

Maikel Leyva-Vázquez¹, Karina Perez-Teruel², Nelly Valencia-Martínez³, Ameirys Betancourt-Vázquez⁴,

¹Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), Quito, Ecuador,
Universidad de Guayaquil, Guayaquil (UG), Ecuador. mleyvaz@gmail.com

²Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), La Habana, Cuba.

³Universidad de Guayaquil, Guayaquil (UG), Ecuador

⁴Instituto Superior Politécnico de Tecnologías e Ciências (ISPTEC), Luanda, Angola.

Resumen: La calidad del software como sistema de información está frecuentemente determinada por la habilidad para satisfacer las necesidades de los clientes y usuarios finales, obtenidas y especificadas como requisitos de software. Para satisfacer estas necesidades resulta importante la realización de una correcta ingeniería de requisitos y especialmente su priorización. La priorización de requisitos de software es un proceso complejo de toma de decisiones. Los enfoques tradicionales no realizan la agregación de los criterios con la suficiente flexibilidad y adaptabilidad a los contextos específicos de las organizaciones. En el presente trabajo se propone un método de priorización de requisitos que hace uso de los operadores de agregación para la fusión de la información y el método de jerarquía analítica para determinar la importancia de los criterios. La propuesta permite la inclusión de aspectos tales como la importancia de los criterios y nivel de compensación. Un estudio de caso muestra aplicabilidad de la propuesta se desarrolla un estudio de caso. El artículo finaliza con propuestas de trabajos futuros que contribuyan a la aplicabilidad del método.

Palabras clave: priorización de requisitos, operadores de agregación, operador OWA, ingeniería de requisitos, AHP.

Abstract: A key goal of any engineering and software engineering in particular, is the quality of the final product. Software quality as an information system is often determined by the ability to meet the needs of customers and end users, as obtained as software requirements. To satisfy that needs is important a correct requirement engineering process in general, and a correct requirement prioritization in particular. Prioritizing software requirements is a complex decision making process. Traditional approaches do not perform aggregation of criteria with sufficient flexibility and adaptability to the specific contexts of organizations. In this paper we propose a requirements prioritization method that uses aggregation operators for information fusion and the analytic hierarchy process. The proposal allows the inclusion of aspects such as the importance of the criteria and optimism/pessimism level. To demonstrate the applicability of the proposal case study is developed. The paper ends with further work recommendations for extending the method.

Keywords: requirements prioritization, aggregation operators, OWA operators, requirements engineering, AHP.

1. Introducción

Un objetivo fundamental de cualquier ingeniería y de la ingeniería de software en específico, es la calidad de su producto final. La calidad del software como sistema de información está frecuentemente determinada por la habilidad para satisfacer atributos de calidad basados en la información contenida en las necesidades de los clientes y usuarios finales, obtenidas y especificadas como requisitos de software o derivadas de ellos. Una correcta definición y análisis de los requisitos es uno de los factores que contribuyen al éxito de los proyectos de software [1, 2]. La priorización de requisitos (PR) es un proceso complejo de toma de decisiones mediante el cual se determina que funcionalidades son adecuadas a incluir en cada liberación del producto software a desarrollar [3]. Ha sido tratada por numerosos autores como una de las actividades con mayores niveles de complejidad en la Ingeniería de Requisitos y fundamental para el éxito de los proyectos [4-14].

Generalmente los proyectos tienen más requisitos candidatos de los que las restricciones en tiempo y costo les permiten implementar. La PR ayuda a identificar el conjunto que son críticos para el éxito del proyecto, los que serán ubicados en las primeras liberaciones, dejando los triviales para entregas más tardías. Esto permite ordenar el conjunto total de requisitos, permitiendo la formación de subconjuntos y su asignación a cada liberación [4].

Un modelo comúnmente usado para la PR incluye los siguientes pasos que pueden ser iterados durante todo el ciclo de vida [4]:

- selección de uno o más criterios de priorización,
- asignación de valores a los criterios seleccionados por parte de uno o más involucrados,
- agregación de los criterios para lograr un orden final de los requisitos.

En las etapas iniciales de un proyecto de desarrollo de software los requisitos generalmente son imprecisos. En la medida en que el proyecto avanza y el entendimiento del producto crece los requisitos se especifican con mayor nivel de detalle. La priorización de requisitos es un proceso que puede hacerse en distintos momentos del ciclo de vida, con requisitos a diferente nivel de abstracción.

Los requisitos son priorizados teniendo en cuenta diferentes variables, impuestas por las necesidades y contexto de las organizaciones. Berander y Andrews [15] definen un conjunto de variables que incluyen importancia, efectos desfavorables, costo, tiempo, riesgo, volatilidad entre otros. Wieger [16] propone un método basado en valor, costo y riesgo de los requisitos. Avesani y otros autores [17] clasifican las variables en aspectos de negocio (ej. competencia del mercado, regulaciones), satisfacción del cliente y aspectos técnicos (ej. costo del desarrollo).

Estos criterios son agregados en los métodos existentes a fin de calcular un valor único de prioridad asignado a cada requisito. No obstante la agregación de los criterios no es lo suficientemente flexible y adaptable a los contextos específicos de las organizaciones.

La agregación y fusión de la información procedentes de distintas fuentes para dar una salida única que de alguna forma sintetice la información original y brinde soporte a la toma de decisiones es un área de trabajo activa [18]. Se destacan especialmente las aportaciones realizadas por R. R. Yager relacionados con los operadores OWA (ordered weighted averaging o traducido al español media ponderada ordenada) [19-21].

El objetivo de este trabajo es presentar un método para la priorización de requisitos basado en el empleo de operadores de agregación para la fusión de la información y el método de jerarquía analítica [22] (AHP por sus siglas en inglés).

El trabajo continúa de la siguiente forma. En la Sección 2 se presenta un estado del arte de la agregación de información.

En la Sección 3 se propone el modelo de agregación para la priorización de los requisitos y en la Sección 4 un caso de estudio. El artículo finaliza con las conclusiones y trabajos futuros.

2. Agregación de la información

La fusión de la información consiste en el proceso de combinar distintos datos brindando una única salida. Los operadores de agregación son un tipo de función matemática empleada para la fusión de la información. Combinan n valores en un dominio D y devuelven un valor en ese mismo dominio [18].

Un operador OWA es una función $F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ de dimensión n si tiene un vector asociado W de dimensión n con $w_j \in [0, 1]$ y $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, de forma tal que:

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (1)$$

Donde b_j es el j -ésimo más grande de los a_j .

Existen formulaciones de operadores de agregación que generalizan el operador OWA y la media ponderada. De esta forma, se puede ponderar las variables según el grado de importancia, y al mismo tiempo se puede sobrevalorar o infravalorar la información según el grado de optimismo del decisor. Dentro las formulaciones que lo permiten se

encuentran el *weighted OWA* (WOWA) [23] y el *ordered weighted averaging weighted averaging* (OWAWA) operator [24].

Estos operadores permiten la agregación de un conjunto de valores utilizando dos vectores de pesos. Uno corresponde al vector en la media aritmética y el otro corresponde a los pesos en el operador OWA. El OWAWA además de unificar los operadores OWA y WA, permite reflejar en qué grado se quiere considerar cada uno de los operadores.

Un operador OWAWA [24] es una función $OWAWA: R^n \rightarrow R$ de dimensión n si tiene un vector de ponderaciones W asociado, con $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ y $w_j \in [0,1]$ tal que:

$$OWAWA(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n \hat{v}_j b_j \quad (2)$$

donde b_j es el j -ésimo más grande de los a_i , cada argumento a_i tiene asociada una ponderación v_i con $\sum_{i=1}^n v_i = 1$ y $v_j \in [0,1]$, $\hat{v}_j = \beta w_j + (1 - \beta)v_j$ con $\beta \in [0,1]$ y v_j es la ponderación v_i ordenada según b_j , es decir, según el j -ésimo más grande de los a_i . El vector con la importancia de los criterios puede ser obtenido mediante el método AHP [25].

3. Método propuesto

La estrategia de fusión está basada en el empleo de operadores de agregación en específico los que unifican el operador OWA y la media aritmética (WA por sus siglas en inglés), específicamente el operador OWAWA. Entre las actividades incluidas en el método se encuentran: selección de los criterios y requisitos, obtención de la información, normalización de los valores, determinar vectores de pesos y agregación.

A continuación se presenta gráficamente (Figura 1) las actividades contenidas en el flujo de trabajo y se describe cada una de ellas:

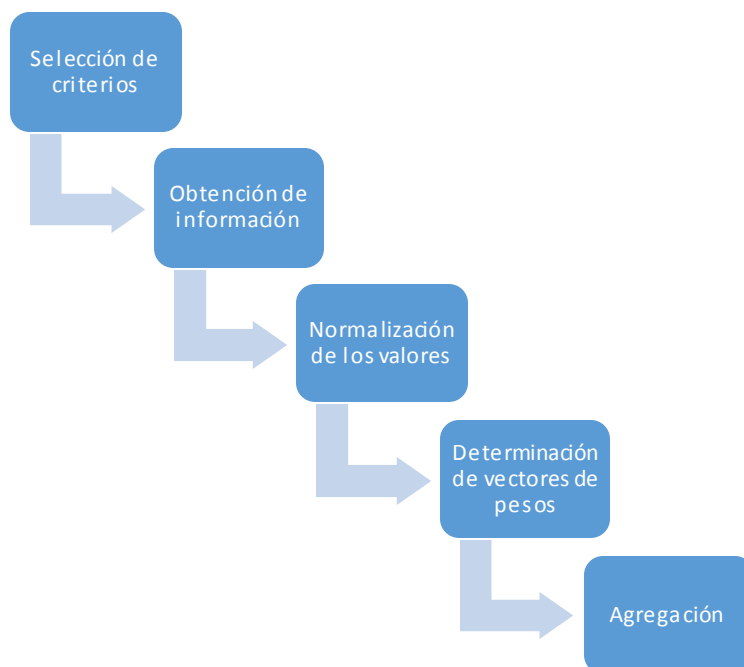


Figura 1. Actividades del flujo de trabajo para la priorización de requisitos.

1. Selección de los criterios: Se seleccionan los criterios que serán evaluados. Siendo $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ con $k \geq 2$ los criterios a ser evaluados, y $R = \{r_1, r_2, \dots, r_j\}$ con $j \geq 2$ los requisitos.
2. Obtención de información: Se obtiene información sobre las preferencias de los decisores. Esta información representa la valoración de cada requisito con respecto a los criterios. El vector de utilidad [26] es

representado de la siguiente forma $V_j = \{v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jn}\}$, donde v_{jk} es la preferencia en relación al criterio c_k del requisito R_j . La valoración se da en el intervalo $[0,1]$, siendo 0 el peor valor y 1 el mejor.

3. Normalización de los valores: Los valores de las preferencias son normalizados teniendo en cuenta si son de tipo beneficio o costo. Siendo \tilde{v}_{jk} el valor normalizado, este se calcula para los criterios tipo beneficio como:

$$\tilde{v}_{jk} = \frac{v_{k \min} - v_{jk}}{v_{k \min} - v_{k \max}} \quad (3)$$

y para los tipo costo:

$$\tilde{v}_{jk} = \frac{v_{k \max} - v_{jk}}{v_{k \max} - v_{k \min}} \quad (4)$$

donde $v_{k \min}$ es la valoración mínima con respecto al criterio k y $v_{k \max}$ es la valoración máxima con respecto al criterio k .

4. Determinación de los vectores de pesos: Se plantean los vectores del operador OWAWAD. En el caso de V representa la importancia de criterios. En el caso de W representa el nivel de optimismo/pesimismo, y por tanto de riesgo. El valor I -ésimo del vector V define la importancia del I -ésimo criterio. Para la determinación del vector V se propone el empleo del método AHP (AHP por sus siglas en inglés) [27]. Los pasos para la aplicación de AHP en el modelo en este caso consisten en la identificación de los criterios y subcriterios y la asignación de la ponderación mediante la comparación por pares.
5. Agregación: Ocurre la agregación de los valores normalizados de las preferencias y se obtiene un único valor numérico mediante el empleo del operador OWAWA (5). El ordenamiento ocurre de mayor a menor a partir del valor obtenido.

El empleo de los operadores de agregación permite al método ser flexible y adaptable. La posibilidad de obtener directamente las preferencias del decisor y su expresión en los vectores de peso es otra de sus fortalezas.

4. Estudio de caso

A continuación se presenta un estudio de caso con el propósito fundamental de mostrar la aplicabilidad de la propuesta. Para su desarrollo se seleccionaron los criterios dificultad técnica, costo y valor para el proyecto de un conjunto de cinco requisitos de software pertenecientes a un sistema de información. Posteriormente se realiza la valoración para cada requisito con respecto a los criterios seleccionados (Tabla 1).

Tabla 1. Valoración de requisitos

| Requisito | Dificultad técnica | Costo | Valor |
|----------------|--------------------|-------|-------|
| R ₁ | 0.9 | 0.2 | 0.7 |
| R ₂ | 0.2 | 0.4 | 0.7 |
| R ₃ | 0.3 | 0.6 | 0.8 |
| R ₄ | 0.4 | 0.8 | 0.3 |
| R ₅ | 0.6 | 0.7 | 0.7 |

Los criterios relacionados con la dificultad técnica y el costo son criterios tipo costo y se normalizan según (4). El criterio valor de tipo beneficio se normaliza según (3). Los resultados de la normalización se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Normalización de los criterios.

| Requisito | Dificultad técnica | Costo | Valor |
|----------------|--------------------|-------|-------|
| R ₁ | 0.00 | 1.00 | 0.80 |
| R ₂ | 1.00 | 0.67 | 0.80 |
| R ₃ | 0.86 | 0.33 | 1.00 |

| | | | |
|----------------|------|------|------|
| R ₄ | 0.71 | 0.00 | 0.00 |
| R ₅ | 0.43 | 0.17 | 0.80 |

Utilizando el método AHP se obtuvo la siguiente estructura de pesos (Tabla 3). Estos pesos son traducidos al siguiente vector de pesos asociado a los criterios $V = [0.121, 0.304, 0.575]$.

Tabla 3. Importancia de cada criterio

| <i>Criterios</i> | c_1 | c_2 | c_3 | <i>Pesos</i> |
|--|-------|-------|-------|--------------|
| <i>Dificulta técnica (c₁)</i> | 1 | 1/4 | 1/3 | 0,121 |
| <i>Costo (c₂)</i> | 4 | 1 | 1/3 | 0,304 |
| <i>Valor (c₃)</i> | 3 | 3 | 1 | 0,575 |

El vector W por su parte es el siguiente $W = [0.5, 0.3, 0.2]$. En este caso se le dará más importancia a la media ponderada ($\beta=0.4$). Los resultados de la agregación de muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la agregación.

| Requisito | OWAWA |
|----------------|-------|
| R ₁ | 0.75 |
| R ₂ | 0.82 |
| R ₃ | 0.80 |
| R ₄ | 0.19 |
| R ₅ | 0.56 |

Los resultados de la agregación de los criterios permiten ordenar los requisitos. En este caso el orden de prioridad es el siguiente $R_2 > R_3 > R_1 > R_4 > R_5$. Entre las ventajas planteadas por los especialistas se encuentran la relativa facilidad de la técnica y la elevada flexibilidad que brinda uso del de operador de agregación seleccionado. Los resultados muestran además la aplicabilidad que presentan los modelos de ayuda a la toma de decisión basados en la agregación de la información y la actualidad y pertinencia de la temática en las ciencias de la información debido a las mejoras que en el proceso de toma de decisiones en la ingeniería de software brinda esta técnica.

5. Conclusiones

En el presente artículo se presentó un método para la priorización de requisitos basado en el empleo de operadores de agregación para la fusión de la información. La estrategia de fusión está basada en el empleo de operadores de agregación, en específico los que unifican el operador OWA y la media aritmética (WA por sus siglas en inglés). Entre las actividades incluidas en el método se encuentran: selección de los criterios, obtención de la información sobre las preferencias de los decisores, normalización de los valores, determinar vectores de pesos y finalmente la agregación de los valores normalizados de las preferencias. Para la determinación del vector de peso V se emplea el método AHP. Se desarrolló un caso de estudio para demostrar la aplicabilidad de la propuesta. Entre las principales ventajas del método se encuentra la posibilidad de modelar la importancia de los criterios y la compensación.

Como trabajos futuros se perfila el trabajo con un enfoque lingüístico difuso y el enfoque multiexperto. La construcción de una herramienta informática que soporte el constituya otra área de trabajo.

6. Bibliografía

- Aurum, A., & Wohlin, C. (2005). *Engineering and Managing Software Requirements*. New York: Springer.
- Avesani, P., Bazzanella, C., Perini, A., & Susi, A. (2005a). Facing scalability issues in requirements prioritization with machine learning techniques.

- Avesani, P., Bazzanella, C., Perini, A., & Susi, A. (2005b). *Facing scalability issues in requirements prioritization with machine learning techniques.*
- Azar, J., Smith, R. K., & Cordes, D. (2007). Value-oriented requirements prioritization in a small development organization. *IEEE software*, 32-37.
- Beg, R., Abbas, Q., & Verma, R. P. (2008). *An approach for requirement prioritization using b-tree.*
- Berander, P., & Andrews, A. (2005). Requirements Prioritization.
- Chatzipetrou, P., Angelis, L., Rovegard, P., & Wohlin, C. (2010). *Prioritization of issues and requirements by cumulative voting: A compositional data analysis framework.*
- Espinilla, M., Andrés, R. d., Martínez, F. J., & Martínez, L. (2012). A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria. *Information Sciences.*
- Grabisch, M., Marichal, J. L., Mesiar, R., & Pap, E. (2011). Aggregation functions: construction methods, conjunctive, disjunctive and mixed classes. *Information Sciences*, 181(1), 23-43.
- Leyva-Vázquez, M. Y., Rosado-Rosello, R., & Febles-Estrada, A. (2012). Modelado y análisis de los factores críticos de éxito de los proyectos de software mediante mapas cognitivos difusos. *Ciencias de la Información*, 43(2), 41-46.
- Lima, D., Freitas, F., Campos, G., & Souza, J. (2011). A fuzzy approach to requirements prioritization. *Search Based Software Engineering*, 64-69.
- Logue, K., & McDaid, K. (2008). *Handling uncertainty in agile requirement prioritization and scheduling using statistical simulation.*
- Merigó, J. (2008). *New extensions to the OWA operators and its application in decision making.* Unpublished PhD Thesis.
- Merigó, J. M., & Gil-Lafuente, A. M. (2010). New decision-making techniques and their application in the selection of financial products. *Information Sciences*, 180(11), 2085-2094.
- Otero, C. E., Dell, E., Qureshi, A., & Otero, L. D. *A quality-based requirement prioritization framework using binary inputs.*
- Otero, C. E., Dell, E., Qureshi, A., & Otero, L. D. (2010). *A Quality-Based Requirement Prioritization Framework Using Binary Inputs.* Paper presented at the Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation.
- Pérez, K., Leyva, M., Cedeño, F., Jimenez, S. V., & Mustelier, D. (2012). *Modelo matemático y procedimiento para evaluación por complejidad de los requisitos software.* Paper presented at the 15th Workshop on Requirements Engineering (WER 2012), Buenos Aires.
- Racheva, Z., Daneva, M., Sikkil, K., Wieringa, R., & Herrmann, A. (2010). *Do We Know Enough about Requirements Prioritization in Agile Projects: Insights from a Case Study.*
- Ramzan, M., JaiTar, M. A., & Shahid, A. A. (2009). Value based Intelligent Requirement Prioritization (VIRP): Expert Driven Fuzzy Logic based Prioritization Technique. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC).*
- Tonella, P., Susi, A., & Palma, F. (2010). *Using interactive ga for requirements prioritization.*
- Torra, V. (1997). The weighted OWA operator. *International Journal of Intelligent Systems*, 12(2), 153-166.
- Torra, V., & Narukawa, Y. (2007). *Modeling decisions: information fusion and aggregation operators:* Springer.
- Wang, Y. (2007). *Software engineering foundations: A software science perspective* (Vol. 2 % @ 0849319315): Auerbach Publications.
- Wieggers, K. E. (2003). *Software Requirements, Second Edition.* Redmond: Microsoft Press
- Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 18(1), 183-190.
- Yager, R. R. (2006). An extension of the naive Bayesian classifier. *Information Sciences*, 176(5), 577-588.

- Yager, R. R. (2009). On the dispersion measure of OWA operators. *Information Sciences*, 179(22), 3908-3919.
- Yager, R. R., Kacprzyk, J., & Beliakov, G. (2011). *Recent Developments in the Ordered Weighted Averaging Operators: Theory and Practice*: Springer.
1. Leyva-Vázquez, M.Y., R. Rosado-Rosello, and A. Febles-Estrada, *Modelado y análisis de los factores críticos de éxito de los proyectos de software mediante mapas cognitivos difusos*. *Ciencias de la Información*, 2012. **43**(2): p. 41-46.
 2. Pérez, K., et al. *Modelo matemático y procedimiento para evaluación por complejidad de los requisitos software*. in *15th Workshop on Requirements Engineering (WER 2012)*. 2012. Bueno Aires.
 3. Aurum, A. and C. Wohlin, *Engineering and Managing Software Requirements*. 2005, New York: Springer.
 4. Avesani, P., et al., *Facing scalability issues in requirements prioritization with machine learning techniques*. 2005.
 5. Otero, C.E., et al. *A quality-based requirement prioritization framework using binary inputs*. IEEE.
 6. Lima, D., et al., *A fuzzy approach to requirements prioritization*. *Search Based Software Engineering*, 2011: p. 64-69.
 7. Otero, C.E., et al. *A Quality-Based Requirement Prioritization Framework Using Binary Inputs*. in *Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation*. 2010. IEEE.
 8. Beg, R., Q. Abbas, and R.P. Verma. *An approach for requirement prioritization using b-tree*. 2008. IEEE.
 9. Racheva, Z., et al. *Do We Know Enough about Requirements Prioritization in Agile Projects: Insights from a Case Study*. 2010. IEEE.
 10. Logue, K. and K. McDaid. *Handling uncertainty in agile requirement prioritization and scheduling using statistical simulation*. 2008. IEEE.
 11. Chatzipetrou, P., et al. *Prioritization of issues and requirements by cumulative voting: A compositional data analysis framework*. 2010. IEEE.
 12. Tonella, P., A. Susi, and F. Palma. *Using interactive ga for requirements prioritization*. 2010. IEEE.
 13. Ramzan, M., M.A. JaiTar, and A.A. Shahid, *Value based Intelligent Requirement Prioritization (VIRP): Expert Driven Fuzzy Logic based Prioritization Technique*. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, 2009.
 14. Azar, J., R.K. Smith, and D. Cordes, *Value-oriented requirements prioritization in a small development organization*. *IEEE software*, 2007: p. 32-37.
 15. Berander, P. and A. Andrews, *Requirements Prioritization*. 2005.
 16. Wiegers, K.E., *Software Requirements, Second Edition*. 2003, Redmond: Microsoft Press
 17. Avesani, P., et al. *Facing scalability issues in requirements prioritization with machine learning techniques*. 2005. IEEE.
 18. Torra, V. and Y. Narukawa, *Modeling decisions: information fusion and aggregation operators*. 2007: Springer.
 19. Yager, R.R., J. Kacprzyk, and G. Beliakov, *Recent Developments in the Ordered Weighted Averaging Operators: Theory and Practice*. 2011: Springer.
 20. Yager, R.R., *On the dispersion measure of OWA operators*. *Information Sciences*, 2009. **179**(22): p. 3908-3919.
 21. Yager, R.R., *An extension of the naive Bayesian classifier*. *Information Sciences*, 2006. **176**(5): p. 577-588.
 22. Jaiswal, R., et al., *Watershed prioritization using Saaty's AHP based decision support for soil conservation measures*. *Water resources management*, 2014. **28**(2): p. 475-494.
 23. Torra, V., *The weighted OWA operator*. *International Journal of Intelligent Systems*, 1997. **12**(2): p. 153-166.
 24. Merigó, J., *New extensions to the OWA operators and its application in decision making*, in *Department of Business Administration, University of Barcelona*. 2008.

25. Saaty, T.L., *What is the analytic hierarchy process?*, in *Mathematical models for decision support*. 1988, Springer. p. 109-121.
26. Espinilla, M., et al., *A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria*. *Information Sciences*, 2012.
27. Bruno, G., et al., *AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives*. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2012. **18**(3): p. 159-172.