



# Uso de Expresiones Lingüísticas Comparativas en AFRYCA 3.0

1º Álvaro Labella  
Dpto. de Informática  
Universidad de Jaén  
Jaén, España  
alabella@ujaen.es

2º Rosa M. Rodríguez  
Dpto. de CC de la Computación e IA  
Universidad de Granada  
Granada, España  
rosam.rodriguez@decsai.ugr.es

3º Luis Martínez  
Dpto. de Informática  
Universidad de Jaén  
Jaén, España  
martin@ujaen.es

**Resumen**—La mayor parte de los problemas de Toma de Decisión en Grupo (TDG) del mundo real se definen en contextos de incertidumbre, en los cuales hay que modelar y operar con información vaga e imprecisa. El uso Enfoque Lingüístico Difuso ha proporcionado excelentes resultados en el tratamiento de dicha incertidumbre. Sin embargo, dicho enfoque presenta limitaciones en la expresión de la información debido al uso de vocabularios limitados y cerrados, lo que demanda expresiones lingüísticas más flexibles y no limitadas a priori. Para ello, se introdujo el concepto de *Conjunto de Términos Lingüísticos Difusos Dudosos* (CTLDD) que permite modelar Expresiones Lingüísticas Comparativas (ELCs). En los problemas de TDG, los Procesos de Alcance de Consenso (PAC) son uno de los principales campos de investigación, dando lugar a numerosas propuestas de PAC. Como consecuencia, la labor de seleccionar y aplicar el PAC más adecuado para un problema de TDG dado puede resultar compleja. Por esta razón se diseñó AFRYCA, un framework para el estudio y análisis de problemas de TDG. Esta contribución presenta nuevas características de la versión 3.0 de AFRYCA para el modelado de incertidumbre mediante información lingüística difusa dudosa y ELCs en PAC.

**Palabras clave**—AFRYCA, toma de decisión en grupo, consenso, expresiones lingüísticas comparativas

## I. INTRODUCCIÓN

La Toma de Decisiones (TD) es habitual en nuestras actividades diarias en las que, a partir de un conjunto de posibles opciones o alternativas, se debe escoger la mejor. En la Toma de Decisión en Grupo (TDG), un grupo de expertos son los encargados de decidir cuál es la mejor solución para un problema de TD [4], [8]. Los problemas de TDG normalmente se definen en contextos bajo incertidumbre donde la información es vaga e imprecisa. Existen diferentes enfoques que manejan este tipo de información [20]–[22], entre ellos, el *Enfoque Lingüístico Difuso* [22] ha proporcionado buenos resultados en la resolución de problemas de TDG definidos bajo incertidumbre. Hasta ahora estos enfoques modelaban la información lingüística utilizando un único termino lingüístico, lo que limita la expresión del conocimiento de los expertos [14]. Varias propuestas se han presentado en la literatura para intentar superar esta limitación y permitir utilizar más de un término lingüístico. En esta contribución se introduce el concepto de *Conjunto de Términos Lingüísticos Difusos Dudosos*

(CTLDD) [15]. Un CTLDD permite modelar la información lingüística mediante el uso de varios términos lingüísticos, permitiendo a los expertos expresar la duda entre ellos. Las *Expresiones Lingüísticas Comparativas* (ELCs) hacen uso de los CTLDDs y permiten a los expertos expresar sus opiniones de una forma más cercana a su modelo cognitivo habitual.

Las necesidades en la resolución de los problemas de TDG han evolucionado a lo largo del tiempo. En ocasiones, ya no solo se requiere encontrar la mejor solución, sino que además, esa solución debe de ser satisfactoria para todo el grupo. Tradicionalmente, los problemas de TDG se resolvían aplicando un proceso de selección de alternativas [2], donde se tenían en cuenta las opiniones individuales de los expertos, pero no el acuerdo entre ellos [16]. Por lo tanto, la decisión final podía no ser del agrado de todos los expertos, provocando que parte de ellos se sintieran excluidos del proceso de decisión. Por esta razón surgieron los Procesos de Alcance de Consenso (PAC) como una fase adicional en la resolución de problemas de TDG [17]. En un PAC, los expertos revisan, discuten y modifican sus opiniones con el objetivo de alcanzar una solución que satisfaga al grupo. Los PAC se han convertido en un pilar fundamental dentro del marco de la TDG y, como consecuencia, se pueden encontrar numerosas propuestas de modelos de PAC, también denominados *modelos de consenso* [1], [3], [5]. Debido a esto, identificar y aplicar el modelo de consenso que mejor se adapte a un problema de TDG puede resultar una tarea ardua, compleja y que demanda mucho tiempo.

AFRYCA, *A FRamework for the analySis of Consensus Approaches*, es un framework que permite el análisis y estudio de la resolución de problemas de TDG mediante la simulación de PAC [10]. Los principales objetivos de AFRYCA son: identificar ventajas y desventajas de los diferentes modelos de consenso, establecer comparaciones entre modelos de consenso, identificar cuándo un modelo de consenso es más apropiado para un problema de TDG en particular y visualizar la evolución de las preferencias de los expertos a lo largo del PAC. AFRYCA permite llevar a cabo estas tareas mediante la simulación de PAC, lo que conlleva simular los comportamientos de los expertos que participan en el proceso. Desde su inicio, AFRYCA ha evolucionado tanto en tecnologías como en herramientas para PAC [7]. En esta

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

contribución se presenta una nueva versión de AFRYCA que incluye nuevas capacidades para el tratamiento de información lingüística difusa dudosa. Estas funcionalidades son: definición de problemas de TDG donde los expertos expresan sus preferencias mediante el uso de ELCs, soporte para la visualización de dichas preferencias e incorporación de un nuevo modelo de consenso para este tipo de información.

Esta contribución se estructura de la siguiente forma: en la Sección II se introducen brevemente algunos conceptos preliminares. En la Sección III se presenta AFRYCA 3.0 y sus nuevas funcionalidades, mientras que en la Sección IV se muestra un ejemplo ilustrativo de dichas funcionalidades. Finalmente, la Sección V expone algunas conclusiones y trabajos futuros.

## II. PRELIMINARES

Aquí se revisan distintos conceptos necesarios para entender AFRYCA y el uso de CTLDDs en dicho framework.

### II-A. Toma de Decisión en Grupo

Un problema de TDG está compuesto por un conjunto de expertos,  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ , que opinan sobre un conjunto de alternativas  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  evaluadas en base a un conjunto de criterios  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ , con el objetivo de encontrar la mejor solución [8]. Es habitual que las opiniones de los expertos sobre las alternativas se representen mediante relaciones de preferencia. Una relación de preferencia asociada con el experto  $e_i$  se nota como  $P_i = (p_i^{lk})_{n \times m}$  y se representa en (1) tal que:

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

Existen distintos tipos relaciones de preferencia según la información que utilicen, las más comunes son:

- *Relación de preferencia difusa* [9]: En una Relación de Preferencia Difusa (RPD), cada valoración  $p_i^{lj} = \mu_{P_i}(x_l, x_j) \in [0, 1]$  representa el grado de preferencia de  $e_i$  sobre  $x_l$  con respecto a  $x_j$ ,  $l, k \in \{1, \dots, n\}, l \neq j$ .
- *Relación de preferencia lingüística* [11]: En una Relación de Preferencia Lingüística (RPL), cada valoración  $p_i^{lj} \subseteq X \times X$ , con un grado de preferencia  $\mu_p : X \times X \rightarrow S$ , donde  $S$  es un conjunto de etiquetas predefinido y  $\mu_p(x_l, x_j) = p_{lj}$  representa el grado de preferencia lingüístico de la alternativa  $x_l$  sobre  $x_j$ .
- *Relación de preferencia dudosa* [19]: En una Relación de Preferencia Dudosa (RPDD), cada valoración  $p_i^{lj} \subseteq X \times X$ , donde  $p_{lj} = \{p_{lj}^\beta, \beta = 1, 2, \dots, \#p_{lj}\}$  ( $\#p_{lj}$  es el número de valores en  $p_{lj}$ ), es un elemento difuso dudoso que indica todos los posibles grados de preferencia de la alternativa  $x_l$  sobre  $x_j$ .
- *Relación de preferencia lingüística dudosa* [13], [14]: En una Relación de Preferencia Lingüística Dudosa (RPLD), cada valoración  $p_i^{lj} \subseteq X \times X \rightarrow S$ , donde  $S$  es un conjunto de etiquetas predefinido y  $p_{lj} =$

$\{p_{lj}^\beta \mid \beta = 1, 2, \dots, \#p_{lj}\}$  ( $\#p_{lj}$  es el número de términos lingüísticos en  $p_{lj}$ ), es un conjunto de términos lingüísticos difusos que indica todos los posibles grados de preferencia de la alternativa  $x_l$  sobre  $x_j$ .

### II-B. Procesos de Alcance de Consenso

Los PAC son procesos iterativos y dinámicos, en los que los expertos modifican sus opiniones iniciales con el objetivo de acercar posturas y alcanzar un alto nivel de acuerdo sobre las preferencias del problema de TDG después de varias rondas de debate [17]. Un PAC es normalmente guiado por un *moderador* que supervisa el proceso. En problemas de TDG bajo incertidumbre, la lógica difusa desempeña un papel importante al proporcionar modelos de representación y procesamiento de información en opiniones vagas e imprecisas.

Los PAC se incluyen como una fase adicional dentro del esquema de resolución de problemas de TDG, con el objetivo de obtener una solución consensuada que satisfaga a los expertos involucrados en la toma de decisiones. El concepto de *consenso* ha sido definido desde diferentes puntos de vista: (i) A veces como la *unanimidad*, aunque esta visión es poco realista y prácticamente imposible de alcanzar en problemas de TDG reales. (ii) Otras veces se han aportado visiones más flexibles, como la de *soft consensus* o *consenso suave*, basada en el concepto de mayoría difusa definida por Kacprzyk [4], más cercana a la percepción que el ser humano tiene del consenso. Según este concepto, el consenso es alcanzado cuando *la mayoría de los individuos están de acuerdo en la mayoría de las cuestiones más relevantes*.

Las fases que componen un PAC son:

1. *Recolección de preferencias*: Se recoge la opinión de cada experto sobre las alternativas.
2. *Cálculo del nivel de consenso*: Se calcula el nivel de consenso alcanzado por el grupo en la ronda de consenso.
3. *Control de consenso*: Se compara el nivel de consenso obtenido con un valor umbral predefinido que representa el mínimo nivel de consenso que debe de ser alcanzado en el PAC. Si el nivel de consenso alcanzado por el grupo es mayor que el umbral, se inicia el proceso de selección de la mejor alternativa, en caso contrario se iniciará una nueva ronda de consenso.
4. *Generación de recomendaciones*: Cuando no se alcanza el umbral de consenso, es necesario iniciar un proceso en el cual las opiniones de los expertos deben modificarse para así acercar posturas entre ellos. Este proceso será llevado a cabo por el moderador [10], que debe proporcionar sugerencias a los expertos involucrados para que modifiquen sus opiniones iniciales.

### II-C. Conjuntos de Términos Lingüísticos Difusos Dudosos

El concepto de CTLDD se introdujo para facilitar la labor de los expertos a la hora de dar sus valoraciones empleando expresiones lingüísticas, especialmente en aquellos casos en los que dudan entre varios términos lingüísticos.



**Definición 1:** [15] Sea  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos, un CTLDD,  $H_S$ , se define como un subconjunto finito ordenado de términos lingüísticos consecutivos de  $S$ .

$$H_S = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}, \text{ tal que, } s_k \in S, k \in \{i, \dots, j\} \quad (2)$$

El concepto de CTLDD facilita el modelado de las opiniones de los expertos mediante múltiples términos lingüísticos, sin embargo, no es parecida a cómo los seres humanos expresan sus opiniones. Por esta razón, se presentaron las ELCs [15], dichas expresiones se generan mediante una gramática libre de contexto y son próximas, en términos de expresividad, a la forma de expresarse de los seres humanos.

**Definición 2:** [15] Sea  $G_H$  una gramática libre de contexto y  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos. Los elementos de  $G_H = (V_N, V_T, I, P)$  son definidos como:

$$\begin{aligned} V_N &= \{(\text{término primario}), (\text{término compuesto}), \\ &(\text{relación unaria}), (\text{relación binaria}), \\ &(\text{conjunción})\} \\ V_T &= \{\text{menor que}, \text{mayor que}, \text{entre}, \text{y}, s_0, s_1, \dots, s_g\} \\ I &\in V_N \end{aligned}$$

Las reglas de producción son definidas mediante la forma extendida de Backus Naur, en la que la utilización de paréntesis indica elementos opcionales y el símbolo  $|$  indica elementos alternativos.

$$\begin{aligned} P &= \{I ::= (\text{término primario})|(\text{término compuesto}) \\ &(\text{término compuesto}) ::= (\text{relación unaria}) \\ &(\text{término primario})|(\text{relación binaria})|(\text{término primario}) \\ &(\text{conjunción})|(\text{término primario}) \\ &(\text{término primario}) ::= s_0|s_1|\dots|s_g \\ &(\text{relación unaria}) ::= \text{menor que}| \text{mayor que} \\ &(\text{relación binaria}) ::= \text{entre} \\ &(\text{conjunción}) ::= \text{y}\} \end{aligned}$$

Dichas expresiones lingüísticas comparativas pueden ser representadas mediante CTLDD utilizando la función  $E_{G_H}$ .

**Definición 3:** [15] Sea  $E_{G_H}$  una función de transformación entre expresiones lingüísticas  $ll$ ,  $ll \in G_H$ , y  $H_s$ , siendo  $S$  el conjunto de términos lingüísticos utilizados por  $G_H$ :

$$E_{G_H} : ll \rightarrow H_S$$

Dependiendo del tipo de ELC, su transformación en CTLDD se lleva a cabo de diferentes formas:

- $E_{G_H}(s_i) = \{s_i/s_i \in S\}$
- $E_{G_H}(\text{menor que } s_i) = \{s_j/s_j \in S \text{ y } s_j \leq s_i\}$
- $E_{G_H}(\text{mayor que } s_i) = \{s_i/s_i \in S \text{ y } s_j \geq s_i\}$
- $E_{G_H}(\text{entre } s_i \text{ y } s_j) = \{s_i/s_i \in S \text{ y } s_i \leq s_k \leq s_j\}$

### III. EXPRESIONES LINGÜÍSTICAS COMPARATIVAS EN AFRYCA 3.0

En esta sección se muestran las nuevas funcionalidades de la versión 3.0 de AFRYCA relacionadas con el modelado de información lingüística difusa dudosa mediante ELCs. Primero se presenta la arquitectura software de AFRYCA 3.0, y después el esquema de resolución del framework. Por último, se analizan las nuevas funcionalidades en detalle.

#### III-A. Arquitectura de AFRYCA 3.0

AFRYCA es una aplicación software desarrollada bajo la plataforma *Eclipse Rich Client Platform* (RCP), una plataforma para construir y desarrollar aplicaciones multiplataforma ricas de escritorio fáciles de mantener y extender. Estas características vienen determinadas por el tipo de arquitectura software sobre la que se construye el framework. Dicha arquitectura *basada en componentes* está diseñada para resolver los problemas más comunes en el desarrollo software, como son el mantenimiento, reutilización, ampliación y modificación. Los componentes, también denominados *plug-ins*, son pequeñas porciones de software que se conectan entre si formando una aplicación software.

Anteriores versiones de AFRYCA se desarrollaron empleando la rama estable de Eclipse RCP, 3.X. El uso de esta rama proporcionaba ciertas ventajas, como una mayor estabilidad, documentación y compatibilidad con componentes de terceros. Sin embargo, en términos tecnológicos, AFRYCA no presentaba ninguna evolución. Este es el motivo por el que AFRYCA 3.0 ha sido desarrollada bajo la nueva rama 4.X de Eclipse RCP, e4. Esta evolución permite que AFRYCA 3.0 se beneficie de nuevas tecnologías orientadas al desarrollo de aplicaciones bajo una arquitectura basada en componentes como la inyección de dependencias o el uso de servicios declarativos.

AFRYCA 3.0 está compuesta por más de 100 componentes, todos desarrollados bajo la rama 4.X (Fig. 1).

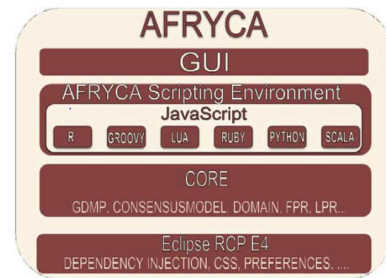


Figura 1. Arquitectura de AFRYCA 3.0

Visitar la web de AFRYCA para más información<sup>1</sup>.

#### III-B. Esquema de Resolución de AFRYCA 3.0

El esquema de resolución de AFRYCA para problemas de TDG se basa en diferentes fases que son descritas a continuación:

<sup>1</sup><http://sinbad2.ujaen.es/afryca/es>

1. *Definición del problema de TDG*: Aquí se define el problema de TDG, incluyendo *expertos*, *alternativas* y *criterios*. Además, también se recogen las opiniones de los expertos, que pueden emplear diferentes tipos de relaciones de preferencia. AFRYCA 3.0 da soporte a RPD, RPL, RPDD y RPLD.
2. *Selección del modelo de consenso*: El siguiente paso es seleccionar el modelo de consenso que se va a emplear en la simulación del PAC. AFRYCA 3.0 tiene incorporados un conjunto de modelos de consenso separados en dos grandes grupos, aquellos que utilizan un proceso de generación de recomendaciones y los que no.
3. *Configuración de los parámetros del modelo de consenso*: Una vez seleccionado el modelo de consenso, es indispensable configurar sus parámetros. Los parámetros de un modelo de consenso influyen directamente en el resultado de la simulación y deben ser ajustados en base al problema de TDG que se esté tratando.
4. *Selección del comportamiento de expertos*: Para llevar a cabo la simulación del PAC, AFRYCA simula el comportamiento de los expertos que participan en el proceso. Actualmente, AFRYCA 3.0 incluye dos tipos de patrones de comportamientos, *estándar* y *estándar con oposición*. En el patrón de comportamiento estándar los expertos pueden *aceptar* o *rechazar* las recomendaciones. En el caso del patrón de comportamiento estándar con oposición; los expertos pueden *aceptar*, *rechazar* o *ir en contra* de las recomendaciones sugeridas.
5. *Configuración de los parámetros del comportamiento*: Al igual que en los modelos de consenso, es posible configurar los parámetros de un patrón de comportamiento. Los patrones de comportamiento se simulan siguiendo una distribución de probabilidad binomial. La configuración de los parámetros de la distribución determinan el comportamiento de los expertos, por ejemplo, definiendo la probabilidad de que un experto acepte una recomendación. Es obvio que la evolución de un PAC será muy distinta si el patrón de comportamiento seleccionado define una probabilidad muy alta de aceptar la recomendación frente a una muy baja.

**Nota:** En el caso de seleccionarse un modelo de consenso que no aplique un proceso de generación de recomendaciones, no es necesario llevar a cabo los dos últimos pasos para comenzar la simulación.

### III-C. Soporte de Información Lingüística Difusa Dudosa en AFRYCA

Posibilitar el modelado de información lingüística dudosa en AFRYCA y el uso de ELCs, ha requerido del desarrollo de nuevos componentes software que han sido incorporados y conectados con el resto de componentes que componen el framework. Estos nuevos componentes han dotado a AFRYCA de nueva funcionalidad que será explicada de forma detallada a continuación.

- *Soporte de conjuntos de términos lingüísticos difusos*: AFRYCA 3.0 permite la creación de conjuntos de térmi-

nos lingüísticos difusos [21]. Los términos lingüísticos de los que se componen el conjunto, son representados mediante etiquetas lingüísticas representadas por funciones de pertenencia triangulares. AFRYCA 3.0 permite la creación de este tipo de conjuntos con cualquier número de etiquetas lingüísticas. Un ejemplo de creación de un conjunto de este tipo se muestra en la Fig. 2.

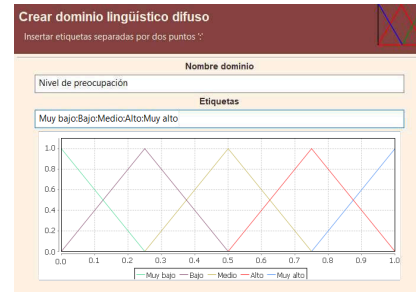


Figura 2. Creación de un conjunto de términos lingüísticos difusos

- *Soporte de relaciones de preferencia lingüísticas dudosas*: AFRYCA modela RPLD cuyos valores están representados por ELCs (ver Fig. 3). Para la generación de las ELCs es indispensable previamente definir un conjunto de términos lingüísticos difusos con el que formar las expresiones. Además, AFRYCA también puede llevar a cabo la transformación de ELCs a CTLDD.

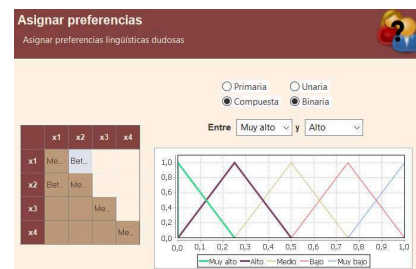


Figura 3. Relación de preferencia lingüística difusa dudosa

- *Modelos difusos de consenso*: La capacidad de tratar información lingüística difusa dudosa en AFRYCA abre un abanico de nuevas posibilidades en cuanto modelos de consenso se refiere. Ahora es posible incluir modelos de consenso que lleven a cabo operaciones con ELCs, lo que permite realizar nuevas comparaciones entre modelos y estudios sobre su funcionamiento. En relación a esto, se ha incorporado un nuevo modelo de consenso [12] que emplea ELCs.
- *Visualización de RPLD*: Una de las principales características de AFRYCA es la visualización de las preferencias de los expertos a los largo del PAC simulado. El incorporar un nuevo tipo de información y por tanto de relación de preferencia, conlleva a incluir nuevas formas de visualización. AFRYCA emplea dos técnicas para visualizar las preferencias de los expertos que son el *escalamiento multidimensional* [6] y la técnica de *análisis*



de componentes principales [18]. Estas dos técnicas han tenido que ser adaptadas para representar la información lingüística difusa dudosa a partir de RPLD.

IV. EJEMPLO ILUSTRATIVO

Con el objetivo de mostrar el funcionamiento de las nuevas funcionalidades de AFRYCA 3.0, relacionadas con la representación y computación de ELCs, esta sección presenta un problema de TDG en el cual los expertos expresan sus opiniones a través de ELCs y que empleará un modelo difuso de consenso orientado a trabajar con ELCs [12].

Spongamos el entrenador de la Selección Nacional de Fútbol que debe realizar la convocatoria de aquellos jugadores que participarán en la Copa del Mundo de 2018 que se celebrará en Rusia. Al ser una decisión tan compleja y delicada, el entrenador no la tomará solo y será aconsejado por sus tres asistentes, tomando la decisión final un total de 4 profesionales,  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$ . Después de disputar todos los partidos de clasificación a la Copa del Mundo el seleccionador y sus asistentes tienen clara la mayor parte de la convocatoria, únicamente queda una plaza vacante que la disputan 4 jugadores,  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ . De los jugadores únicamente será evaluada su técnica con el balón  $C = \{c_1\}$ . Debido a la complejidad de la decisión y a la duda que genera, el entrenador y sus asistentes proporcionan sus preferencias sobre los jugadores usando RPLD cuyos valoraciones están representadas por ELCs. Los técnicos usarán el conjunto de términos lingüísticos representado en la Fig. 4 para generar las ELCs y valorar la calidad de los futbolistas.

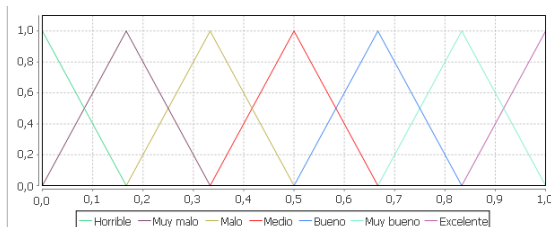


Figura 4. Conjunto de términos lingüísticos

Para resolver de forma consensuada el problema de TDG planteado, seguiremos el esquema de resolución de AFRYCA introducido en la Sección III-B. Se define el problema de TDG junto con todos sus elementos, el conjunto de expertos  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$ , alternativas  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$  y criterios, que en este caso solo es uno que representa la calidad del futbolista  $C = \{c_1\}$ . También se definen las preferencias de los expertos mediante RPLD. La Fig. 5 ilustra la definición del problema empleando AFRYCA.

- *Definición del problema de TDG*
- *Selección del modelo de consenso* Una vez definido el problema, el siguiente paso es seleccionar el modelo de consenso. Para este problema se selecciona el modelo de consenso difuso presentado por Rodríguez et al. [12] (ver Fig 6), centrado en el tratamiento de CTLDDs donde los expertos expresan sus opiniones a partir de ELCs.

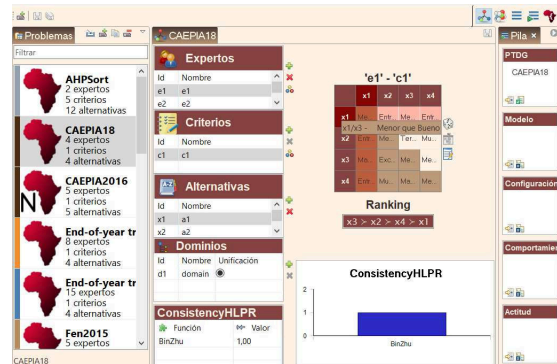


Figura 5. Definición del problema

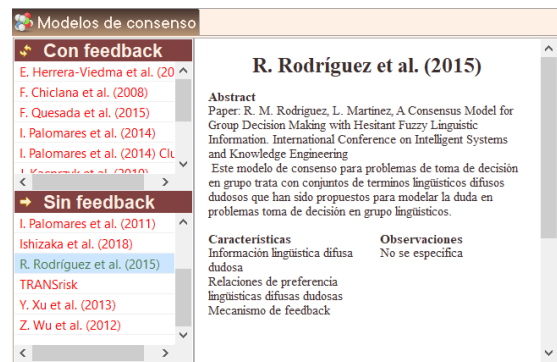


Figura 6. Selección del modelo de consenso

- *Configuración de los parámetros del modelo de consenso* Cuando se selecciona un modelo de consenso, se deben configurar sus parámetros junto con dos adicionales que son incluidos en todos los modelos de consenso, éstos son el umbral de consenso y el máximo número de rondas permitidas en el PAC ( $\mu$  y  $h_{max}$  en Fig. 7). La configuración de los parámetros del modelo seleccionado se representa en la Fig. 7.

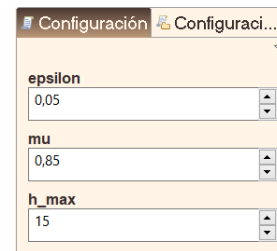


Figura 7. Configuración de parámetros

Ya que el modelo de consenso seleccionado no emplea un mecanismo de generación de recomendaciones, no es necesario llevar a cabo ningún paso más para comenzar con la simulación del PAC y obtener una solución del problema.

Una vez se han completado todos los pasos previamente definidos, se lleva a cabo la simulación del PAC. El resultado

se muestra en la Fig. 8. Además, AFRYCA permite visualizar la evolución de las preferencias de los expertos a lo largo del PAC. Esta visualización, empleando para ello la técnica de escalamiento multidimensional, se muestra en la Fig. 9. Notar que en este tipo de visualización siempre se representa la opinión colectiva del grupo en el centro del eje de coordenadas.

Resultados	
• Consenso alcan...	0,86
• N° de rondas	8
• Ranking	$x_3 > x_4 > x_1 > x_2$
• Conjunto solución	{ $x_3$ }

Figura 8. Resultado de la simulación

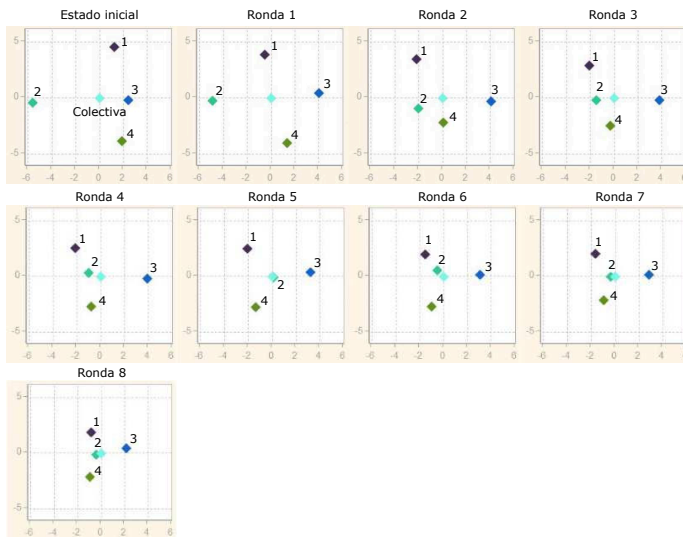


Figura 9. Evolución de las preferencias de los expertos

En la Fig. 8 se muestra que el consenso final alcanzado por los expertos es 0.86, y se han necesitado de un total de 8 rondas para alcanzar el grado de consenso fijado. La Fig. 9 también nos permite ver la evolución de los expertos a lo largo del PAC y como van acercando posturas en las sucesivas rondas de debate. Este acercamiento de posturas puede apreciarse fácilmente, los expertos modifican sus preferencias con el objetivo de llegar a un consenso con el resto del grupo, lo que conlleva a que su opinión esté cada vez más próxima a la opinión colectiva del grupo y su posición en el gráfico tienda hacia el centro. Finalmente, si se aplica un proceso de selección a este consenso, el jugador que debería ser convocado es  $x_3$ .

## V. CONCLUSIONES

AFRYCA es una herramienta software que permite la resolución de problemas de TDG mediante la simulación de PAC, diseñada bajo una arquitectura basada en componentes cuyas principales ventajas son la reusabilidad y la inclusión de nuevas características. En esta contribución se han presentado nuevas funcionalidades de AFRYCA relacionadas con

el manejo de información lingüística difusa dudosa y más concretamente con ELCs. Además se ha descrito tanto la arquitectura como el esquema de resolución del framework. Este conjunto de nuevas funcionalidades abre camino a futuras mejoras en AFRYCA como la inclusión de nuevos modelos difusos de consenso que empleen información lingüística y la incorporación de nuevos tipos de expresiones lingüísticas.

## REFERENCIAS

- [1] S. Alonso, I.J. Pérez, F.J. Cabrerizo, and E. Herrera-Viedma. A linguistic consensus model for web 2.0 communities. *Applied Soft Computing*, 13(1):149–157, 2013.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] J. Kacprzyk. Group decision making with a fuzzy linguistic majority. *Fuzzy Sets and Systems*, 18(2):105–118, 1986.
- [5] Janusz Kacprzyk and Sławomir Zadrozny. Supporting consensus reaching processes under fuzzy preferences and a fuzzy majority via linguistic summaries. In *Preferences and Decisions*, pages 261–279. Springer, 2010.
- [6] J. B. Kruskal and M. Wish. *Multidimensional scaling*, volume 11. Sage, 1978.
- [7] Á. Labella, F. J. Estrella, and L. Martínez. AFRYCA 2.0: an improved analysis framework for consensus reaching processes. *Progress in Artificial Intelligence*, pages 1–14, 2017.
- [8] J. Lu, G. Zhang, D. Ruan, and F. Wu. *Multi-Objective Group Decision Making*. Imperial College Press, 2006.
- [9] S.A. Orlovsky. Decision-making with a fuzzy preference relation. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(3):155–167, July 1978.
- [10] 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*, 20:252–271, 2014.
- [11] R. M. Rodríguez, M. Espinilla, P. J. Sánchez, and L. Martínez. Using linguistic incomplete preference relations to cold start recommendations. *Internet Research*, 20(3):296–315, 2010.
- [12] R. M. Rodríguez and L. Martínez. A consensus model for group decision making with hesitant fuzzy linguistic information. In *Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE), 2015 10th International Conference on*, pages 540–545. IEEE, 2015.
- [13] R. M. Rodríguez, L. Martínez, and F. Herrera. A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets. *Information Sciences*, 241(1):28–42, 2013.
- [14] R.M. Rodríguez, A. Labella, and L. Martínez. An overview on fuzzy modelling of complex linguistic preferences in decision making. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9:81–94, 2016.
- [15] R.M. Rodríguez, L. Martínez, and F. Herrera. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(1):109–119, 2012.
- [16] M. Roubens. Fuzzy sets and decision analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2):199–206, 1997.
- [17] S. Saint and J. R. Lawson. *Rules for Reaching Consensus. A Modern Approach to Decision Making*. Jossey-Bass, 1994.
- [18] S. Wold, K. Esbensen, and P. Geladi. Principal component analysis. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 2(1-3):37–52, 1987.
- [19] M. Xia and Z. Xu. Managing hesitant information in GDM problems under fuzzy and multiplicative preference relations. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 21(06):865–897, 2013.
- [20] J. Yang, J. Liu, J. Wang, H. Sii, and W. Hong-Wei. Belief rule-based inference methodology using the evidential reasoning approach-rimer. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics-part A: Systems and Humans*, 36(2):266–285, 2006.
- [21] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3):338–353, 1965.
- [22] L. A. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—i. *Information sciences*, 8(3):199–249, 1975.