

FLINTSTONES: UNA SUITE PARA LA TOMA DE DECISIONES LINGÜÍSTICAS BASADA EN 2-TUPLA LINGÜÍSTICAS Y EXTENSIONES

Francisco Javier Estrella¹, Macarena Espinilla¹, Luis Martínez¹

¹Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, 23071, Jaén, {estrella,mestevez,martin}@ujaen.es

Resumen

En esta contribución nos centramos en la Toma de Decisiones Lingüística (TDL), la cual emplea valoraciones expresadas en variables lingüísticas para modelar la incertidumbre en los problemas de TD. En la TDL es necesario llevar a cabo procesos de computación con palabras (CWW, Computing With Words) para operar sobre las valoraciones lingüísticas, por ello se han propuesto en la literatura diferentes modelos y herramientas para realizar dichos procesos. El modelo lingüístico basado en 2-tupla permite realizar los procesos de CWW sin pérdida de información, posibilitando además hacer frente a marcos de decisión complejos a través de sus extensiones. Tanto el modelo lingüístico basado en 2-tupla como sus extensiones han sido ampliamente utilizados en diversas aplicaciones. Sin embargo, no existe ninguna herramienta software que los implemente para abordar problemas de TDL definidos en marcos complejos. En esta contribución se presenta la arquitectura y funcionalidad de FLINTSTONES, una suite de herramientas software para la resolución de problemas de TDL basada en el modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones. Además, es también presentado el sitio web desarrollado para FLINTSTONES, el cual incluye un repositorio de casos de estudio para diferentes problemas de TDL.

Palabras Clave: Suite de herramientas software, Toma de decisiones, 2-tupla lingüística, Información lingüística, Computación con palabras.

1 INTRODUCCIÓN

La Toma de Decisiones (TD) es el proceso mediante el cual seleccionamos la mejor alternativa de entre un conjunto dado [10]. De forma general, es posible descomponer el esquema de resolución de un problema de TD en 6 fases, las

cuales se muestran en la Figura 1.

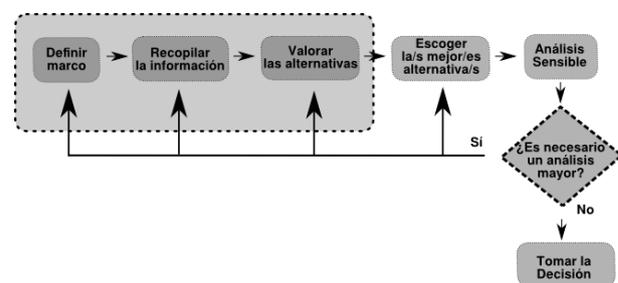


Figura 1: Esquema de un proceso de TD

Para llevar a cabo esta selección, en las distintas fases del esquema se fija el marco de decisión donde se establecen los elementos que intervienen en el problema y se recogen las diferentes valoraciones sobre las alternativas que son agregadas a fin de obtener una valoración agregada de cada alternativa. En función de dichas valoraciones, se seleccionarán la alternativa o conjunto de alternativas que constituyen la solución del problema.

A menudo, los problemas de TD están definidos en un contexto de incertidumbre que tiene un carácter no probabilístico por lo que es adecuado el uso de términos lingüísticos cercanos al modo en el que se expresan habitualmente los expertos. La lógica difusa y el enfoque lingüístico difuso [12] brindan un conjunto de herramientas para modelar y gestionar la incertidumbre por medio de variables lingüísticas, lo cual proporciona una mejora en la flexibilidad y fiabilidad de los modelos de decisión en múltiples campos [9].

El uso de variables lingüísticas en los procesos de TD (TDL, Toma de Decisión Lingüística) implica la realización de procesos de computación con palabras (CWW, Computing With Words) como la comparación, la negación o la agregación de variables lingüísticas [11]. En estos procesos, los cálculos son realizados sobre palabras o frases en lenguaje natural a fin de obtener resultados en el dominio de expresión lingüístico original que faciliten su interpretación. Debido a la naturaleza de la información con la que trabajamos en los procesos de CWW, es necesario aplicar

una fase de traslación que nos permita operar computacionalmente y una fase de retraslación en la que los resultados son convertidos al dominio de expresión lingüístico original (Véase Figura 2) [11].



Figura 2: Esquema de CWW

Si bien el modelado de las valoraciones lingüísticas y los procesos de CWW nos permiten resolver convenientemente ciertos tipos de problemas de TDL, en el mundo real, gran cantidad de problemas de TDL se encuentran definidos en marcos más complejos donde para valorar las alternativas es necesario utilizar también dominios numéricos e intervalares, o con múltiples escalas lingüísticas o escalas lingüísticas no balanceadas. Al utilizar diferentes dominios de expresión, en estos marcos la fase de traslación indicada en el esquema de la Figura 2 se corresponde con una *unificación* de las valoraciones, en la cual, toda la información es unificada en un mismo dominio de expresión que permita posteriormente realizar la fase de manipulación.

El modelo de representación lingüístico 2-tupla [4], el cual está basado en el enfoque lingüístico difuso, es un modelo flexible y adaptable para resolver problemas de TDL en todo tipo de marcos decisión, habiendo sido ampliado con diferentes extensiones para llevar a cabo procesos de CWW en marcos de decisión complejos como los anteriores.

En la literatura podemos encontrar diversos ámbitos en los que el modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones han sido aplicados con éxito [9] entre los que se encuentran evaluación del riesgo, sistemas de recomendación y desarrollo de nuevos productos. A pesar de ello, no existen herramientas software que implementen estos modelos y que permitan llevar a cabo los procesos de CWW para resolver problemas de TD lingüísticos y en marcos complejos.

En esta contribución se presenta FLINTSTONES (Fuzzy LINGuisTic deciSion TOols eNhancEment Suite)¹, una suite de herramientas software para la resolución de problemas de TDL basada en el modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones. FLINTSTONES permite abordar problemas de TDL definidos en marcos complejos bajo un enfoque unificado que automatiza, simplifica y optimiza el proceso de resolución de los mismos. A fin de poner de manifiesto de forma clara todas las posibilidades que brinda la suite, vamos a presentar la arquitectura de la misma así como sus funcionalidades más relevantes, además del sitio web desarrollado para la suite, el cual alberga diversos recursos adicionales.

Esta contribución se estructura del siguiente modo: la Sección 2 realiza una breve revisión de los conceptos teóricos necesarios. La Sección 3 presenta FLINTSTONES, expo-

niendo su arquitectura y funcionalidad. Por último, la Sección 4 detalla las conclusiones y trabajos futuros de esta contribución.

2 PRELIMINARES

En la suite de herramientas software que se presenta en esta contribución se emplea el modelo lingüístico basado en la representación 2-tupla para realizar los procesos de CWW. En esta sección se revisan los fundamentos básicos de dicho modelo así como sus diferentes extensiones desarrolladas para tratar con marcos complejos.

2.1 MODELO LINGÜÍSTICO 2-TUPLA

En el modelo lingüístico 2-tupla, los procesos de CWW se realizan sobre información lingüística expresada mediante 2-tupla, permitiendo trabajar en un dominio de expresión lingüístico, pero tratándolo como un universo continuo, siendo los resultados obtenidos valores lingüísticos 2-tupla. Al considerar el dominio de expresión lingüístico como un universo continuo, no se presenta pérdida de precisión.

El modelo de representación lingüístico 2-tupla se basa en el concepto de traslación simbólica [4].

Definición 1 Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor en el intervalo de granularidad de S . La traslación simbólica de un término lingüístico s_i es un número valorado en el intervalo $[-.5, .5]$ que expresa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0, g]$ obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo, $i \in \{0, \dots, g\}$, que indica el índice de la etiqueta lingüística (s_i) más cercana en S .

En este modelo, la representación de la información se realiza mediante un par de valores denominado *2-tupla*, (s_i, α) , donde $s_i \in S$ es la etiqueta lingüística y $\alpha \in [-.5, .5]$ la traslación simbólica de la misma.

El modelo define un conjunto de funciones que permite operar sobre 2-tupla sin pérdida de información.

Definición 2 Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica. El conjunto de 2-tupla asociado a S es definido como $\langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5]$ y la función $\Delta_S : [0, g] \rightarrow \langle S \rangle$ es dada por:

$$\Delta_S(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} i = \text{round}(\beta), \\ \alpha = \beta - i, \end{cases} \quad (1)$$

donde *round* es un operador de redondeo, s_i es la etiqueta con índice más cercano a β y α es el valor de la traslación simbólica.

El modelo de representación basado en 2-tupla lingüísticas

¹<http://serezade.ujaen.es/flintstones>

define un modelo computacional asociado en el que se definen operadores para la comparación y negación de valoraciones lingüísticas 2-tupla así como un amplio conjunto de operadores de agregación 2-tupla [4].

2.2 EXTENSIONES DEL MODELO LINGÜÍSTICO 2-TUPLA PARA MARCOS COMPLEJOS

En algunas ocasiones, los problemas de TD se encuentran definidos en marcos complejos. El modelo lingüístico 2-tupla ha sido ampliado con diferentes extensiones que permiten llevar a cabo los procesos de CWW en varios de estos marcos (ver Tabla 1). A continuación, detallamos los marcos complejos que pueden ser abordados empleando las extensiones del modelo lingüístico 2-tupla:

- *Marcos heterogéneos* en los que las valoraciones pueden expresarse en diferentes dominios de expresión, como dominios intervalares, numéricos o lingüísticos en función de la naturaleza del criterio a valorar.
- *Marcos lingüísticos multigranulares* en los que las valoraciones del problema están representadas en múltiples escalas lingüísticas en función del grado de conocimiento de cada experto sobre el problema.
- *Marcos lingüísticos no balanceados* en los que las valoraciones están representadas en una escala lingüística no uniforme ni simétricamente distribuida.

Tabla 1: Extensiones basadas en 2-tupla lingüística

Marco	Extensión
Lingüístico	2-Tuple linguistic representation model [4]
Heterogéneo	Fusion for heterogeneous information [7]
Multigranular	Fusion-approach for managing multi-granular linguistic information [5] Linguistic Hierarchies [6] Extended Linguistic Hierarchies [2]
No balanceado	Methodology to deal with unbalanced linguistic term sets [8]

3 FLINTSTONES

Una vez revisados los conceptos teóricos básicos, pasamos a presentar en esta sección la suite de herramientas software FLINTSTONES. Para ello, expondremos inicialmente la arquitectura de esta suite para, seguidamente, realizar una descripción de la funcionalidad de la misma. Finalmente se presenta el sitio web de FLINTSTONES, el cual alberga información adicional así como un repositorio de casos de estudio que contiene diferentes problemas de TDL.

3.1 ARQUITECTURA

FLINTSTONES está desarrollada como una aplicación *Eclipse Rich Client Platform* (Eclipse RCP)². Eclipse RCP es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones ricas de escritorio creada por IBM y mantenida por la comunidad Eclipse destinada al desarrollo de aplicaciones de escritorio que puedan ser ampliadas, modificadas y reutilizadas

²<http://www.eclipse.org/home/categories/rcp.php>

con facilidad. Eclipse RCP hace uso de una *arquitectura basada en componentes* la cual intenta paliar algunos de los problemas más comunes en el desarrollo del software como son la reutilización, el mantenimiento, la ampliación o la modificación.

Al emplear una arquitectura basada en componentes es necesario asegurar que los diferentes componentes que conforman la aplicación pueden interoperar. Para ello es establecido un *modelo de componentes* que fija el estándar a seguir en el desarrollo. Han sido propuestos varios modelos, siendo algunos de los más extendidos el modelo CORBA de OMG, el modelo EJB de Sun, el modelo COM+ de Microsoft y el modelo OSGi de OSGi Alliance. En nuestro caso, hacemos uso del modelo OSGi, al ser éste el empleado en Eclipse RCP.

Para el desarrollo de FLINTSTONES se han implementado varios componentes OSGi, los cuales pueden ser agrupados en cuatro tipos básicos: interfaz (GUI), soporte a los procesos de TD (bibliotecas), operadores de agregación (operadores) y métodos de resolución lingüísticos que implementan las diferentes extensiones 2-tupla (métodos).

Para la implementación de los diversos componentes, se han empleado diferentes tecnologías, siendo las más destacadas las recogidas a continuación.

- *Eclipse RCP*: plataforma de desarrollo de aplicaciones de escritorio orientadas a componentes.
- *Java*³: lenguaje de programación orientado a objetos multiplataforma.
- *jExcelApi*⁴: biblioteca para la generación y lectura de hojas de cálculo Excel.
- *jFreeChart*⁵: biblioteca para la generación de gráficas.

La Figura 3 muestra el diagrama de arquitectura de FLINTSTONES donde, por motivos de visualización, únicamente se recogen algunos de los componentes implementados.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA SUITE

El objetivo central de FLINTSTONES es proporcionar una suite de herramientas software que permita la resolución de los problemas de TDL definidos en marcos complejos, empleando para ello el modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones. En esta sección se describen los problemas de TD que resuelve FLINTSTONES y el esquema de resolución que sigue.

3.2.1 Problemas de TD

FLINTSTONES resuelve problemas de decisión multiatributo, es decir, aquellos en los que las alternativas están caracterizadas por un conjunto de elementos denominados

³<http://www.java.com/>

⁴<http://jexcelapi.sourceforge.net/>

⁵<http://www.jfree.org/jfreechart/>

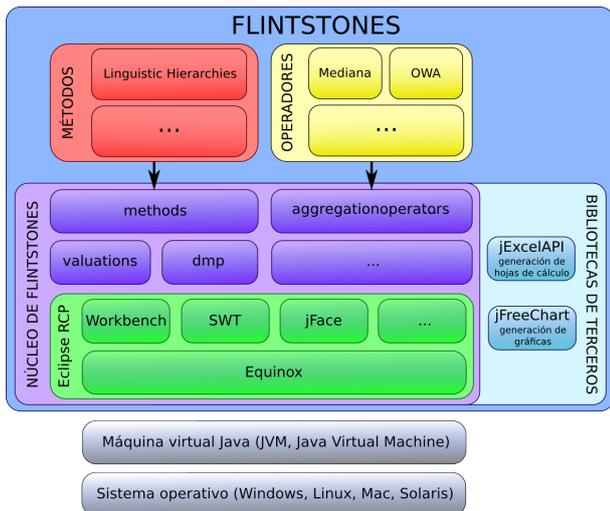


Figura 3: Arquitectura de FLINTSTONES

atributos, los cuales tienen asignado un peso, y donde se requiere la asignación de valoraciones individuales para cada atributo de cada una de las alternativas posibles. La suite permite resolver problemas de TD en grupo donde participan múltiples expertos que aportan sus valoraciones sobre las alternativas.

Los métodos de resolución implementados en la suite están basados en el modelo aditivo (WSM, Weighted Sum Model) [3], permitiendo la suite incorporar otros métodos de resolución alternativos como los basados en distancias a la solución ideal [1].

3.2.2 Esquema de Resolución

Para la resolución de problemas de TD definidos en marcos lingüísticos y marcos complejos, FLINTSTONES se basa en las fases principales del esquema de resolución presentado en la Figura 1, esto es: i) Definición del Marco ii) Recopilación de la información y iii) Valoración de las alternativas, sirviendo la valoración de las alternativas de apoyo al resto de las fases a realizar en el proceso de TD. Vamos a detallar estas fases junto con las funcionalidades más relevantes de la suite.

Definición del Marco

En FLINTSTONES se define el marco del problema de TD desde la perspectiva *Framework* especificando i) los expertos que participan en el problema, ii) las alternativas a valorar, iii) los atributos que caracterizan a las alternativas y iv) los dominios de expresión donde los expertos valorarán los atributos definidos para las alternativas (Véase Figura 4).

La suite permite definir grupos de expertos y de atributos así como indicar si un atributo dado es de coste o beneficio. Además, es posible crear dominios de expresión de diferente naturaleza de modo que los expertos puedan emplear el dominio más adecuado para expresar sus valoraciones

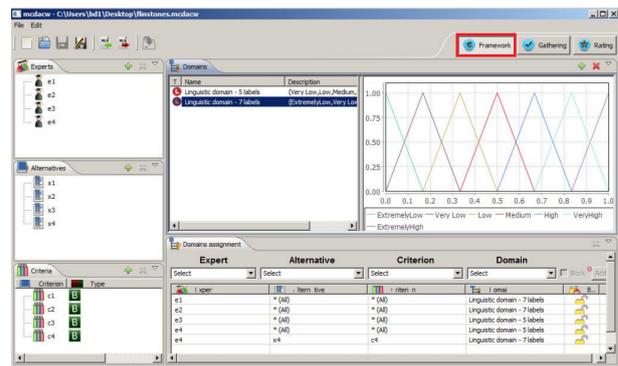


Figura 4: Marco de un problema de decisión

atendiendo a la naturaleza de los atributos a valorar o a su conocimiento del problema. Concretamente se permite crear dominios lingüísticos, numéricos e intervalares, proporcionándose asistentes con los que generar fácilmente dominios lingüísticos simétricos y uniformemente distribuidos así como dominios lingüísticos no balanceados. Opcionalmente, pueden ser fijados los dominios de expresión empleados por los expertos para valorar los atributos definidos para las diferentes alternativas.

Recopilación de la Información

Definido el marco se pasa a la siguiente fase, la recopilación de la información, en la cual cada experto proporciona sus valoraciones para cada una de las alternativas valorando para ello los diferentes atributos definidos para cada alternativa. En FLINTSTONES esta fase es realizada desde la perspectiva *Gathering*, mostrándose un ejemplo de la misma en la Figura 5.

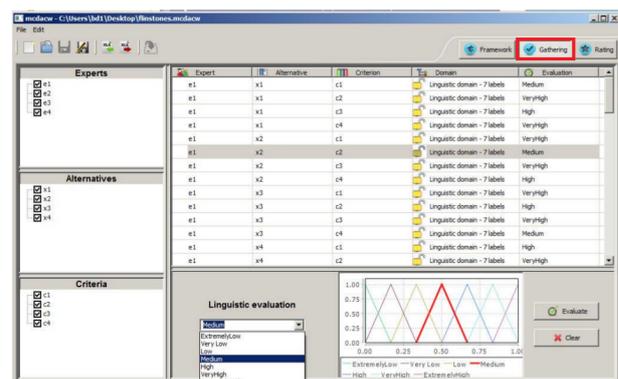


Figura 5: Recopilación de la información

A fin de facilitar la recopilación de la información, FLINTSTONES también permite realizar esta fase desde hojas de cálculo Excel (Véase Figura 6), que son generadas de forma automática. Para facilitar su uso, las hojas de cálculo generadas cuentan con diversos mecanismos de ayuda como la separación de experto por pestañas, el au-

tocompletado, ayuda contextual sobre las valoraciones permitidas, control de valores erróneos, bloqueo de celdas, etc.

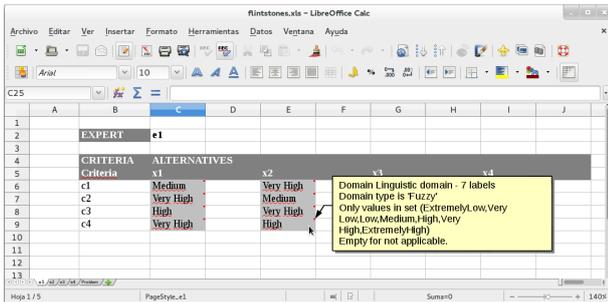


Figura 6: Hoja de cálculo generada

Valoración de las alternativas

En esta última fase es calculada la valoración colectiva de cada una de las alternativas mediante el método de resolución basado en el modelo aditivo a través del modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones.

FLINTSTONES implementa todas las extensiones indicadas en la Tabla 1 para resolver problemas de TDL definidos en marcos complejos. Cabe notar que, independientemente de la extensión utilizada, todos las valoraciones globales de las alternativas son expresadas en valores lingüísticos 2-tupla para facilitar su comprensión.

FLINTSTONES es capaz de indicar aquella extensión más adecuada para resolver el problema de TD a partir de un algoritmo de selección que toma como parámetros de entrada las características del problema de decisión. Además, FLINTSTONES puede detectar si una extensión puede ser empleada en un problema concreto o no, indicando en tal caso el motivo que impide su uso (Véase Figura 7).

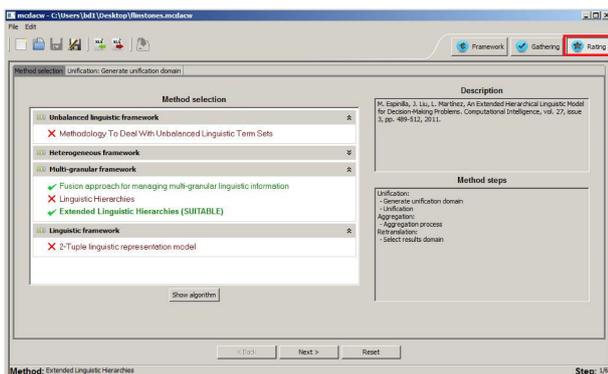


Figura 7: Selección del método de resolución

La valoración de las alternativas es llevada a cabo siguiendo las tres etapas indicadas en el esquema genérico de los procesos de CWW mostrado en la Figura 2. En función de la extensión seguida en el método para resolver el problema de decisión, se llevarán a cabo las etapas que podrán estar

divididas en un conjunto de pasos propios. Así, la valoración de las alternativas es calculada del siguiente modo:

1. *Proceso de unificación.* En caso de que sea utilizada una extensión, todas las valoraciones son unificadas en un mismo dominio lingüístico como valoraciones lingüísticas 2-tupla de modo que posteriormente pueda ser llevado a cabo el proceso de agregación.
2. *Proceso de agregación.* Se ofrece una batería de los operadores de agregación más habituales, los cuales cubren las necesidades más frecuentes de los diferentes problemas a resolver. Seleccionados los operadores de agregación a emplear son calculadas de forma automatizada las valoraciones colectivas de cada alternativa a partir de las valoraciones unificadas obtenidas en el proceso de unificación (Véase Figura 8). En la versión actual, la suite incorpora los operadores: *máximo*, *mínimo*, *mediana*, *media aritmética*, *media ponderada* y *media ponderada ordenada*.

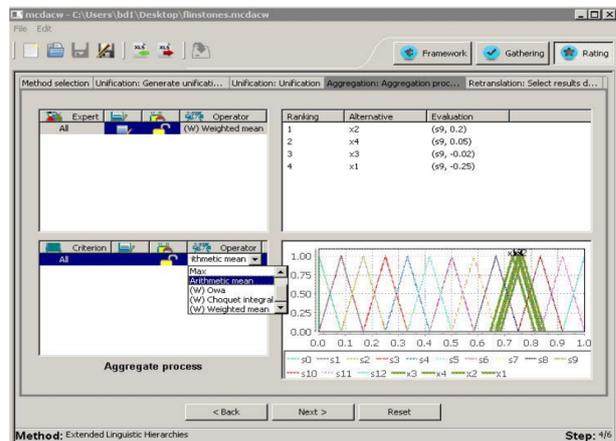


Figura 8: Proceso de agregación

3. *Proceso de retraslación.* Las valoraciones colectivas de cada alternativa son expresadas en un dominio lingüístico que pueda ser fácilmente interpretado.

3.3 SITIO WEB DE FLINTSTONES

A fin de facilitar la difusión de FLINTSTONES, se ha desarrollado un sitio web⁶ en el que están disponibles diversos recursos que complementan la herramienta.

El sitio web se encuentra dividido en varias secciones, las cuales describimos brevemente a continuación:

- *Description (Descripción).* Se muestra una descripción de la suite y de sus principales fundamentos teóricos, como el paradigma de CWW o el modelo de representación lingüístico 2-tupla.

⁶http://serezade.ujaen.es/flintstones

- *Software Tool (Herramienta software)*. Se encuentran las versiones publicadas de FLINTSTONES, las cuales se distribuyen bajo los términos de la General Public License (GNU)⁷. Están disponibles versiones de 32 y 64 bits para los sistemas operativos Windows y GNU/Linux con las que es posible crear, gestionar y resolver problemas de TD en marcos lingüísticos y complejos con un máximo de 4 expertos, 4 alternativas y 4 atributos.
- *Case Studies Repository (Repositorio de casos de estudio)*. Se encuentran varios casos de estudio de diferentes problemas de TD en marcos lingüísticos y complejos que pueden ser resueltos con la suite. Cada caso de estudio está asociado con un dataset en el cual está definido el marco del problema de TD y las valoraciones realizadas por los expertos. Además, cada caso de estudio está asociado con la publicación en la cual el modelo de representación lingüístico 2-tupla o alguna de sus extensiones han sido aplicadas con éxito.
- *Video Tutorials (Video tutoriales)*. Diferentes vídeo tutoriales que pueden ser directamente reproducidos desde el sitio web muestran como utilizar la suite.

4 CONCLUSIONES

En esta contribución hemos presentado FLINTSTONES, una suite de herramientas software basada en el modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones destinada a la resolución de problemas de toma de decisión definidos en marcos lingüísticos y complejos. Para ello hemos descrito la arquitectura y funcionalidad básica de la suite así como el sitio web desarrollado para proporcionar soporte y albergar diversos recursos adicionales.

Como trabajo futuro, se pretende continuar con el desarrollo de la suite, incorporando un mayor número de operadores de agregación, de métodos de resolución lingüísticos y de funcionalidades adicionales que faciliten la resolución de problemas de toma de decisión.

Agradecimientos

Esta contribución está parcialmente financiada por los proyectos de investigación TIN2012-31263 y AGR-6487.

Referencias

- [1] C.T. Chen. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 114, issue 1, pp. 1-9, 2000.
- [2] M. Espinilla, J. Liu, L. Martínez. An Extended Hierarchical Linguistic Model for Decision-Making Problems. *Computational Intelligence*, vol. 27, issue 3, pp. 489-512, 2011.
- [3] P.C. Fishburn. Letter to the Editor—Additive Utilities with Incomplete Product Sets: Application to Priorities and Assignments. *Operations Research*, 15(3), 537-542. 1967.
- [4] F. Herrera, L. Martínez. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 8 (6), 746-752., 2000.
- [5] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez. A Fusion Approach for Managing Multi-Granularity Linguistic Term Sets in Decision Making. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 114, issue 1, pp. 43-58, 2000.
- [6] F. Herrera, L. Martínez. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranularity hierarchical linguistic contexts in Multiexpert Decision-Making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, vol. 31, issue 2, pp. 227-234, 2001.
- [7] F. Herrera, L. Martínez, P.J. Sánchez. Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research* 166 (1), 115-132, 2005.
- [8] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez. A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 16 (2), 354-370, 2008.
- [9] L. Martínez, F. Herrera. An overview on the 2-tuple linguistic model for Computing with Words in Decision Making: Extensions, applications and challenges. *Information Sciences*, vol. 207, issue 1, pp. 1-18, 2012.
- [10] W. Pedrycz, P. Ekel, R. Parreiras. *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, UK. 2010.
- [11] R.R. Yager. On the retranslation process in zadeh's paradigm of computing with words. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, *IEEE Transactions on* 34 (2), 1184-1195, 2004.
- [12] L.A. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences, Part I, II, III* 8,8,9, 199-249,301-357,43-80, 1975.

⁷<http://www.gnu.org>