Okine, "Principal components analysis and track quality index: A machine learning approach," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 91, pp. 230–248, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.trc.2018.04.001.
- [14] M. Soto, "A single connected factorized distribution algorithm and its cost of evaluation," Doctorado, Instituto de Cibernética, Matemática y Física. Departamento Matemática Interdisciplinaria, Universidad de La Habana, Cuba, 2003.

- [15] R. Bello, R. Falcon, and J. L. Verdegay, *Uncertainty Management with Fuzzy and Rough Sets: Recent Advances and Applications*. Springer, 2019.
- [16] D. Dubois and H. Prade, "Rough fuzzy sets and fuzzy rough sets," *International Journal of General System*, vol. 17, no. 2–3, pp. 191–209, 1990, doi: 10.1080/03081079008935107.
- [17] R. Bello and J. L. Verdegay, "Rough sets in the Soft Computing environment," *Information Sciences, ISSN 0020-0255*, vol. 212, pp. 1–14, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.ins.2012.04.041.
- [18] F. Smarandache and S. Pramanik, *New Trends in Neutrosophic Theory and Applications, Volume II*, Pons., vol. II. Brussels, Belgium, EU: Infinite Study, 2018.
- [19] M. D. Moon, "Triangulation: A Method to Increase Validity, Reliability, and Legitimation in Clinical Research," *Journal of Emergency Nursing*, vol. 45, no. 1, pp. 103–105, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jen.2018.11.004.
- [20] P. Piñero, I. Pupo, C. C. Rivero Hechavarría, et. al. "Repositorio de datos para investigaciones en gestión de proyectos," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 13, no. 1, pp. 176–191, 2019.
- [21] C. A. Donis-Díaz, A. G. Muro, et. al. "A hybrid model of genetic algorithm with local search to discover linguistic data summaries from creep data," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 4, Part 2, pp. 2035–2042, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.eswa.2013.09.002.
- [22] N. J. Salkind, *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. SAGE, ISBN: 978-1-4129-1611-0, 2007.
- [23] I. Pérez, P. Y. Piñero, R. et. al. "Discovering Fails in Software Projects Planning Based on Linguistic Summaries," in *International Joint Conference on Rough Sets. Lecture Notes in Computer Science ISSN 0302-9743, Springer, 12179 LNAI, ISBN 978-3-030-52704-4*, 2020, pp. 365–375, doi: 10.1007/978-3-030-52705-1\_27.
- [24] I. P. Pupo, P. Y. P. Pérez, et. al. "Linguistic Summaries Generation with Hybridization Method Based on Rough and Fuzzy Sets," in *International Joint Conference on Rough Sets. Lecture Notes in Computer Science ISSN 0302-9743, Springer, 12179 LNAI*, 2020, pp. 385–397, doi: 10.1007/978-3-030-52705-1\_29.
- [25] I. Pérez, R. García Vacacela, et. al. "Experiencias en el uso de técnicas de soft-computing en la evaluación de proyectos de software," *Revista Investigación Operacional*, vol. 41, no. 1, pp. 106–117, 2020.
- [26] I. P. Pupo, P. Y. P. Pérez, et. al. "Extensions to Linguistic Summaries Indicators based on Neutrosophic Theory, Applications in Project Management Decisions," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 22, 2018.
- [27] I. Pérez, P. López, , et. al. "Construcción de resúmenes lingüísticos a partir rasgos de la personalidad y el desempeño en el desarrollo de software," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 12, pp. 135–150, 2018.
- [28] I. Pérez, O. Santos, et. al. "Descubrimiento de resúmenes lingüísticos para ayuda a la toma decisiones en gestión de proyecto," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 12, pp. 163–175, 2018.

# Desarrollo de métodos de recomendación grupal basada en contenido con aplicación en el sector turístico

Yilena Pérez Almaguer<sup>1</sup> and Raciél Yera Toledo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Holguín, Holguín, Cuba

<sup>2</sup> Universidad de Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba  
yilena@uho.edu.cu

**Resumen.** Los sistemas de recomendación son herramientas que ayudan a los usuarios a obtener información acorde a sus gustos y preferencias, en escenarios de sobrecarga de información. En el caso de los sistemas de recomendación grupales se encargan de sugerir determinados ítems que son preferidos por grupos de usuarios. La presente tesis doctoral en desarrollo realiza un análisis de las principales investigaciones enfocadas en esta área de estudio. Además propone tres modelos específicos para sistemas de recomendación grupales basados en contenido, considerando varios criterios para su diseño tales como el esquema de agregación de perfiles de usuario o de recomendaciones, la similitud usuario-ítem utilizada, el esquema de agregación de rankings, el método de recomendación individual intrínseco, entre otros. Se realiza una comparación entre los métodos propuestos, los cuales serán aplicados al caso de instalaciones hoteleras.

**Palabras claves:** Recomendación basada en contenidos, sistemas de recomendación grupal, turismo

## 1. Justificación del problema e investigaciones previas

En la actualidad la Web ha experimentado un crecimiento enorme, el uso de Internet está cada vez más extendido lo que provoca que sea más difícil gestionar la excesiva cantidad de información disponible en los sitios web. Esto puede hacer que los usuarios se sientan agobiados al intentar elegir el producto, contenido o servicio que cubre sus necesidades y gustos de una forma óptima (Schafer, Konstan et al. 2001).

Debido a ello, desde los años '90 han surgido herramientas de personalización que se utilizan para reducir la cantidad de información existente. Es así como surgen los sistemas de recomendación. En Recommender Systems Handbook (Ricci, Rokach et al. 2015), se plantea que los sistemas recomendadores están conformados por métodos y herramientas que brindan sugerencias a un usuario, sobre los ítems a ser utilizados por este. Estos sistemas tienen como tareas principales: (1) predecir ratings desconocidos, y (2) generar un listado con los ítems recomendados a consumir.

El uso de los sistemas de recomendación se ha extendido cada vez más en muchos sectores del entorno web entre los cuales se encuentra el e-commerce (De Pessemier, Dhondt et al. 2017), (De Pessemier, Dhondt et al. 2015), (Delic 2016), (Nilashi, bin

Ibrahim et al. 2015), siendo este uno de los primeros escenarios de aplicación de los sistemas recomendadores unido al e-learning (Yera and Martínez 2017).

Son los sistemas de recomendación una de las herramientas que facilitan a los turistas el acceso a la información de productos y servicios a la hora de visitar un destino (Nilashi, bin Ibrahim et al. 2015). Con ellos, se ofrecerán recomendaciones afines a sus gustos y preferencias. Según (Nilashi, Ibrahim et al. 2015) son muchas las aplicaciones web relacionadas con el turismo que incorporan sistemas de recomendación.

Un gran número de las investigaciones relacionadas con sistemas recomendadores están soportados por la recomendación basada en contenido (Lops, De Gemmis et al. 2011); (Pazzani and Billsus 2007), y la recomendación basada en filtrado colaborativo (Desrosiers and Karypis 2011); (Yera, Caballero et al. 2015).

La recomendación basada en contenido tiene como premisa recomendar al usuario activo aquellos ítems semejantes a los que el propio usuario ha consumido con anterioridad. El filtrado basado en contenido usualmente está conformado por tres etapas: el modelado del usuario, el modelado del ítem y luego determinar la función de similitud entre el perfil de usuario y el perfil del ítem (Adomavicius and Tuzhilin 2005).

Existe un gran número de investigaciones relacionadas con sistemas recomendadores individuales basados en contenido (Adomavicius and Tuzhilin 2005), (Lops, De Gemmis et al. 2011); (Pazzani and Billsus 2007); (Tkalčič, Burnik et al. 2010), alcanzando este tipo de sistemas un alto desarrollo investigativo. Sin embargo, más recientemente se han propuesto técnicas para el desarrollo de sistemas recomendadores grupales (De Pessemier, Dhondt et al. 2015), (Castro, Yera et al. 2016), (Castro, Yera et al. 2018), (Boratto and Carta 2010), (Castro, Lu et al. 2017), (Felfernig, Boratto et al. 2018), (Wang, Zhang et al. 2016). (De Pessemier, Dooms et al. 2014) las que identifican a un sistema de recomendación grupal como aquel centrado en recomendar ítems a un grupo de usuarios de forma colectiva, dada sus preferencias.

Actualmente se ha desarrollado un grupo importante de trabajos centrados en el desarrollo de sistemas recomendadores grupales basados en filtrado colaborativo (Ghazarian and Nematbakhsh 2015), (Castro, Yera et al. 2018), (Felfernig, Boratto et al. 2018), (Ortega, Hernando et al. 2016), (Mahyar, Ghalebi K et al. 2017). En contraste, en el caso de la recomendación grupal basada en contenido (Felfernig, Boratto et al. 2018), aún quedan muchas aristas por investigar partiendo de que existe limitación en escenarios con escasos valores de preferencias de los usuarios.

En este sentido, (Kassak, Kompan et al. 2016) proponen un recomendador híbrido para un grupo de usuarios a partir de las técnicas de recomendación basada en contenido y filtrado colaborativo. Autores como (De Pessemier, Dhondt et al. 2015) proponen un sistema recomendador híbrido que combina filtrado colaborativo con basado en contenido. (Pera and Ng 2013) se enfocan en proponer un sistema recomendador grupal de películas, basado en la similitud de contenido y en la popularidad.

De manera global, el análisis de los trabajos previos enfocados parcial o totalmente en la recomendación grupal basada en contenido, muestran una tendencia a cubrir dominios específicos como el turismo o las redes sociales (Quijano-Sánchez, Díaz-Agudo et al. 2014); (Khoshkangini, Pini et al. 2016), incorporando conceptos muy específicos de estos dominios, y por tanto carecen de poder de generalización. En adición, la mayoría de estos trabajos presentan sistemas híbridos que incorporan la dimensión

basada en contenido como uno de sus componentes, y por tanto no siguen el esquema general de este paradigma (Adomavicius and Tuzhilin 2005).

Esta ausencia de investigaciones en recomendación grupal basada en contenido, ha sido también sugerida por los trabajos de revisión recientes de recomendación grupal (Dara, Chowdary et al. 2020), (De Pessemier, Dooms et al. 2014), (Kompan and Bielikova 2014), en los que esta tarea de investigación ha sido poco mencionada.

## 2. Problema a resolver

Insuficiente desarrollo de métodos computacionales de recomendación grupal basados en contenido, con vistas a ser utilizados en escenarios con escasos valores de preferencias de los usuarios.

## 3. Objetivos e hipótesis de la investigación

La investigación tiene como **objetivo general** el de desarrollar métodos computacionales de recomendación grupal basados en contenido con vistas a ser utilizados en escenarios con poca cantidad de valores de preferencias de los usuarios.

Para darle cumplimiento al objetivo general se plantearon los **objetivos específicos** siguientes:

1. Desarrollar métodos generales para la recomendación grupal basada en contenido.
2. Desarrollar métodos avanzados para la recomendación grupal basada en contenido esencialmente basados en la combinación de los métodos generales obtenidos, y que mejoren el desempeño de estos.
3. Evaluar la eficacia de los métodos de recomendación grupal basados en contenido obtenidos, tanto en un escenario tradicional de recomendación como en un escenario con pocos valores de preferencias.
4. Aplicar los métodos de recomendación grupal basada en contenido obtenidos, en un escenario de recomendación de instalaciones hoteleras.

Se formularon las **hipótesis** siguientes:

H1: El desarrollo de métodos computacionales para la recomendación grupal basada en contenido, permitirá mejorar la eficacia en la obtención de recomendaciones en escenarios con poca cantidad de valores de preferencias de los usuarios, en relación con otros métodos tradicionales de recomendación.

H2: El desarrollo de un método de recomendación grupal basado en contenido avanzado, esencialmente basado en la combinación de los métodos generales inicialmente propuestos, es capaz de mejorar la eficacia individual de estos.

## 4. Contribuciones esperadas de la investigación

La propuesta de métodos computacionales de recomendación grupal basada en contenido, cuya eficacia es superior a la de otros métodos tradicionales del estado del arte en un escenario puntual de pocos valores de preferencias de usuarios, y en adición son

capaces de dar lugar a recomendaciones eficaces en un escenario puntual de recomendación de instalaciones hoteleras.

## 5. Evaluación de los resultados y presentación a la comunidad

La evaluación de los métodos propuestos se llevará a cabo utilizando protocolos de evaluación offline tradicionalmente empleados para evaluar métodos de recomendación grupal, guiados por métricas tradicionales para este escenario, como Precision y NDCG (Ricci, Rokach et al. 2015) (Castro, Yera et al. 2018). En adición los métodos obtenidos se aplicarán en un escenario de recomendación de instalaciones hoteleras.

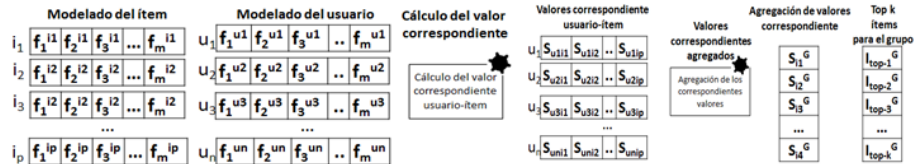
Los resultados obtenidos serán presentados a la comunidad a través de la participación en eventos y publicación en revistas reconocidas de área de investigación. Aquí es válido resaltar que los resultados preliminares de esta tesis doctoral han sido presentados en la Revista de Ciencia y Tecnología (Argentina) (Pérez-Almaguer, Martín-Dueñas et al. 2021), y en la revista Expert Systems with Applications (Pérez-Almaguer, Yera et al. 2021).

## 6. Resultados esperados y alcanzados

Como resultados preliminares de esta investigación se han obtenido los siguientes modelos (Pérez-Almaguer, Yera et al. 2021) :

1. Un sistema recomendador grupal basado en contenido (SRG-BC) soportado por agregación de recomendación y ranking individual, construido sobre (De Pessemier, Dhondt et al. 2015), donde los rankings de los usuarios individuales son combinados dentro de la recomendación grupal con una técnica de agregación de ranking.

2. Un SRG-BC soportada por agregación de recomendación y similitud usuario-ítem con agregación mínima (Figura 1), construido sobre las propuestas de (Kassak, Kompan et al. 2016), donde los autores generan recomendaciones para cada miembro del grupo, y la agregación de la recomendación individual en el grupo listada por la combinación individual. Además, (De Pessemier, Dhondt et al. 2015) también consideran la agregación de los miembros del grupo para generar recomendación grupal.



**Fig. 1.** SRG-BC soportada por agregación de recomendación y similitud usuario-ítem con agregación mínima.

3. Un SRG-BC soportado por agregación de perfiles de usuarios, está construida por las propuestas de (Quijano-Sánchez, Díaz-Agudo et al. 2014), (Pera and Ng 2013), el cual toma parte de las características comunes de los usuarios para construir un perfil grupal que agrega las preferencias individuales de los usuarios en el grupo (Figura 2).



Fig. 2. SRG-BC soportada por agregación de perfiles de usuarios.

El desarrollo de una comparación entre los enfoques presentados, concluyó que la recomendación grupal basada en ranking tiene en cuenta una comprensión más fácil de la generación de recomendación, aunque esta introduce también pérdida de información. Por otro lado, el SRG-BC soportado por agregación de recomendación y similitud usuario, aunque no tiene este problema de pérdida de información, es menos transparente y por tanto difícil de comprender. Finalmente, el SRG-BC soportada por agregación de perfiles de usuarios permite la generación de recomendaciones de una forma más directa considerando que es el único perfil involucrado, aunque por tanto esto también implica pérdida de información.

La evaluación experimental de estas propuestas, usando las bases de datos Movielens y MovieTweeting (Pérez-Almaguer, Yera et al. 2021), mostró que el paradigma de agregación de recomendaciones tuvo el mejor desempeño en este escenario, y que las propuestas tienden a mejorar su precisión para listas de recomendación y grupos más grandes. En adición, la cita experimentación mostró que las propuestas poseen un desempeño superior al de un método de recomendación grupal basado en filtrado colaborativo, en un contexto de poca disponibilidad de valores de preferencias.

Entre las **líneas de trabajos futuros** para complementar estos resultados preliminares se encuentran: 1) El desarrollo de un método de recomendación grupal híbrido basado en contenidos soportado por la hibridación de agregación de recomendación y agregación de perfiles de usuarios, y 2) la aplicación de los métodos de recomendación grupal basados en contenido propuestos al caso de las instalaciones hoteleras.



## Referencias

1. Adomavicius, G. and A. Tuzhilin. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering* 17, 734-749. (2005)
2. Boratto, L. and S. Carta. State-of-the-art in group recommendation and new approaches for automatic identification of groups. *Information retrieval and mining in distributed environments*, Springer: 1-20. (2010)
3. Castro, J., J. Lu, et al. Opinion dynamics-based group recommender systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*(99): 1-13. (2017)
4. Castro, J., R. Yera, et al. A fuzzy approach for natural noise management in group recommender systems. *Expert Systems with Applications* 94, 237-249. (2018)
5. Dara, S. Chowdary, C. & C. Kumar. A survey on group recommender systems. *Journal of Intelligent Information Systems* 54, 271-295. (2020)
6. De Pessemier, T., J. Dhondt, et al. Hybrid group recommendations for a travel service. *Multimedia Tools and Applications* 76(2), 2787-2811. (2017)
7. De Pessemier, T., J. Dhondt, et al. TravelWithFriends: a hybrid group recommender system for travel destinations. *Workshop on Tourism Recommender Systems (TourRS15)*, in conjunction with the 9th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys 2015). (2015)
8. De Pessemier, T., S. Dooms, et al. Comparison of group recommendation algorithms. *Multimedia tools and applications* 72(3), 2497-2541. (2014)
9. Delic, A. Picture-based Approach to Group Recommender Systems in the E-Tourism Domain. *Proceedings of the 2016 Conference on User Modeling Adaptation and Personalization*, ACM. (2016)
10. Desrosiers, C. and G. Karypis. A comprehensive survey of neighborhood-based recommendation methods. *Recommender systems handbook*, Springer: 107-144. (2011)
11. Felfernig, A., L. Boratto, et al. *Group Recommender Systems: An Introduction*, Springer. (2018)
12. Ghazarian, S. and M. A. Nematbakhsh. Enhancing memory-based collaborative filtering for group recommender systems. *Expert systems with applications* 42(7), 3801-3812. (2015)
13. Kaššák, O., M. Kompan, et al. Personalized hybrid recommendation for group of users: Top-N multimedia recommender. *Information Processing & Management* 52(3), 459-477. (2016)
14. Khoshkangini, R., Pini, M.S., & Rossi, F. A self-adaptive context-aware group recommender system. *Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence* (pp. 250–265). Springer. (2016)
15. Kompan, M. & Bielikova, M.. Group recommender systems: survey and experiments. *Computing and Informatics* 33, 1-13. (2014)
16. Lops, P., M. De Gemmis, et al. Content-based recommender systems: State of the art and trends. *Recommender systems handbook*, Springer: 73-105. (2011)
17. Mahyar, H., E. Ghalebi K, et al. Centrality-based group formation in group recommender systems. *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*, International World Wide Web Conferences Steering Committee. (2017)
18. Nilashi, M., O. bin Ibrahim, et al. A multi-criteria collaborative filtering recommender system for the tourism domain using Expectation Maximization (EM) and PCA-ANFIS. *Electronic Commerce Research and Applications* 14(6), 542-562. (2015)
19. Ortega, F., A. Hernando, et al. Recommending items to group of users using matrix factorization based collaborative filtering. *Information Sciences* 345, 313-324. (2016)

20. Pazzani, M. J. and D. Billsus Content-based recommendation systems. *The adaptive web*, Springer: 325-341. (2007)
21. Pera, M., & Ng, Y. A group recommender for movies based on content similarity and popularity. *Information Processing and Management*, 49, 673–687. (2013)
22. Pérez-Almaguer, Y., Martín-Dueñas, N., et al. Una revisión de los sistemas recomendadores grupales como herramienta innovadora en el área del turismo. *Revista de Ciencia y Tecnología* 35, 44–53. (2021)
23. Pérez-Almaguer, Y., Yera, R., et al. Content-based group recommender systems: a general taxonomy and further improvements. *Expert Systems with Applications*. S0957-4174(21)00858-7. (2021)
24. Quijano-Sanchez, L., Recio-Garcia, J.A., & Diaz-Agudo, B. An architecture and functional description to integrate social behaviour knowledge into group recommender systems. *Applied Intelligence*, 40, 732–748. (2014)
25. Ricci, F., L. Rokach, et al. Recommender systems: introduction and challenges. *Recommender systems handbook*, Springer: 1-34. (2015)
26. Schafer, J. B., J. A. Konstan, et al. E-commerce recommendation applications. *Data mining and knowledge discovery* 5(1-2), 115-153. (2001)
27. Tkalčić, M., U. Burnik, et al. "Using affective parameters in a content-based recommender system for images." *User Modeling and User-Adapted Interaction* 20(4), 279-311. (2010)
28. Wang, W., G. Zhang, et al. Member contribution-based group recommender system. *Decision Support Systems* 87, 80-93. (2016)
29. Yera, R., Y. Caballero, et al. Correcting noisy ratings in collaborative recommender systems. *Knowledge-Based Systems* 76, 96–108. (2015)
30. Yera, R., J. Castro, et al. A fuzzy model for managing natural noise in recommender systems. *Applied Soft Computing* 40, 187–198. (2016)
31. Yera, R. and L. Martínez . A recommendation approach for programming online judges supported by data preprocessing techniques. *Applied Intelligence* 47,277–290. (2017)

# Similarity Notions in Bipolar Abstract Argumentation <sup>\*</sup>

Paola D. Budán<sup>1</sup>[0000-0002-7688-6181], Thesis Advisors: Guillermo R. Simari<sup>2</sup>[0000-0001-6247-0428], and María V. Martínez<sup>3,4</sup>[0000-0003-2819-4735]

<sup>1</sup> National University of Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina

<sup>2</sup> National University of the South, Bahía Blanca, Argentina

<sup>3</sup> University of Buenos Aires

<sup>4</sup> CONICET

pbudan@unse.edu.ar, grs@cs.uns.edu.ar, mvmartinez@dc.uba.ar

**Abstract.** The notion of similarity has been studied in Computer Science. In a general sense, this concept is defined to provide a measure of the semantic equivalence between two pieces of knowledge, expressing how “close” their meaning can be regarded. In this work, we study similarity as a useful tool to improve the representation of arguments, characterize the relations between arguments as cohesion or controversy, and enhance the semantic evaluation associated with the arguments in the argumentative process. To do this, we detail a method based on elements called descriptors that provide additional domain information about the arguments and use them to specify a notion of context that serves to compare pieces of knowledge in a significant way.

**Keywords:** Similarity · Controversy Relation · Cohesion Relation · Descriptors.

## 1 Problem Description and Research Objectives

Human common sense reasoning involves, on many occasions, a process of analysis over a set of (potentially contradictory) alternatives and the evaluation of their support. The study of such cognitive processes has led to the development of several formalisms. In this direction, argumentation has become a topic of significant impact in the field of *Artificial Intelligence*. The basic idea is to identify arguments in favor and against an affirmation and then select which arguments are acceptable among them, intending to resolve whether the reasoner can accept the assertion. Several argument-based formalisms have emerged to study the various possible relations among arguments. Particularly, Cayrol and Lagasque-Schiex in [10] extended Dung’s framework [12] taking into account two independent types of interaction between arguments by adding the relation of *support* to the original relation of *attack* in abstract argumentation frameworks. The resulting *Bipolar Argumentation Frameworks* (BAF) allows to model

---

<sup>\*</sup> Supported by National University of Santiago del Estero & National University of the South.

situations in which an argument can, for instance, reinforce another argument providing more reasons to believe in it; moreover, they adapt Dung’s acceptability semantics, adding the consideration of the support relationship. However, several representational aspects of the argumentation process still require further study. For example, a very natural tool for argument-based reasoning is the notion of *similarity* among arguments: during an argumentation process, we sometimes tend to group arguments according to their shared characteristics or to the topics to which they refer [26, 28, 27]. We consider that since computational argumentation aims to define useful systems based on common sense, it seems reasonable and desirable to formalize the notion of similarity between arguments. This formalization will allow us to provide some future computable way to incorporate a natural reasoning mechanism to obtain acceptable and safe conclusions, considering the shared information between the arguments. Similarity relations between arguments have not been deeply explored in argumentation literature. We can find some approximations [2, 1, 20, 21] but they are domain-dependent in several aspects. Our interest is in developing a more general measure of similarity between arguments.

The main objectives of our research are: To formalize the concept of similarity between arguments expressed in natural language, propose a general mechanism to determine the similarity degree between arguments of an argumentative system and find the acceptable and safe sets of similar arguments. Notice that similarity between a pair of arguments can be judged differently by each user, and consequently, the argumentation process where the relations between arguments are analyzed should reflect this important aspect. Although the perceived similarity among arguments is not the only tool that can be used to define the strength of the relations of support and attack, it provides a natural alternative that can help to weigh the relationships based on the (dis)similarity of the different situations in which the arguments are issued.

## 2 Related Works

The notion of *similarity* has been widely studied in terms of its meaning and usage [17, 16, 22, 11]. The pioneering works address the treatment of the similarity as mathematical proportions to represent common behaviors and experimental effects in scientific models [17]. In [24], Sowa used an estimation function and conceptual graphs to find the differences between the arguments. In a refinement of Hesse’s idea, Walton [29] points out that it is not easy to clearly define the comparison between arguments as this requires interpreting the similarities and differences between them at various levels. In [25] the authors proposed a process for comparing two sets of words or entities to find semantic similarities between them using ontologies. The authors used the *cosine similarity measures* to represent each entity by a set of weighted terms that describes it. In a similar direction, in [23], is presented a summary of the different metrics that can be used to determine the similarity between concepts over ontologies. More recently, in [20, 21] the authors studied the use of paraphrased phrases in the summaries

that provide websites, based on labels that represent essential aspects of arguments or *argument facet*. Although the term *argument facet* is equivalent to the *context* in our work, the focus on [20, 21] is different from our propose, since our principal contribution is at the conceptual level, regardless of the various techniques that can be used. In [15], the authors used techniques based on the manipulation of distances in graphs to determine the similarity between text documents in the biomedical domain. In [1], the authors explore several similarity measures between logical arguments and define a very general function as a similarity measure; then, they define a set of similarity measure principles. In this case, the arguments are expressed as logical entities, and the syntactic similarity between two arguments is calculated using an extension of the Jaccard measure [18]. This novel approach expressed arguments as logical entities, in a different form from the arguments considered in our proposal, which make, for instance, postulates not being directly translatable for our similarity functions. In [4] the authors present a different approach based on graphs. From the automatic exploration of texts from the web, they devise a mechanism to process the information derived from them. The explored texts are the type argumentative, and they have active content about the topic under discussion. Translating text into arguments is essential to operate with argumentative machines since they are devices capable of reasoning from information structured in this way. The exploration of these and other works was very valuable for our research. Especially with regard to the similarity expressed as a mathematical function [18, 17, 16]. However, the investigations that were found to measure similarity between the arguments are either dependent on the application domain [15], or they refer to arguments expressed as logical propositions [2, 1], or they address a graph-mechanism approach [3, 5, 4]. However, we intend to propose a similarity measure based on the *context* in which the argumentative process takes place. Two arguments can be similar in a specific comparison context, but they can be different if the conditions under which they are compared change.

### 3 Previous Research

BUDÁN, PAOLA D., BUDÁN, MAXIMILIANO C., AND SIMARI, GUILLERMO R. An approach to argumentation schemes that appeal to expert opinion. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial* 16, 52 (2013), 52–64. [6] It constitutes a first approximation to a more computable form for an Argumentation Scheme (AE) that appeals to the Expert Opinion [28]. Although it is not related to the introduction of similarity in the argumentative process, it does constitute an antecedent for reasoning modeling.

BUDÁN, PAOLA D., MARTINEZ, M. VANINA, BUDÁN, MAXIMILIANO C. D., AND SIMARI, GUILLERMO R. Introducing analogy in abstract argumentation. *WL4AI-2015* (2015), 25.[8] We presented an *Analogy Argumentation Framework* to provide computational structure to the AE based on Analogies [28]. We introduced the *descriptors* or aspects referred to by an argument and the notion of *context constraints* that allow us comparing arguments. However, no mechanism is provided to order these

context constraints. We outlined a very general similarity function to interpret the analogy relation between arguments.

BUDÁN, PAOLA D., BUDÁN, MAXIMILIANO C. D., MARTINEZ, M. VANINA, AND SIMARI, GUILLERMO R. Introducing a context-aware scheme in an intelligent reasoning process. In *XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016)* (2016). [7] We defined a mechanism to establish preferences between the descriptors of the arguments in a specific application domain and we redefined the analogy relation presented in [8] using preferences that allow us to order a context to make the comparison between arguments. This new perspective was used to propose a computational evolution of Argumentation Schemes by Analogy [28], called *Context-Aware Scheme*.

BUDÁN, PAOLA D., ESCAÑUELA GONZALEZ, MELISA G., BUDÁN, MAXIMILIANO C. D., MARTINEZ, M. VANINA, AND SIMARI, GUILLERMO R. Similarity notions in bipolar abstract argumentation. *Argument & Computation* 11, 1-2 (2020), 103–149. [9] We redefined analogy and similarity concepts, proposing a measure of similarity between arguments. With this measure we characterized the relationship between these abstract discursive entities. The similarity was used to characterize the degree of coherence and controversy that exists in a set of arguments that are related through support and attacks, respectively. With these elements, we defined a *Framework of Argumentation Valuated by Similarity*, and a set of semantics derived from considering the coherence and controversy of the set of arguments.

## 4 Contribution

We propose a novel mechanism for determining the similarity between arguments, based on labels or *descriptors* which represent aspects that an argument refers to. This mechanism involves a comparison process guided by a *context*, which determines the set of descriptors and a relevance relation among them. With these elements, we proposed a similarity function between arguments, which we later use to measure the *controversy* of attacks and the *cohesion* of supports in BAF. Thus, we can represent and determine similarities between arguments introducing means to enrich the representation of the relationships between them and to be able to distinguish among arguments that are weakly related from those whose relationship is stronger. In this direction, we use an arguments' similarity degree, computed from the descriptors that arguments have in common, combined with the weight those descriptors have in the process comparison. Thus, we determine a *cohesion value* between supporting arguments and a *controversy value* between conflicting arguments. It is important to remark that the descriptors attached to arguments are additional knowledge representation devices added by this proposal. The basic assignment of the particular values to the descriptors is a task that can be performed differently. On the one hand, this can be performed by hand by a knowledge engineer; on the other hand,

several tools have been introduced in the computational argumentation field by the research of argument mining techniques, for which we will provide references below since the topic is outside the scope of this work.

These valuations, applied to abstract argumentation frameworks, allowed us to define a *Similarity-based Bipolar Argumentation Framework* (S-BAF), refining the acceptability process provided by a BAF to obtain a new family of argumentation semantics. This addition is useful in determining how strong the support is for an attacking argument; this is relevant in domains where it is necessary to consider arguments that have weak opinions against but maybe dismissed under existing argumentative approaches. Our proposal allows for a more fine-grained analysis among arguments relationships. It is important to note that Natural Language Processing techniques are beyond the scope of this research, but future advances in the state of the art of the subject will help generate more robust implementations of frameworks similar to the one presented here.

### Results Dissemination

We plan to determine how a substantial part of this formalism can be implemented using Natural Language Processing and Argument Mining techniques as part of our future work. So far, we have a detailed preliminary research developed to obtain an S-BAF. This move will allow us to get annotated datasets from social media using descriptors. The obtained results will be published in scientific journals.

## 5 Conclusion and Future Work

We have introduced a *S-BAF*, considering the context of the comparison and the similarity degree between arguments. Under this perspective, we identified arguments weakly related to those whose relationship is stronger. We proposed a mechanism to find acceptable sets of similar arguments with a certain degree of acceptability with these elements. However, although the mechanisms, the functions that we developed, and the dozen propositions we enunciated are quite intuitive, we can find some points that need further analysis and development in our work. First, the similarity measure is dependent on the descriptors of the arguments, and obtaining those descriptors involves very specialized argument mining techniques. Second, for future work, we plan to implement the algorithm to value an argumentative framework with the similarity degree that would allow us to measure the computational complexity cost for the proposal. Furthermore, this work requires interaction with specific domain experts, able to determine how successful relationships can be automatically found.

Future work presents different possibilities, such as the development of an implementation of S-BAF by using the existing DeLP [13, 14, 19] system as a basis<sup>5</sup>. The resulting implementation will be applied to different domains that

<sup>5</sup> See <http://lidia.cs.uns.edu.ar/delp>

require modeling decision support systems associated with context restrictions that model the users' preferences. Furthermore, we are working on generalizing the function of similarity in such a way as to contemplate more broad domains. Another area of work to explore is the refinement of the formalization of a language of descriptors, more comprehensive than a set of descriptors. Formalizing such language can be especially useful when the argument mining techniques returns, for example, values as *go\_out* and *not\_go\_out*. However, it is highly dependent on the results from the argument mining, exceeding the treatment of similarity in itself. On the other hand, the similarity measure accompanied by the functions of cohesiveness and controversy presented will be evaluated as tools to automate the detection of support and attack between arguments.

## References

1. Leila Amgoud and Victor David. Measuring similarity between logical arguments. In *Sixteenth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, 2018.
2. Leila Amgoud and Victor David. A general setting for gradual semantics dealing with similarity. In *Thirty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2021, Thirty-Third Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence, IAAI 2021, The Eleventh Symposium on Educational Advances in Artificial Intelligence, EAAI 2021, Virtual Event, February 2-9, 2021*, pages 6185–6192, 2021.
3. Ralph Bergmann and Yolanda Gil. Similarity assessment and efficient retrieval of semantic workflows. *Information Systems*, 40:115–127, 2014.
4. Ralph Bergmann, Mirko Lenz, Stefan Ollinger, and Maximilian Pfister. Similarity measures for case-based retrieval of natural language argument graphs in argumentation machines. In *Proceedings of the 32nd International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, FLAIRS*, 2019.
5. Ralph Bergmann, Ralf Schenkel, Lorik Dumani, and Stefan Ollinger. Recap-information retrieval and case-based reasoning for robust deliberation and synthesis of arguments in the political discourse. In *LWDA*, pages 49–60, 2018.
6. Paola D Budán, Maximiliano CD Budán, and Guillermo R Simari. An approach to argumentation schemes that appeal to expert opinion. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 16(52):52–64, 2013.
7. Paola D Budán, Maximiliano Celmo David Budán, Maria Vanina Martinez, and Guillermo Ricardo Simari. Introducing a context-aware scheme in an intelligent reasoning process. In *XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016)*, 2016.
8. Paola D. Budán, Maria Vanina Martinez, Maximiliano C. D. Budán, and Guillermo R. Simari. Introducing analogy in abstract argumentation. *WL4AI-2015*, page 25, 2015.
9. Paola Daniela Budán, Melisa Gisselle Escañuela Gonzalez, Maximiliano Celmo David Budán, Maria Vanina Martinez, and Guillermo Ricardo Simari. Similarity notions in bipolar abstract argumentation. *Argument & Computation*, 11(1-2):103–149, 2020.
10. Claudette Cayrol and Marie-Christine Lagasquie-Schiex. On the acceptability of arguments in bipolar argumentation frameworks. In *Symbolic and quantitative approaches to reasoning with uncertainty*, pages 378–389. Springer, 2005.
11. Hofstadter Douglas and Emmanuel Sander. Surfaces and essences: Analogy as the fuel and fire of thinking, 2013.



12. P.M. Dung. On the acceptability of arguments and its fundamental role in non-monotonic reasoning, logic programming and n-person games. *AI*, 77(2):321–357, 1995.
13. Alejandro J. García and Guillermo R. Simari. Defeasible logic programming: An argumentative approach. *Theory and practice of logic programming*, 4(1+ 2):95–138, 2004.
14. Alejandro J. García and Guillermo R. Simari. Defeasible logic programming: Delp-servers, contextual queries, and explanations for answers. *Argument & Computation*, 5(1):63–88, 2014.
15. Vijay N. Garla and Cynthia Brandt. Semantic similarity in the biomedical domain: an evaluation across knowledge sources. *BMC bioinformatics*, 13(1):261, 2012.
16. Dedre Gentner, Keith James Holyoak, and Boicho N Kokinov. *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*. MIT press, 2001.
17. M.B. Hesse. *Models and analogies in science*, volume 7. University of Notre Dame Press Notre Dame, 1966.
18. Paul Jaccard. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.*, 44:223–270, 1908.
19. Mario A. Leiva, Gerardo I. Simari, and Alejandro Garcia. Towards effective and efficient approximate query answering in probabilistic delp (short paper). In *Proceedings of the Workshop on Advances In Argumentation In Artificial Intelligence 2020 co-located with the 19th International Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence (AIXIA 2020), Online, November 25-26, 2020*, pages 103–109, 2020.
20. Amita Misra, Brian Ecker, and Marilyn A. Walker. Measuring the similarity of sentential arguments in dialogue. In *Proceedings of the SIGDIAL 2016 Conference, The 17th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue, 13-15 September 2016, Los Angeles, CA, USA*, pages 276–287, 2016.
21. Amita Misra, Brian Ecker, and Marilyn A. Walker. Measuring the similarity of sentential arguments in dialog. *CoRR*, abs/1709.01887, 2017.
22. Henri Prade and Gilles Richard. *Computational Approaches to Analogical Reasoning: Current Trends*, volume 548. Springer, 2014.
23. Delia Rusu, Blaž Fortuna, and Dunja Mladenić. Measuring concept similarity in ontologies using weighted concept paths. *Applied Ontology*, 9(1):65–95, 2014.
24. J.F. Sowa and A.K. Majumdar. Analogical reasoning. In *Conceptual Structures for Knowledge Creation and Communication*, pages 16–36. Springer, 2003.
25. Rajesh Thiagarajan, Geetha Manjunath, and Markus Stumptner. Computing semantic similarity using ontologies. *HP Laboratories*). *Technical report HPL-2008-87*, 2008.
26. D. Walton. *Fundamentals of critical argumentation*. Cambridge Univ Press, 2006.
27. D. Walton. Similarity, precedent and argument from analogy. *Artificial Intelligence and Law*, 18(3):217–246, 2010.
28. D. Walton, C. Reed, and F. Macagno. *Argumentation Schemes*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2008.
29. Douglas Walton. Story similarity in arguments from analogy. *Informal Logic*, 32(2):190–221, 2012.

# Algoritmos de estimación de distribuciones con tratamiento de restricciones para la construcción de cronogramas de proyectos

Gaafar Sadeq S. Mahdi<sup>1</sup>[0000-0003-4834-6900]

<sup>1</sup> Laboratorio de Investigaciones en Gestión de Proyectos, Universidad de Ciencias Informáticas (La Habana, Cuba, CP 54830)  
gaafarsadeq@yahoo.com

**Resumen.** El problema de planificación de proyectos con recursos limitados y tareas que se ejecutan de múltiples modos (MMRCPSP) es considerado en la literatura científica como un problema de optimización combinatoria del tipo NP-Completo y se caracteriza por la presencia de muchas variables correlacionadas. En este trabajo, se propone una familia de algoritmos de estimación de distribuciones (EDA) que incluyen el tratamiento de restricciones dentro del modelo probabilístico; en particular se proponen los algoritmos *CL\_UMDA* y *CL\_FDA*. Se validan los algoritmos diseñados a partir de la experimentación en 15 bases de datos de PSPLib y la comparación de estos algoritmos con los mejores reportados en la bibliografía y con implementaciones tradicionales de los algoritmos FDA y UMDA. Se constata que las propuestas logran mejores resultados que los EDA tradicionales y alcanzan el óptimo en todas las bases de datos experimentales igualando los mejores algoritmos de la bibliografía.

**Palabras claves:** MMRCPSP, Algoritmos con estimación de distribuciones, Tratamiento de restricciones, Modelo probabilístico.

## 1 Introducción

Los procesos de planificación de proyectos se presentan como el problema de optimización que pretende organizar un conjunto de tareas respetando un grupo de restricciones de precedencia y uso limitado de recursos renovables y no renovables, con el menor tiempo y costo posibles. Dentro de estos problemas se destaca el problema de planificación de proyectos con recursos limitados y tareas que se ejecutan de múltiples modos (MMRCPSP) [1]. Considerando la complejidad de este problema [2], [3], varios autores proponen el uso de las metaheurísticas tales como: el enjambre de partículas (PSO) [4], los Algoritmos Genéticos (GA) [5] y los Algoritmos con Estimación de Distribuciones (EDA) [6], [7]. En la revisión bibliográfica realizada se identifican las siguientes dificultades:

- Se encuentran pocos trabajos que emplean los EDA en la solución de problemas con restricciones [8] y en la solución del problema MMRCPSP [9], [10].

- Es insuficiente el tratamiento del problema del balance entre costo y tiempo en la planificación y en la eficacia de las soluciones que se proponen [11].
- Tecnologías emergentes como BIM requieren del desarrollo de nuevas investigaciones y algoritmos para la construcción eficaz de cronogramas y la planificación en general [12]. En este escenario convergen varias especialidades de la ingeniería como las corrientes débiles, la ingeniería civil, la ingeniería hidráulica, entre otras, y cada especialidad puede ejecutar sus tareas de múltiples modos.

En este contexto, se plantea el siguiente problema de investigación:

¿Cómo mejorar la eficacia de los algoritmos de estimación de distribuciones en la planificación de proyectos con recursos limitados y tareas que se pueden ejecutar de múltiples modos?

Y se define como objetivo general de la investigación: desarrollar algoritmos de estimación de distribuciones que incorporen el tratamiento de restricciones dentro del modelo probabilístico para la resolución eficaz de problemas de planificación de proyectos con recursos limitados y tareas que se pueden ejecutar de múltiples modos, manteniendo el balance entre costo y tiempo.

A partir del problema de investigación se formula la siguiente hipótesis: si se desarrollan nuevos algoritmos de estimación de distribuciones que incorporen las restricciones, dentro del modelo probabilístico, se logrará mejorar la eficacia en la planificación de proyectos en entornos con recursos limitados y tareas que se realizan con múltiples modos, teniendo en cuenta el balance entre tiempo y costo.

El trabajo está estructurado en las siguientes secciones: en la segunda sección se presenta la modelación del problema MMRCPS. En la tercera sección se proponen nuevos algoritmos EDA que incorporan las restricciones del problema de planificación dentro del modelo probabilístico. En la cuarta sección se presenta el análisis de los resultados a partir de la comparación de los algoritmos propuestos con los mejores algoritmos reportados en la bibliografía en 15 bases de datos del repositorio PSPLib [13]. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

## 2 Problemas de planificación de proyectos con recursos limitados y tareas que se ejecutan de múltiples modos

En esta tesis se presenta el MMRCPS como un problema de optimización multiobjetivo que combina el objetivo  $f_1$  tiempo de duración del proyecto y el objetivo  $f_2$  asociado al costo del proyecto y se modela como minimizar  $F$ :

$$\min F=f_1, f_2 \quad (1)$$

$$f_1 = \tau_n \text{ tiempo de duración del proyecto} \quad (2)$$

$$f_2 = \sum_{j=1}^n \sum_{m \in M_j} \sum_{t=\tau_j}^{\tau_j+d_{jm}} x_{jmt} (r_{jmv} \cdot C_{r_{jmv}} + r_{jmp} \cdot C_{r_{jmp}}) / d_{jm} \quad (3)$$

La variable de decisión se define de la siguiente forma:

$$x_{jmt} = \begin{cases} 1, & \text{la tarea } j \text{ se hace en modo } m \text{ en el día } t \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- $\tau_j$  representa el día en que inicia la tarea  $j$ ,  $n$  representa el total de tareas de un proyecto, mientras  $H_j$  representa el conjunto de tareas antecesoras de la tarea  $j$ .
- $m_j$  representa el modo de la ejecución de la tarea  $j$ ,  $M_j = \{1, \dots, m_j\}$  tal que  $M_j$  denota el conjunto de los posibles modos de ejecución de la tarea  $j$ .
- $d_{jm}$  denota el tiempo de duración de la tarea  $j$  si se ejecuta en el modo  $m$ .
- $t$  representar un día particular durante la ejecución del proyecto.
- $K_v$  representa el tipo de recursos renovables, mientras que  $K_{nv}$  representa el tipo de recursos no renovables.  $R_k$  representa la disponibilidad del recurso  $k$ .
- $C_k$  representa el costo unitario por unidad de recurso  $k$ , tal que  $k \in K_v \cup K_{nv}$ .
- Cada tarea  $j$  se ejecuta según el modo de ejecución  $m_j$  puede consumir  $r_{jmk}$  unidades del recurso del tipo  $k$  con una duración de tiempo  $d_{jm}$ .

Considerando las siguientes restricciones:

$$\sum_{m \in M_j} x_{jmt} = 1, \quad \forall j, t = [\tau_j, \tau_j + d_{jm}] \quad (4)$$

$$\tau_j \geq \tau_i + \sum_{m \in M_i} \sum_{t=\tau_i}^{\tau_i+d_{im}} x_{imt} d_{im}, \quad i \in H_j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m \in M_j} \sum_{t=\tau_j}^{\tau_j+d_{jm}} x_{jmt} r_{jmk} \leq R_k, \quad k \in K_{nv} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m \in M_j} \sum_{t=\tau_j}^{\tau_j+d_{jm}} x_{jmt} r_{jmk} \leq R_{kt}, \quad k \in K_v \quad (7)$$

La expresión 4 representa la restricción que garantiza que cada tarea se puede ejecutar de un sólo modo en un mismo día  $t$ . La expresión 5 representa la restricción que garantiza que no se violen las relaciones de precedencia entre las tareas, donde  $\tau_i + \sum_{m \in M_i} \sum_{t=\tau_i}^{\tau_i+d_{im}} x_{imt} d_{im}$  es la fecha de finalización del conjunto de las tareas antecesoras  $i$  y  $\tau_j$  es la fecha de inicio de la tarea  $j$ . La expresión 6 representa la restricción que garantiza que no se exceda el uso de los recursos no renovables como recursos materiales gastables disponibles para todo el proyecto. La expresión 7 representa la restricción que garantiza la disponibilidad de los recursos renovables para cada día del proyecto tales como recursos humanos y equipamiento.

### 3 Nuevos algoritmos de estimación de distribuciones con tratamiento de restricciones en el modelo probabilístico

Se propone el algoritmo CLEDA (*Constraint Learning Estimation of Distribution Algorithms*) [14] [15] que representa una nueva familia de algoritmos de estimación de distribuciones que incluyen el tratamiento de restricciones en el modelo probabilístico para problemas de planificación de proyectos, se presentan los algoritmos:

1. Algoritmo *CL\_FDA* trata de resolver el problema MMRCPS [16] desde el enfoque de aplicar factorizaciones tomando como base el planteamiento de las propias restricciones del problema en cuestión. Una posible factorización puede ser basada en las restricciones de precedencia entre tareas, considerando que cada factorización está formada por las variables que identifican a las tareas y sus predecesoras directas.

2. Algoritmo *CL\_UMDA* que estima la distribución marginal univariada de las combinaciones: tareas-fechas de inicio, tareas-modos y alternativas de mejora. A pesar de asumir que todas las variables son independientes, ha mostrado un excelente comportamiento en muchos problemas donde las variables están interrelacionadas [17].

Estos algoritmos no aprenden una función única sino un conjunto de funciones de distribución probabilística que describen: las relaciones de dependencias entre variables, las relaciones tareas-fechas de inicio, las relaciones tareas-modos, aprovechando estos elementos en la generación de las nuevas soluciones. En los algoritmos se introduce un proceso de mejora de los individuos o soluciones, el cual combina métodos de búsqueda local con elementos aprendidos y representado en el “Modelo probabilístico” con centro en el análisis de las reservas de recursos y en las violaciones de restricciones. Además, se realiza una reconstrucción parcial de las soluciones a partir de la fecha (día) en que se generó la mejora.

## 4 Resultados y discusión

En la tesis doctoral se comparan los algoritmos propuestos con nueve algoritmos, siete de ellos constituyen los algoritmos con mejores resultados en la bibliografía CP-SAT [18], MILP [19], B&B [20], GA [21], SPEA2 [22], hGMEDA [23] y Robust hGMEDA [6] y los dos restantes son las variantes tradicionales de los algoritmos FDA [24] y UMDA [25]. Se aplican técnicas de triangulación de datos y se comparan los resultados de los algoritmos en 15 bases de datos considerando las métricas: *Media\_Tiempo\_Duración*, *Mínimo\_Tiempo\_Duración*, *Cantidad\_Veces\_Óptimo* y *Balance-TCosto*.

Se realizan las siguientes pruebas respecto a cada métrica y en cada base de datos. Se aplican test estadísticos paramétricos o no paramétricos, dependiendo de la distribución de los datos con una significación de 0.05 e intervalos de confianza del 99%.

- Análisis de la influencia de variaciones en los recursos no renovables. Se prueba con bases de datos de 16 tareas, tres modos, con dos recursos renovables (11 instancias de la base de datos *n0* desde *n0\_38\_1*, hasta *n0\_48\_1*) y con tres recursos no renovables (bases de datos: *n3\_12* y *n3\_32*). En este caso se demostró que la familia de algoritmos propuestos (*CL\_UMDA*, *CL\_FDA*), reportan mejores resultados que los algoritmos FDA y UMDA tradicionales, resultado que se comporta de forma similar en todas las métricas que miden la eficacia de los algoritmos.

En la base de datos *n0*, respecto a la métrica “*Media\_Tiempo\_Duración*”, los algoritmos propuestos reportan mejores resultados que los algoritmos *Robust hGMEDA*, *hGMEDA* y *SPEA2* reportados en la bibliografía.

- Análisis de la influencia de variaciones en la cantidad de recursos renovables, donde se prueba con bases de datos *r4\_12*, *r4\_32* (cuatro recursos renovables), *r5\_12* y *r5\_32* (cinco recursos renovables), todas tienen 16 tareas y tres modos. En este caso se demostró también que los algoritmos *CL\_UMDA* y *CL\_FDA*, con tratamiento de restricciones en el modelo probabilístico, reportan mejores resultados que los algoritmos basados en implementaciones tradicionales de FDA y UMDA.

- Análisis de la dimensión “Eficacia de los algoritmos ante variaciones en la cantidad de modos”. Se prueba con bases de datos *m4\_12*, *m4\_32* (cuatro modos de ejecución), *m5\_12* y *m5\_32* (cinco modos de ejecución), todas con 16 tareas, dos recursos no renovables, dos recursos renovables. Se demuestra que hay variaciones en el resultado de los algoritmos con el aumento de la cantidad de modos y que el *CL\_UMDA* obtuvo resultados significativamente mejores que el resto.
- Análisis de la dimensión “Eficacia de los algoritmos ante variaciones en la cantidad de tareas”. Se prueba con bases de datos de 30 tareas, tres modos, dos recursos no renovables y dos recursos renovables (bases de datos: *j30\_12* y *j30\_32*). Respecto a la métrica *Mínimo\_Tiempo\_Duración* se demuestra que no existen diferencias significativas entre los algoritmos propuestos y los mejores resultados reportados en la bibliografía. Ante el aumento de la cantidad de modos, las variantes basadas en *CL\_UMDA* obtuvieron resultados significativamente mejores que el resto de los algoritmos propuestos y las variantes tradicionales de FDA y UMDA.
- Se compararon los algoritmos UMDA y FDA con los algoritmos propuestos en la solución de un problema real de planificación con 90 tareas y se demostró la superioridad de los algoritmos *CL\_UMDA* y *CL\_FDA*. Se aplicó el método multicriterio en la evaluación de estos resultados por un grupo de expertos internacionales. Como resultado de esta investigación se obtienen tres publicaciones en revistas indexadas en SCOPUS [14]–[16].

## Conclusiones

Se propone una nueva familia de algoritmos *CLEDA* y los algoritmos específicos *CL\_FDA* y *CL\_UMDA*. Estas propuestas fueron comparadas con otros nueve algoritmos reportados en la bibliografía en 15 bases de datos de PSPLib y se demuestra que:

- Respecto a la métrica “*Mínimo\_Tiempo\_Duración*”, se identifican que no existen diferencias significativas entre los algoritmos propuestos y los mejores algoritmos reportados de la bibliografía.
- Respecto a la métrica “*Media\_Tiempo\_Duración*”, en la BD *n0* los algoritmos propuestos superan los resultados de los algoritmos *Robust hGMEDA*, *hGMEDA* y *SPEA2* reportados en la bibliografía.
- Se evidencia que el algoritmo *CL\_UMDA* es capaz de encontrar soluciones satisfactorias en problemas con variables correlacionadas, con un comportamiento similar al UMDA, resultado que ratifica lo planteado en la bibliografía consultada.
- En el caso de estudio real de 90 tareas los algoritmos *CL\_UMDA* y *CL\_FDA* reportaron resultados significativamente mejores que los algoritmos UMDA y FDA. En la evaluación de los nueve expertos se logra consenso y se reafirma la importancia de los procesos de aprendizaje para la planificación de nuevos proyectos. Los expertos muestran satisfacción con el análisis en el tratamiento de las reservas de recursos como parte de la solución.
- Como continuidad de la investigación se propone el desarrollo de nuevas variantes de algoritmos de la familia *CLEDA* y la aplicación de los algoritmos en otros problemas de planificación.

## Referencias

- [1] R. Kolisch and A. Sprecher, “PSPLIB - A project scheduling problem library: OR Software - ORSEP Operations Research Software Exchange Program,” *European Journal of Operational Research*, vol. 96, no. 1, pp. 205–216, Jan. 1997, doi: 10.1016/S0377-2217(96)00170-1.
- [2] N. Balouka and I. Cohen, “A robust optimization approach for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem,” *European Journal of Operational Research*, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.ejor.2019.09.052.
- [3] M. Carter, C. C. Price, and G. Rabadi, *Operations research: a practical introduction*, Second Edition. New York: Crc Press, 2019.
- [4] C. Stiti and O. B. Driss, “A new approach for the multi-site resource-constrained project scheduling problem,” *Procedia Computer Science*, vol. 164, pp. 478–484, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.12.209.
- [5] S. Tao and Z. S. Dong, “Multi-mode resource-constrained project scheduling problem with alternative project structures,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 125, pp. 333–347, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.cie.2018.08.027.
- [6] J. Tian, X. Hao, and M. Gen, “A hybrid multi-objective EDA for robust resource constraint project scheduling with uncertainty,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 130, pp. 317–326, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.02.039.
- [7] M. Ayodele, J. McCall, and O. Regnier-Coudert, “Estimation of distribution algorithms for the Multi-Mode Resource Constrained Project scheduling problem,” in *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Donostia, San Sebastián, Spain, Jun. 2017, pp. 1579–1586. doi: 10.1109/CEC.2017.7969491.
- [8] C. A. C. Coello, “Constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms,” in *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, Prague Czech Republic, Jul. 2019, pp. 485–506. doi: 10.1145/3319619.3323366.
- [9] M. Ayodele, “Effective and efficient estimation of distribution algorithms for permutation and scheduling problems.,” PhD Thesis, Robert Gordon University, 2018.
- [10] M. Ayodele, J. McCall, and O. Regnier-Coudert, “BPGA-EDA for the multi-mode resource constrained project scheduling problem,” in *Evolutionary Computation (CEC), 2016 IEEE Congress on*, 2016, pp. 3417–3424.
- [11] I. P. Pupo, R. G. Vacacela, P. P. Pérez, G. S. S. Mahdi, and M. Peña, “EXPERIENCIAS EN EL USO DE TÉCNICAS DE SOFTCOMPUTING EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE SOFTWARE,” *Investigación Operacional*, vol. 41, no. 1, pp. 108–119, 2020.
- [12] P. Mesároš, T. Mandičák, and A. Behúnová, “Use of BIM technology and impact on productivity in construction project management,” *Wireless Netw*, Mar. 2020, doi: 10.1007/s11276-020-02302-6.
- [13] “Project Scheduling Problem Library - PSPLib,” 2017. <http://www.om-db.wi.tum.de/psplib> (accessed Dec. 13, 2018).

- [14] G. S. S. Mahdi, S. H. Al-subhi, R. G. Vacacela, I. P. Pupo, J. M. Quintana, and P. P. Pérez, “ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CON TRATAMIENTO DE RESTRICCIONES EN EL MODELO PROBABILÍSTICO EN PROBLEMAS DE SCHEDULING,” *Investigación Operacional*, vol. 40, no. 5, pp. 674–686, 2019.
- [15] G. Mahdi, P. Piñero, R. García, J. Madera, S. Al-subhi, and I. Pérez, “NUEVO ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE DISTRIBUCIONES CON DIFERENTES MÉTODOS DE APRENDIZAJE APLICADO A PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS,” *Investigacion Operacional*, vol. 41, no. 7, pp. 945–960, 2020.
- [16] G. Mahdi, J. Quintana, P. Pérez, and S. Al-subhi, “Estimation of Distribution Algorithm for solving the Multi-mode Resource Constrained Project Scheduling Problem,” *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, vol. 7, no. 27, Apr. 2020, Accessed: May 26, 2020. [Online]. Available: <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.13-7-2018.164111>
- [17] M. Soto, “Algoritmo con Distribución Factorizada basada en Poliárboles (PADA),” *Grupo de Optimización y Computación evolutiva*, p. 100, 2003.
- [18] A. Schnell and R. F. Hartl, “On the generalization of constraint programming and boolean satisfiability solving techniques to schedule a resource-constrained project consisting of multi-mode jobs,” *Operations Research Perspectives*, vol. 4, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1016/j.orp.2017.01.002.
- [19] J. A. S. Araujo, H. G. Santos, B. Gendron, S. D. Jena, S. S. Brito, and D. S. Souza, “Strong bounds for resource constrained project scheduling: Preprocessing and cutting planes,” *Computers & Operations Research*, vol. 113, p. 104782, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.cor.2019.104782.
- [20] A. Sprecher and A. Drexl, “Multi-mode resource-constrained project scheduling by a simple, general and powerful sequencing algorithm,” *European Journal of Operational Research*, vol. 107, no. 2, pp. 431–450, Jun. 1998, doi: 10.1016/S0377-2217(97)00348-2.
- [21] S. Hartmann, “Project Scheduling with Multiple Modes: A Genetic Algorithm,” *Annals of Operations Research*, vol. 102, no. 1, pp. 111–135, Feb. 2001, doi: 10.1023/A:1010902015091.
- [22] E. Zitzler, M. Laumanns, and L. Thiele, “SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm,” *TIK-report*, vol. 103, 2001.
- [23] X. Hao, L. Sun, and M. Gen, “Solving Robust Resource Constrained Scheduling Problem by Multi-objective Optimization Method based on Hybridization of EDA and GA,” *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 1187–1194, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.001.
- [24] H. Mühlenbein and T. Mahnig, “FDA -A Scalable Evolutionary Algorithm for the Optimization of Additively Decomposed Functions,” *Evolutionary Computation*, vol. 7, no. 4, pp. 353–376, Dec. 1999, doi: 10.1162/evco.1999.7.4.353.
- [25] H. Mühlenbein, “The Equation for Response to Selection and Its Use for Prediction,” *Evolutionary Computation*, vol. 5, no. 3, pp. 303–346, Sep. 1997, doi: 10.1162/evco.1997.5.3.303.





November, 2021