

AFRYCA 2.0: Análisis de Procesos de Alcance de Consenso

Álvaro Labella, Francisco J. Estrella, and Luis Martínez

Dpto. de Informática, Universidad de Jaén, España

Resumen Los procesos de alcance de consenso son un pilar fundamental en el ámbito de la toma de decisiones en grupo debido a su importancia. Existen una gran cantidad de modelos de alcance de consenso, cada uno con sus propias características, resultando complejo realizar comparaciones o estudios exhaustivos sobre ellos. Debido a esto, se propuso AFRYCA, un framework que permite el análisis y estudio de la resolución de problemas de toma de decisiones en grupo. En esta contribución se propone una extensión de AFRYCA, presentando una nueva versión que implementa nuevas funcionalidades, que hacen el framework más completo, y que permiten superar las limitaciones detectadas en la anterior versión.

Keywords: AFRYCA, toma de decisiones en grupo, modelo de consenso, procesos de alcance de consenso

1. Introducción

La Toma de Decisiones (TD) es un proceso cotidiano, donde se presenta un problema con múltiples opciones o alternativas y cuyo objetivo es alcanzar una solución para el mismo. En los problemas de Toma de Decisiones en Grupo (TDG), un conjunto de individuos o expertos con diferentes puntos de vista son los encargados de resolver el problema de TD [8, 9]. Tradicionalmente, los problemas de TDG se resolvían aplicando un proceso de selección de alternativas [5], en el que se recogían las opiniones de cada experto sobre las diferentes opciones. Finalmente se tomaba una decisión final seleccionando una alternativa o un subconjunto de alternativas [15]. En este proceso no se tenía en cuenta el grado de acuerdo entre expertos a la hora de seleccionar la solución. Por esta razón surgieron los procesos de alcance de consenso, o Procesos de Consenso (PC), como una fase adicional para la resolución de problemas de TDG [16]. En un PC, los expertos discuten, revisan y modifican sus preferencias intentado acercar posturas, aumentando así el nivel de acuerdo del grupo sobre la solución.

Los PCs, se han convertido en una importante línea de investigación en el ámbito de la TDG y se han propuesto gran cantidad de modelos y enfoques para este tipo de procesos [6, 11]. Por ello, en ocasiones es difícil determinar el modelo de PC más adecuado, o saber cual es la mejor configuración para un problema de TDG. En [11] se propuso AFRYCA, un framework de análisis basado en la simulación de problemas de TDG que tenía como objetivo: (i) analizar las ventajas y

debilidades de cada modelo, (ii) determinar qué modelos son más adecuados para un problema específico de TDG, y (iii) comparar diferentes modelos. Para llevar a cabo estas tareas, AFRYCA simula patrones de comportamiento adoptados por los expertos, modificando sus decisiones a lo largo del PC.

Después de emplear AFRYCA con diferentes modelos en múltiples contextos, se detectó que el framework presenta limitaciones que dificultan su ampliación y merman su versatilidad para el análisis, siendo necesario extender el mismo para subsanarlas y ampliar su funcionalidad. Las nuevas funcionalidades que incorpora AFRYCA y que se presentan en esta contribución son: (i) migración de la arquitectura del framework a la rama 4.X de Eclipse RCP, e4; asistentes para (ii) la configuración de comportamientos y (iii) la parametrización de modelos mediante restricciones y relaciones entre parámetros; soporte nativo a (iv) el desarrollo de comportamientos, (v) el escalamiento multidimensional para la visualización del PC; (vi) incorporación de nuevos modelos de PCs, (vii) una nueva simulación de comportamiento para expertos y (viii) soporte para el uso de métricas, incluyendo algunas métricas experimentales predefinidas.

Esta contribución se estructura como sigue: la Sección 2 revisa brevemente conceptos teóricos de TDG y PCs que se aplican en AFRYCA. La Sección 3 presenta las nuevas funcionalidades de la nueva versión. La Sección 4 muestra el desempeño de la nueva versión en el análisis de un problema de TDG. Por último, la Sección 5 detalla las conclusiones y trabajos futuros.

2. Preliminares

Esta sección revisa los conceptos básicos referentes a TDG y los PC.

2.1. Toma de decisiones en grupo

En los problemas de Toma de Decisiones en Grupo (TDG) actúan múltiples expertos, con diferente conocimiento y prioridades, con el fin de alcanzar una solución común [8]. Un problema de TDG está caracterizado por [9]:

- Un grupo $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ de m individuos o expertos.
- Un conjunto $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ de n alternativas o posibles soluciones.

Cada experto $e_i \in E$ expresa sus opiniones sobre las diferentes alternativas en X mediante una estructura de preferencias. Una estructura de preferencias habitualmente utilizada en problemas de TDG es la relación de preferencias difusa [10]. Una relación de preferencias difusa asociada a e_i se denota como $P_i = (p_i^{lk})_{n \times n}$ y puede ser representada como:

$$P_i = \begin{pmatrix} - & \dots & p_i^{ln} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_i^{n1} & \dots & - \end{pmatrix} \quad (1)$$

En la Ec. (1), cada valoración, $p_i^{lk} = \mu_{P_i}(x_l, x_k) \in [0, 1]$ representa el grado de preferencia de e_i sobre x_l con respecto a x_k , $l, k \in \{1, \dots, n\}$, $l \neq k$, tal que:

- $p_i^k > 0.5$ la preferencia del experto e_i sobre x_l es mayor que sobre x_k .
- $p_i^k < 0.5$ la preferencia del experto e_i sobre x_k es mayor que sobre x_l .
- $p_i^k = 0.5$ no existe preferencia del experto e_i entre x_k y x_l .

Los elementos p_i^l que forman la diagonal de la matriz no son valorados y se notan como " - ".

Al resolver un problema de TDG, se pueden aplicar varios enfoques, directo o indirecto [5]. En el enfoque directo, la solución se obtiene directamente de las preferencias de los expertos, sin una opinión global de preferencias, mientras que en el segundo enfoque, se calcula una *opinión colectiva de preferencias*, P_c . Independientemente del enfoque empleado, el proceso clásico para resolver un problema de TDG está compuesto por dos fases [15] (véase Figura 1):

1. *Agregación*: En esta fase se combinan las preferencias de los expertos usando un operador de agregación.
2. *Explotación*: Por medio de la selección de criterios se obtiene una alternativa o un conjunto de ellas, siendo ésta/s la solución/es del problema.

Este proceso no tiene en cuenta el acuerdo de los expertos sobre la solución, por lo que pueden surgir problemas en su aplicación, como que los expertos piensen que sus opiniones no se han tenido suficientemente en consideración [2, 16].

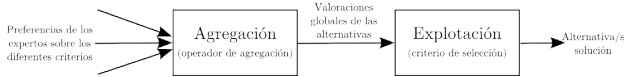


Figura 1. Esquema general del proceso de selección de alternativas

2.2. Procesos de alcance de consenso

Para tratar de solucionar el inconveniente anterior, se introdujeron los Procesos de Consenso (PC) como una fase adicional dentro de la resolución de un problema de TDG [16].

¿Qué se entiende por consenso? es algo que se ha tratado desde múltiples puntos de vista en la literatura especializada. Algunos consideran el consenso como la unanimidad, difícilmente alcanzable en la práctica, otros establecen unas interpretaciones más flexibles. El concepto *consenso suave* o *soft consensus* basado en la mayoría difusa, propuesta por Kacprzyk en [8], es uno de los más aceptados en cuanto a interpretaciones flexibles de consenso. Según esta interpretación, existe consenso cuando *la mayoría de los expertos más importantes del grupo están de acuerdo en prácticamente todas las opciones más relevantes*.

Los PCs son iterativos y dinámicos, en los cuales los expertos modifican sus preferencias iniciales, para acercar sus opiniones y así conseguir un alto nivel de acuerdo tras varias rondas de debate [16]. Habitualmente este proceso se coordina por un figura humana denominada *moderador*, el cual es el responsable de supervisar y guiar a los expertos involucrados en el proceso. La Figura 2 muestra un esquema general de PC tal y como es definido en [11]. Las principales fases de este proceso son:

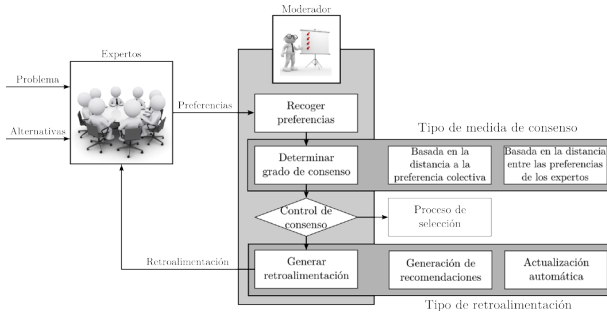


Figura 2. Esquema general del proceso de alcance de consenso

1. *Recoger preferencias*: Cada experto da sus preferencias sobre las alternativas.
2. *Determinar grado de consenso*: Se comprueba cuál es el grado de consenso del grupo. Se pueden emplear diferentes medidas de consenso [11], a través de operadores de agregación y el cálculo de distancias entre las preferencias.
3. *Control de consenso*: Se compara el grado de consenso obtenido con un umbral establecido a priori, que representa el grado mínimo de consenso que debe alcanzar el grupo. En caso de que el nuevo grado de consenso sea mayor que el establecido, se lleva a cabo el proceso de selección de alternativas para alcanzar una solución; en caso contrario será necesaria otra ronda de discusión. El número de rondas estará también limitado.
4. *Generar retroalimentación*: Si no se alcanza el grado de consenso fijado, se debe aplicar un mecanismo para aumentar el acuerdo. Este mecanismo variará en función de si en el proceso participa un moderador [11]. Si existe moderador, este identificará las valoraciones que están dificultando el consenso y recomendará a los expertos modificaciones. En caso contrario, es llevada a cabo una actualización automática de la información existente.

3. Actualización de AFRYCA: AFRYCA 2.0

En esta sección se realiza una comparativa entre la anterior versión de AFRYCA y la nueva versión, explicando su funcionamiento, los cambios realizados en la versión 2.0 y los objetivos que perseguimos con dichos cambios.

3.1. AFRYCA 1.X

El framework AFRYCA fue desarrollado como una aplicación *Eclipse Rich Client Platform* (Eclipse RCP)¹, una plataforma para desarrollar aplicaciones ricas de escritorio bajo una arquitectura de componentes.

Inicialmente, el framework integraba 5 componentes:

¹ <http://www.eclipse.org/home/categories/rcp.php>

1. *Modelos de Consenso*: Librerías que desarrollan varios modelos de consenso.
2. *Simulación de Comportamiento*: Simula patrones de comportamiento.
3. *Generador de Preferencias*: Genera relaciones de preferencias difusas consistentes [3].
4. *Visualización de Preferencias*: Muestra una representación 2D de las preferencias al finalizar el PC.
5. *Interfaz de Usuario*: Permite interactuar con la funcionalidad del framework.

Si bien el framework cumplía con los objetivos propuestos antes de su desarrollo, su uso puso de relieve una serie de limitaciones señaladas anteriormente.

3.2. AFRYCA 2.0

AFRYCA 1.X se desarrolló empleando la rama estable de Eclipse RCP, 3.X. Esto redundó en una mayor estabilidad, documentación y compatibilidad con componentes de terceros, pero supone un lastre en cuanto al mantenimiento y ampliación de las aplicaciones desarrolladas, las cuales no pueden beneficiarse de las nuevas tecnologías y paradigmas software.

Conscientes de ello, en AFRYCA 2.0 se ha realizado la migración del framework a la rama 4.X de Eclipse RCP, e4, la cual está adaptada a las últimas tendencias en el desarrollo de aplicaciones bajo una arquitectura de componentes, tales como la inyección de dependencias, el uso de servicios declarativos, el diseño mediante modelo de aplicación o el desarrollo de interfaces gráficas mediante hojas de estilo.

Una de las principales características de AFRYCA 1.X es la posibilidad de emplear R como entorno estadístico². Gracias a ello, desde el framework es posible emplear una amplia variedad de técnicas estadísticas de forma sencilla. Esta mayor potencia y flexibilidad que brinda R, presenta el inconveniente de que dificulta significativamente aspectos como el despliegue de la aplicación, su migración a otras plataformas, la configuración del entorno de desarrollo o la depuración de errores. Por dicho motivo, AFRYCA 2.0 implementa, de forma nativa, toda la funcionalidad ejecutada hasta ahora en R. Para ello, se ha desarrollado un entorno estadístico capaz de realizar el escalamiento multidimensional de las preferencias, así como la simulación de patrones de comportamiento mediante distribuciones de probabilidad, funciones anteriormente realizadas con R. El framework queda así desligado del entorno estadístico subyacente, el cual es seleccionado en tiempo de ejecución.

Para desarrollar el entorno estadístico nativo de AFRYCA han sido utilizadas dos bibliotecas libres, i) *MDSJ* [4], una biblioteca que implementa los algoritmos de escalamiento multidimensional más comúnmente empleados y ii) *Apache Commons Math* [1], una biblioteca estadística que permite utilizar más de 30 distribuciones de probabilidad diferentes.

Otro cambio significativo se establece en la visualización del estado de preferencias en el proceso de consenso. En AFRYCA 1.X, únicamente se puede visualizar al final del proceso, en la nueva versión, esto ocurre para cada ronda.

² <https://www.r-project.org/>

También mencionar, que el funcionamiento de los comportamientos se vuelve más flexible gracias al asistente de configuración desarrollado, el cual permite establecer los valores asociados a las distribuciones de probabilidad empleadas en el comportamiento así como realizar pruebas de la configuración (véase Figura 3).

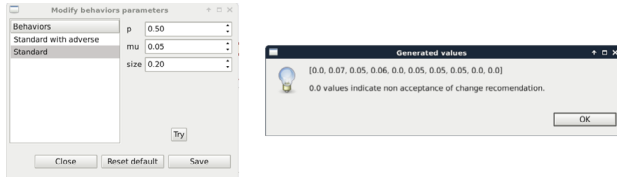


Figura 3. Asistente para la configuración y la simulación de los comportamientos

Además de las modificaciones mencionadas, cabe notar que ha sido incorporado un nuevo patrón de comportamiento denominado *estándar con adverso*, que permite simular un conjunto de expertos reticente a cooperar para llegar a un acuerdo. Este complementa al existente con anterioridad, el comportamiento *estándar*, el cual simula un conjunto de expertos receptivo a las recomendaciones.

Teniendo en cuenta estas modificaciones, AFRYCA 2.0 pasa a emplear más de 40 componentes, los cuales se agrupan en 5 tipos básicos (véase Figura 4): i) núcleo, ii) entornos estadísticos, iii) comportamientos, iv) modelos y v) métricas.

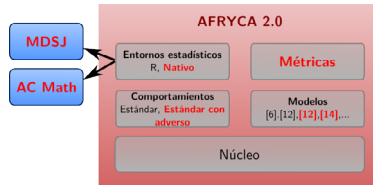


Figura 4. Arquitectura de AFRYCA 2.0 destacando cambios frente a AFRYCA 1.X

3.3. Modelos de PCs

Desde su concepción, AFRYCA aspira a ser una herramienta enfocada en la investigación, centrando el foco durante su diseño en la simplificación del desarrollo de nuevos modelos y herramientas para el análisis. Por ello, AFRYCA 2.0 incorpora un mecanismo para el desarrollo de modelos de PCs completamente rediseñado y que tiene como objetivo facilitar la definición de un PC.

Ahora, al desarrollar un modelo de PCs en AFRYCA, es posible definir de forma cómoda todas las variables y parámetros que se utilizarán en el mismo, así como su naturaleza, valores por defecto, restricciones y relaciones con otros

parámetros. Esto, libera al investigador de la necesidad de comprobar que los valores empleados al ejecutar su código son válidos, evita la aparición de errores y minimiza la cantidad de líneas de código a incluir (véase Figura 5).

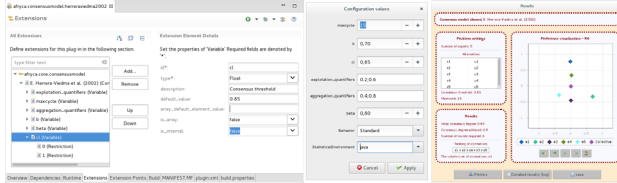


Figura 5. Parametrización de modelos

El nuevo mecanismo de desarrollo de modelos de PCs, define a su vez una interfaz de programación ampliada con soporte para el almacenamiento de los resultados obtenidos en cada ronda. Esto, abre la puerta a la utilización de métricas de análisis en el framework, habiéndose incorporado en la nueva versión un entorno para su utilización. El entorno de métricas simplifica la operación con los resultados almacenados, y ofrece la opción de trabajar con ellos de forma conjunta. Haciendo uso de él, se han definido un conjunto de métricas experimentales que están disponibles en la nueva versión.

Por último, indicar que la cantidad de modelos de PCs incluida por defecto en AFRYCA se incrementa, pasando a incorporar dos nuevos modelos basados en generación de recomendaciones [12, 14].

4. Ejemplo Ilustrativo

En esta sección se muestra la simulación, usando AFRYCA 2.0, de la resolución de un problema de TDG de ejemplo, empleando para ello diferentes modelos de PCs así como diferentes comportamientos. El problema de este ejemplo puede ser descargado desde el sitio web del framework ³.

En el ejemplo supondremos un escenario en el cual, 5 empresas de un mismo sector, $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$, buscan decidir el emplazamiento en el que realizar una futura reunión, debatiéndose entre 5 ubicaciones, $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$.

Para la resolución realizamos 3 simulaciones con la siguiente configuración:

- (S₁) El modelo con actualización automática de información propuesto por Palomares et al., en [13].
- (S₂) El modelo con generación de recomendaciones propuesto por Herrera-Viedma et al., en [7] empleando el comportamiento *estándar*, que simula un conjunto de expertos *receptivo* a las recomendaciones.

³ <http://sinbad2.tjuaen.es/afryca>

(S_3) El mismo modelo empleado en S_2 empleando el comportamiento *estándar con adverso*, que simula un conjunto de expertos *reticentes* a aceptar las recomendaciones.

Consideraremos que existe consenso cuando se supere el umbral $\mu = 0.85$. Si no se alcanza consenso tras 15 rondas de discusión el proceso finalizará.

4.1. Resultados obtenidos

Realizamos las simulaciones estableciendo el valor de los parámetros de configuración según el propuesto en el artículo en el que se define el modelo empleado. Adicionalmente, en S_1 todos los expertos tienen el mismo peso.

En la Figura 6 se muestra el resultado final en cada simulación.

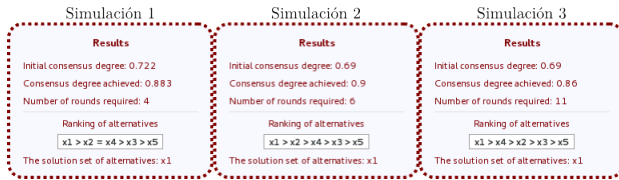


Figura 6. Resultados de las simulaciones

Para analizar cual ha sido la evolución del consenso durante el proceso en cada una de las simulaciones, empleamos el escalamiento multidimensional de las preferencias realizado por AFRYCA, el cual se sintetiza en la Figura 7.

4.2. Análisis comparativo

A partir del análisis de la información obtenida en la sección previa, podemos destacar los siguientes puntos:

- En todas las simulaciones se alcanza el umbral mínimo de consenso fijado, siendo el mayor grado de consenso en S_2 y el menor en S_3 .
- La alternativa x_1 es la mejor en las 3 simulaciones, al igual que x_5 y x_3 son siempre la peor y segunda peor respectivamente. Existe discrepancia en cuanto al grado de preferencia entre las alternativas x_2 y x_4 , siendo indiferentes en S_1 , x_2 preferida sobre x_4 en S_2 , y x_4 preferida sobre x_2 en S_3 .
- En las simulaciones con generación de recomendaciones ha sido necesario realizar un mayor número de rondas de discusión, llevándose a cabo 6 rondas en S_2 y 11 en S_3 , frente a 4 en S_1 .
- Un comportamiento receptivo favorece, no solo que el PC requiera menos rondas de discusión para alcanzar el consenso (6 rondas frente a 11), si no también un mayor grado de consenso final (0.9 frente a 0.86).

Los resultados obtenidos nos permiten comprobar como, el abanico de funcionalidades que nos ofrece AFRYCA 2.0, nos facilita el estudio y análisis de los PCs en los problemas de TDG.

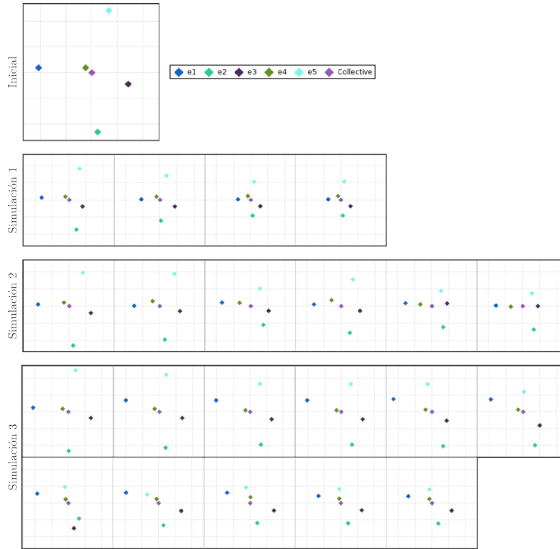


Figura 7. Visualización del proceso de consenso

5. Conclusiones

La necesidad e inherente dificultad de que todos los expertos alcancen un acuerdo en un problema de TDG, hace necesario aplicar PC en su resolución. La gran cantidad de modelos de PC existentes, unido a la heterogeneidad de sus características, dificulta la selección del más indicado para un problema dado. En esta contribución se ha presentado una extensión del framework de análisis para procesos de alcance de consenso AFRYCA, el cual permite analizar los modelos de PC mediante su simulación. La nueva versión del framework supone su completa reestructuración interna, adaptando su arquitectura a los nuevos paradigmas de desarrollo software y facilitando, consecuentemente, su ampliación y modificación. Además, esta nueva versión de AFRYCA incorpora diversas funcionalidades enfocadas en simplificar su uso y aumentar sus capacidades, resultando en un framework de análisis más potente y versátil.

Esta extensión de AFRYCA abre la puerta a múltiples trabajos futuros, considerándose, de forma más inmediata, i) realizar un estudio de los modelos implementados en diferentes escenarios, ii) permitir la simulación de expertos con diversos comportamientos en un mismo problema y iii) definir métricas que permitan estimar, de forma cuantitativa, el desempeño de los modelos de PC.

6. Agradecimientos

Esta contribución está parcialmente financiada por el proyecto de investigación TIN2015-66524-P.

Referencias

1. The Apache Software Foundation. Commons Math: The Apache Commons Mathematics Library (version 3.6.1). <https://commons.apache.org/math/>, 2016.
2. C.T.L. Butler and A. Rothstein. *On Conflict and Consensus: A Handbook on Formal Consensus Decision Making*. Food Not Bombs Publishing, 2006.
3. F. Chiclana, E. Herrera-Viedma, S. Alonso, and F. Herrera. Cardinal consistency of reciprocal preference relations: a characterization of multiplicative transitivity. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17(1):14–23, 2009.
4. Algorithmics Group. MDSJ: Java Library for Multidimensional Scaling (version 0.2). <http://www.inf.uni-konstanz.de/algo/software/mdsj/>, 2009.
5. F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. A sequential selection process in group decision making with linguistic assessments. *Information Sciences*, 85(4):223–239, 1995.
6. E. Herrera-Viedma, F.J. Cabrerizo, J. Kacprzyk, and W. Pedrycz. A review of soft consensus models in a fuzzy environment. *Information Fusion*, 17:4–13, 2014.
7. E. Herrera-Viedma, F. Herrera, and F. Chiclana. A consensus model for multi-person decision making with different preference structures. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 32(3):394–402, 2002.
8. J. Kacprzyk. Group decision making with a fuzzy linguistic majority. *Fuzzy Sets and Systems*, 18(2):105–118, 1986.
9. J. Lu, G. Zhang, D. Ruan, and F. Wu. *Multi-Objective Group Decision Making*. Imperial College Press, 2006.
10. S.A. Orlovsky. Decision-making with a fuzzy preference relation. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(3):155–167, July 1978.
11. I. Palomares, F.J. Estrella, L. Martínez, and F. Herrera. Consensus under a fuzzy context: Taxonomy, analysis framework AFRYCA and experimental case of study. *Information Fusion*, 20(November 2014):252–271, 2014.
12. I. Palomares, F.J. Quesada, and L. Martínez. An approach based on computing with words to manage experts' behavior in consensus reaching processes with large groups. *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2014)*, pages 476–483, 2014.
13. I. Palomares, P. Sánchez, F. Quesada, F. Mata, and L. Martínez. COMAS: A multi-agent system for performing consensus processes. In A. Abraham et al. (Eds.) *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence. Advances in Intelligent and Soft Computing*, volume 91, pages Springer, 125–132, 2011.
14. F.J. Quesada, I. Palomares, and L. Martínez. Managing experts behavior in large-scale consensus reaching processes with uninorm aggregation operators. *Applied Soft Computing*, 35:873 – 887, 2015.
15. M. Roubens. Fuzzy sets and decision analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2):199–206, 1997.
16. S. Saint and J. R. Lawson. *Rules for Reaching Consensus. A Modern Approach to Decision Making*. Jossey-Bass, 1994.