

# Application of a multigranular approach based on the 2-tuple fuzzy linguistic model for the evaluation of forestry policy indicators

## Aplicación de un enfoque multigranular basado en el modelo lingüístico difuso 2-tupla para la evaluación de indicadores de política forestal

José L. Romo-Lozano<sup>1</sup>; Rosa M. Rodríguez<sup>\*2</sup>; Roberto Rendón-Medel<sup>1</sup>; Álvaro Labella<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo. C. P. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas. C. P. 23071. Jaén, España.

\*Corresponding author: [rmrodrig@ujaen.es](mailto:rmrodrig@ujaen.es); tel.: +34 953212155.

### Abstract

**Introduction:** The need for quality indicators is well recognized by users and proponents of public policy evaluation. Indicators recurrently include qualitative attributes for which there are few studies assessing the level of compliance.

**Objective:** To apply a multigranular approach, based on the 2-tuple fuzzy linguistic model, to evaluate 13 indicators of the National Forestry Program, established in the system of social policy indicators derived from the National Development Plan 2012-2018 of Mexico.

**Materials and methods:** The method uses the 2-tuple fuzzy linguistic representation model and an extension called extended linguistic hierarchies, designed to solve problems with multigranular linguistic information. The indicators' level of compliance was evaluated based on four criteria: clarity, relevance, monitoring, and adequacy.

**Results and discussion:** The structure defined in evaluating social policy indicators corresponds appropriately to that used with the 2-tuple fuzzy linguistic model. The evaluation resulted in a sorted list in which the indicator "Rate of change of timber forest production" had the best rating with a "very high" level of compliance; 10 other indicators had the "high" level of compliance, and the remaining two indicators were rated with "moderate" compliance.

**Conclusions:** The 2-tuple fuzzy linguistic model allowed the appropriate evaluation of the level of compliance with the desirable attributes of indicators.

### Resumen

**Introducción:** La necesidad de indicadores de calidad es notoriamente reconocida por usuarios y proponentes en el tema de evaluación de políticas públicas. Los indicadores incluyen, de manera recurrente, atributos cualitativos para los cuales hay pocos estudios que evalúen el nivel de cumplimiento.

**Objetivo:** Aplicar un enfoque multigranular, basado en el modelo lingüístico difuso 2-tupla, a la evaluación de 13 indicadores del Programa Nacional Forestal, establecidos en el sistema de indicadores de la política social derivados del Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 de México.

**Materiales y métodos:** El método utiliza el modelo de representación lingüístico difuso 2-tupla y una extensión llamada jerarquías lingüísticas extendidas, diseñada para resolver problemas con información lingüística multigranular. El nivel de cumplimiento de los indicadores se evaluó con base en cuatro criterios: claridad, relevancia, monitoreo y adecuación.

**Resultados y discusión:** La estructura que se define en el proceso de evaluación de indicadores de política social corresponde de manera apropiada a la utilizada con el modelo lingüístico difuso 2-tupla. La evaluación resultó en una lista ordenada en la que el indicador "Tasa de variación de la producción forestal maderable" obtuvo la mejor calificación con un nivel de cumplimiento "muy alto"; otros 10 indicadores tuvieron el nivel de cumplimiento "alto" y los dos indicadores restantes se calificaron con un cumplimiento "medio".

**Conclusiones:** El modelo lingüístico difuso 2-tupla permitió la evaluación apropiada del nivel de cumplimiento de los atributos deseables en los indicadores.

**Keywords:** National Forest Program; qualitative assessment; fuzzy sets; linguistic hierarchies; expert panels.

**Palabras clave:** Programa Nacional Forestal; evaluación cualitativa; conjuntos difusos; jerarquías lingüísticas; paneles de expertos.

## Introduction

In the area of public policy, there is a variety of indicators used for the evaluation of different stages and outcomes of interest (De la Cuesta, Pardo, & Paredes, 2015; Guayanlema, Fernández, & Arias, 2017; Guillen, Badi, Garza, & Acuña, 2015). Users and proponents notoriously recognize the need for quality indicators. In Mexico, the literature reports very few studies that address compliance levels that the criteria must satisfy. One of these studies was conducted by the National Council for the Evaluation of Social Development Policy (CONEVAL, 2014), and another was performed by the World Bank (2016).

The CONEVAL's evaluation proposal consists of two stages: integral assessment and specific assessment of results indicators. This process involves the participation of public servants, those responsible for the programs to which the indicators correspond, and representatives of the federal public sector. The first stage consists of determining whether indicators meet the minimum design criteria: clarity, relevance, monitoring, and adequacy. Two methodological support sheets are used: the results indicator matrix sheet and the indicator evaluation sheet. All questions used in the sections of these sheets are binary (yes/no). The second stage (specific assessment) is intended to determine the compliance with the indicators' minimum consistency criteria. Questions included are also binary, and the evaluator is asked to add the reason for his/her answer. Furthermore, the CONEVAL performs a statistical validation by applying a Rasch metric model used, in a wide range of situations to measure subjective valuation. Finally, based on the results of these two stages and observations derived from statistical validation, an approval report is issued, if applicable, for the set of indicators of the corresponding program.

On the other hand, the instrument proposed by a World Bank Group, "Tool for evaluating the quality of indicators," like the CONEVAL evaluation process, involves a broad group of invitees with sufficient experience in the sector to which the programs being evaluated with the indicators in question correspond. The process includes three parts: (a) evaluation of the quality of indicators, (b) evaluation of the quality of indicator targets, and (c) evaluation of the quality of information sources. Most of the data collection forms have four response options: 0 when the question's assumption is not satisfied, 3 when there is an intermediate level of satisfaction, 5 when the level of satisfaction is null, and 99 when it is not applicable. Finally, averages are calculated and converted to percentages with which the quality of the indicators analyzed is rated.

## Introducción

En el ámbito de las políticas públicas existe una variedad de indicadores utilizados para la evaluación de distintas etapas y resultados de interés (De la Cuesta, Pardo, & Paredes, 2015; Guayanlema, Fernández, & Arias, 2017; Guillen, Badi, Garza, & Acuña, 2015). La necesidad de indicadores de calidad es notoriamente reconocida por usuarios y proponentes. En México, la literatura reporta muy pocos estudios que aborden los niveles de cumplimiento que los criterios deben satisfacer. Dos de estos estudios son el realizado por el Consejo Nacional de Evaluación de Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2014) y otro aplicado por el Banco Mundial (2016).

La propuesta de evaluación del CONEVAL consta básicamente de dos etapas: valoración integral y valoración específica de indicadores de resultados. Este proceso involucra la participación de servidores públicos, responsables de los programas a los cuales corresponden los indicadores, y representantes del sector público federal. La primera etapa consiste en determinar si los indicadores cumplen con los criterios mínimos de diseño: claridad, relevancia, monitoreo y adecuación. Para ello, se utilizan dos fichas de apoyo metodológico: ficha de la matriz de indicadores para resultados y ficha de evaluación de indicadores. Todas las preguntas utilizadas en los apartados de estas fichas son de carácter binario (sí/no). La segunda etapa (valoración específica) tiene la finalidad de determinar el cumplimiento de los criterios mínimos de consistencia en los indicadores. Las preguntas que se incluyen en la valoración de los participantes también son de carácter binario y se pide al evaluador que agregue la razón de por qué sí o por qué no. Adicionalmente, el CONEVAL hace una validación estadística mediante la aplicación de un modelo métrico de Rasch, el cual se usa en una gama amplia de situaciones para medir valoración subjetiva. Finalmente, basado en los resultados de estas dos etapas y las observaciones derivadas de la validación estadística, se emite un dictamen de aprobación, en su caso, del conjunto de indicadores del programa correspondiente.

Por otra parte, el instrumento propuesto por un grupo del Banco Mundial, "Herramienta para evaluar la calidad de los indicadores", al igual que el proceso de evaluación del CONEVAL, involucra a un grupo amplio de invitados con experiencia suficiente en el sector al cual corresponden los programas que se evalúan con los indicadores en cuestión. El proceso incluye tres partes: (a) evaluación de la calidad de los indicadores, (b) evaluación de la calidad de las metas de los indicadores, y (c) evaluación de la calidad de las fuentes de información. Las preguntas de las fichas de recolección de la información, en su mayoría,

Evaluations and analyses of indicators have been conducted in several areas of knowledge. For example, Kühnen and Hahn (2017) reviewed trends, consistencies, inconsistencies, and gaps in investigating social life cycle assessment indicators. Whitehead (2017) analyzed and prioritized a list of sustainability indicators. Vignesh et al. (2017) evaluated a set of pollution indicators. The list of this type of indicator assessment includes Evans, Strezov, and Evans (2009), and Chenoweth (2008).

Evaluation processes that frequently use quantitative and qualitative information commonly correspond to a complex framework with a high degree of uncertainty, which has traditionally been approached from probabilistic models in classical decision theory; however, uncertainty involves aspects with a non-probabilistic character, because they are related to imprecision and vagueness of the meaning perceived by those performing the evaluation (Martínez, Rodríguez, & Herrera, 2015; Torres & Tranchita, 2014). When the information used in the evaluation process is qualitative, the use of linguistic variables represents a good option to model it (Herrera & Martínez, 2001a). In this respect, “Human beings possess two remarkable capabilities; the first is the ability to communicate, reason, and make rational decisions in an environment of imprecision, uncertainty, and incomplete information. The second is the ability to execute a wide variety of physical and mental tasks without any measurement and no calculations” (Mendel et al., 2010). Also, there are examples of successful applications in different fields where assessments have been performed using fuzzy logic (Gothwal & Raj, 2019; Montignac et al., 2015; Pirlot, Teghem, Ulungu, Bulens, & Goffin, 2015; Wang, Yang, & Cheng, 2019).

The present research objective was to apply a multigranular approach based on the 2-tuple fuzzy linguistic model to the evaluation of 13 indicators of the National Forestry Program established in the system of social policy indicators derived from the National Development Plan 2012-2018 of Mexico.

## Materials and methods

The method proposed in this study for the evaluation of indicators differs from those already mentioned. It uses tools developed in the framework of fuzzy logic, specifically, the 2-tuple fuzzy linguistic representation model proposed by Herrera and Martínez (2000) and the extended linguistic hierarchy approach (ELH) developed by Espinilla, Liu, and Martínez (2011).

The evaluation of indicators is framed in a decision-making process. In this sense, Martínez et al. (2015) consider that such a process comprises at least the following five phases: intelligence, modeling,

contemplan cuatro opciones de respuesta: 0 cuando no se satisface el supuesto de la pregunta, 3 cuando hay un nivel intermedio de satisfacción, 5 cuando el nivel de satisfacción es nulo y 99 cuando no aplica. En la parte final de la metodología se calculan promedios y se convierten a porcentajes con los cuales se califica la calidad de los indicadores analizados.

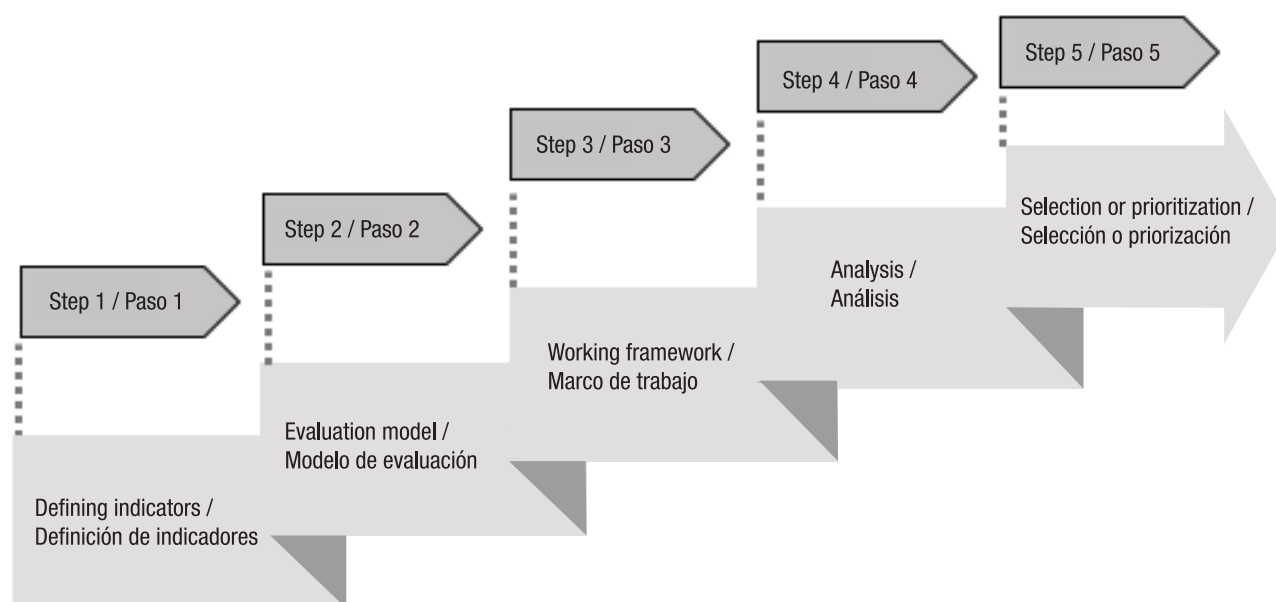
A nivel general, se han realizado evaluaciones y análisis de indicadores en varias áreas del conocimiento. Por ejemplo, Kühnen y Hahn (2017) revisaron tendencias, coherencias, inconsistencias y vacíos en la investigación de indicadores de evaluación del ciclo de vida social. Whitehead (2017) analizó y priorizó una lista de indicadores de sustentabilidad. Vignesh et al. (2017) evaluaron un conjunto de indicadores de contaminación. La lista de este tipo de evaluación de indicadores incluye a Evans, Strezov, & Evans, (2009) y Chenoweth (2008).

Los procesos de evaluación que frecuentemente usan información cuantitativa y cualitativa corresponden comúnmente a un marco complejo con un alto grado de incertidumbre, la cual ha sido abordada tradicionalmente a partir de modelos probabilísticos en la teoría clásica de decisiones; sin embargo, la incertidumbre conlleva aspectos con carácter no probabilístico, debido a que están relacionados con imprecisión y vaguedad del significado percibido por quienes realizan la evaluación (Martínez, Rodríguez, & Herrera, 2015; Torres & Tranchita, 2014). Cuando la información utilizada en el proceso de evaluación es cualitativa, el uso de variables lingüísticas representa una buena opción para modelarla (Herrera & Martínez, 2001a). En este sentido, “Los seres humanos poseen dos capacidades notables; la primera es la capacidad de comunicarse, razonar y tomar decisiones racionales en un ambiente de imprecisión, incertidumbre e información incompleta. La segunda es la capacidad de ejecutar una variedad amplia de tareas físicas y mentales sin ninguna medición y ningún cálculo” (Mendel et al., 2010). Asimismo, existen ejemplos de aplicaciones exitosas en varios campos donde se han realizado evaluaciones usando lógica difusa (Gothwal & Raj, 2019; Montignac et al., 2015; Pirlot, Teghem, Ulungu, Bulens, & Goffin, 2015; Wang, Yang, & Cheng, 2019).

El objetivo de la presente investigación fue aplicar un enfoque multigranular, basado en el modelo lingüístico difuso 2-tupla, a la evaluación de 13 indicadores del Programa Nacional Forestal, establecidos en el sistema de indicadores de la política social derivados del Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 de México.

## Materiales y métodos

El método propuesto en este estudio para la evaluación de indicadores difiere de los ya mencionados, debido



**Figure 1. Forest policy indicator evaluation process used in this study. Source: Modified from Martínez et al. (2015).**

**Figura 1. Proceso de evaluación de indicadores de política forestal utilizado en este estudio. Fuente: Modificado a partir de Martínez et al. (2015).**

information gathering, analysis, and selection. Figure 1 describes the proposed process for evaluating forest policy indicators based fundamentally on the phases mentioned above with some modifications.

### Forestry indicators evaluation process

#### Defining indicators

The definition must be clear and include at least the objective to which the indicator is grouped within the public policy to which it corresponds, calculation method, clearly specified units, and source of information. The indicators evaluated in this study are shown in Figure 2.

#### Model of evaluation

The development considers the 2-tuple fuzzy linguistic fuzzy representation model and the JLE approach designed to solve problems with multigranular linguistic information.

The 2-tuple fuzzy linguistic representation model proposed by Herrera and Martínez (2000) is symbolic and is defined under computing with words approach where the linguistic results are obtained starting from linguistic premises. While other linguistic approaches carry out approximation processes to obtain the results, which implies a loss of information and precision in the results, the 2-tuple fuzzy linguistic model provides a continuous fuzzy representation for linguistic values,

a que usa herramientas desarrolladas en el marco de la lógica difusa, específicamente, el modelo de representación lingüístico difuso 2-tupla propuesto por Herrera y Martínez (2000) y el enfoque de jerarquía lingüística extendida (JLE) desarrollado por Espinilla, Liu, y Martínez (2011).

La evaluación de indicadores se enmarca en un proceso de toma de decisiones. En este sentido, Martínez et al. (2015) consideran que dicho proceso se compone de al menos las cinco fases siguientes: inteligencia, modelado, obtención de la información, análisis y selección. La Figura 1 describe el proceso propuesto para la evaluación de los indicadores de política forestal, basado fundamentalmente en las fases mencionadas con algunas modificaciones.

### Proceso de evaluación de los indicadores forestales

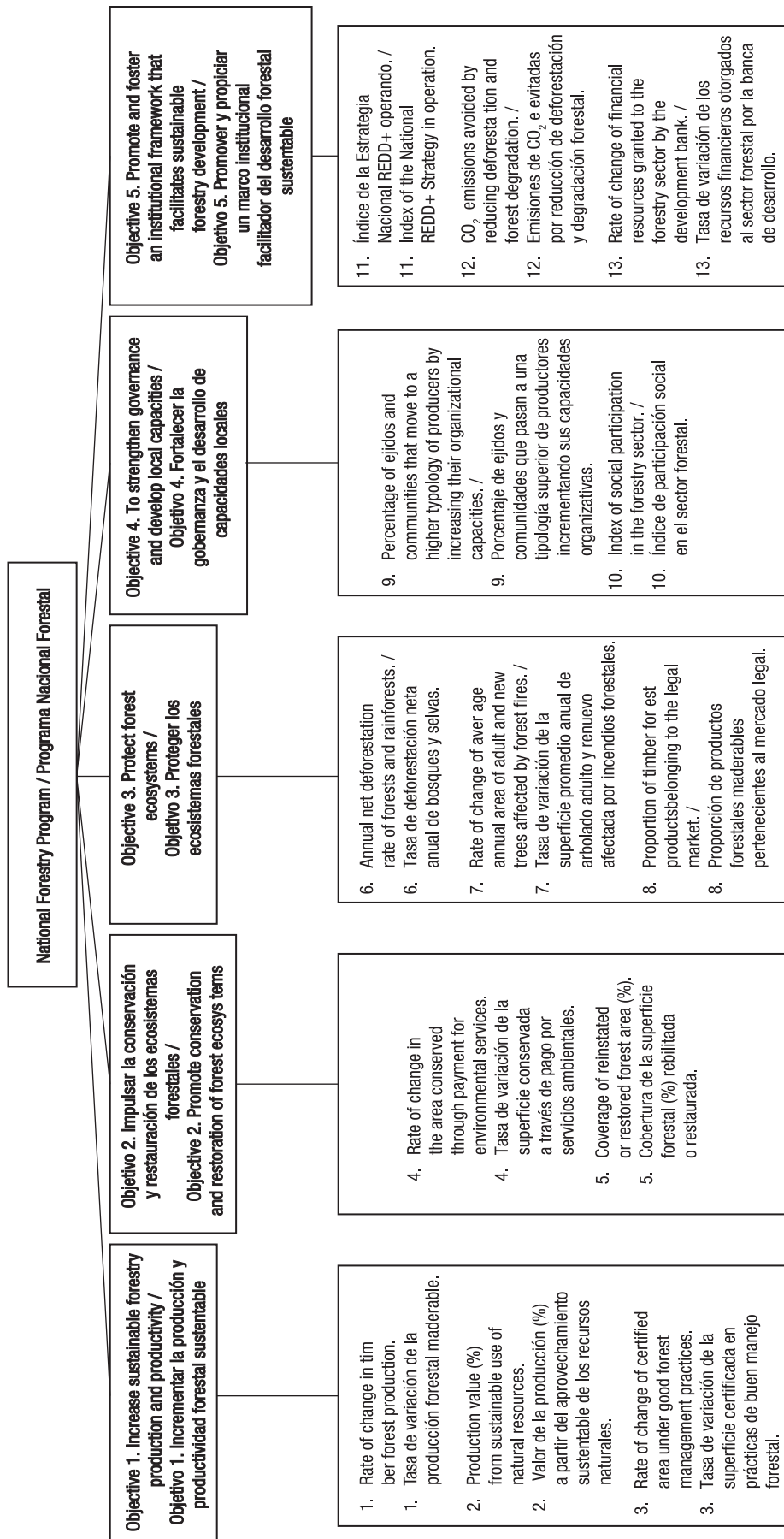
#### Definición de indicadores

La definición debe ser clara e incluir mínimamente el objetivo en el cual se agrupa el indicador dentro de la política pública a la que corresponde, el método de cálculo, las unidades claramente especificadas y la fuente de información. Los indicadores objeto de evaluación en este estudio se muestran en la Figura 2.

#### Modelo de evaluación

El desarrollo considera el modelo de representación lingüístico difuso 2-tupla y el enfoque JLE, diseñado

Figure 2. Objectives and indicators of Mexico's National Forestry Program established in the National Development Plan 2012-2018. Source: CONEVAL (2017).  
 Figura 2. Objetivos e indicadores del Programa Nacional Forestal de México, establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018. Fuente: CONEVAL (2017).



overcoming precision limitations of previous models (Pei, Ruan, Liu, & Xu, 2009). The model represents the linguistic information using a pair of values known as 2-tuple  $(s, \alpha)$ , where  $s$  is a linguistic term, and  $\alpha$  is a numerical value representing the symbolic translation (Herrera & Martínez, 2001a).

**Definition 1** (Herrera & Martínez, 2000): Let  $\beta$  be the result of an aggregation of the indices of a set of labels evaluated on a set of linguistic terms  $S$ ; that is, the result of a symbolic aggregation operation  $\beta \in [0, g]$ , where  $g + 1$  is the cardinality of  $S$ . Let  $i = \text{round}(\beta)$  and  $\alpha = \beta - i$  be two values such that  $i \in [0, g]$  and  $\alpha \in [-0.5, 0.5]$  then  $\alpha$  is called a symbolic translation.

The model also defines a set of functions to make transformations between 2-tuple values and numeric values.

**Definition 2** (Herrera & Martínez, 2000): Let  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  be a linguistic term set and  $\beta \in [0, g]$  a value that supports the result of a symbolic aggregation operation. Then, the 2-tuple value expressing the information equivalent to  $\beta$  is obtained by the following function  $\Delta = [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$ ;  $\Delta(\beta) = \{s_i, \text{round}(\beta); \alpha = \beta - i \mid \alpha \in [-0.5, 0.5]\}$ ; where “round” is the usual rounding operation,  $s_i$  has the index of the label closest to  $\beta$ , and  $\alpha$  is the value of the symbolic translation.

The literature indicates several advantages in the computing with words approach in favor of the 2-tuple fuzzy linguistic representation method (Martínez et al., 2015; Rodríguez & Martínez, 2013). One of the most important is that the linguistic domain can be treated as continuous, whereas it is treated as discrete in classical models. The 2-tuple-based computational linguistic model easily performs computing with words processes without loss of information; the results of the computing with words processes are constantly exposed in the initial domain expression; and the aggregation of multi-granular linguistic information is possible in an easy way.

On the other hand, the JLE approach arises in the context of evaluation processes. The participating experts have different levels of knowledge of the variable of interest, which justifies using different sets of linguistic terms, i.e., a multi-granular approach. In addition to the JLE approach, multi-granular approach methods based on the 2-tuple fuzzy linguistic model include the fusion approach to multi-granular linguistic information management (Herrera, Herrera-Viedma, & Martínez, 2000) and linguistic hierarchies (LH) (Herrera & Martínez, 2001b).

The JLE approach solves the limitation shown in the granularity of the basic set of linguistic terms proposed

para resolver problemas con información lingüística multigranular.

El modelo de representación lingüístico difuso 2-tupla propuesto por Herrera y Martínez (2000) es simbólico y está definido bajo un enfoque de computación con palabras donde se obtienen resultados lingüísticos partiendo de premisas también lingüísticas. Mientras otros enfoques lingüísticos llevan a cabo procesos de aproximación para obtener los resultados, lo que implica una pérdida de información y precisión en los mismos, el modelo lingüístico difuso 2-tupla proporciona una representación difusa continua para los valores lingüísticos, superando las limitaciones de precisión de modelos anteriores (Pei, Ruan, Liu, & Xu, 2009). El modelo representa la información lingüística usando un par de valores conocidos como 2-tupla  $(s, \alpha)$ , donde  $s$  es un término lingüístico y  $\alpha$  es un valor numérico que representa la traslación simbólica (Herrera & Martínez, 2001a).

**Definición 1** (Herrera & Martínez, 2000): Sea  $\beta$  el resultado de una agregación de los índices de un conjunto de etiquetas evaluadas en un conjunto de términos lingüísticos  $S$ ; es decir, el resultado de una operación de agregación simbólica.  $\beta \in [0, g]$ , siendo  $g + 1$  la cardinalidad de  $S$ . Sea  $i = \text{round}(\beta)$  y  $\alpha = \beta - i$  dos valores tales que  $i \in [0, g]$  y  $\alpha \in [-0.5, 0.5]$  luego  $\alpha$  es llamada traslación simbólica.

El modelo también define un conjunto de funciones para hacer transformaciones entre valores 2-tupla y numéricos.

**Definición 2** (Herrera & Martínez, 2000): Sea  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos y  $\beta \in [0, g]$  un valor que soporta el resultado de una operación de agregación simbólica. Luego, la 2-tupla que expresa la información equivalente a  $\beta$  se obtiene mediante la siguiente función  $\Delta = [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$ ;  $\Delta(\beta) = \{s_i, \text{round}(\beta); \alpha = \beta - i \mid \alpha \in [-0.5, 0.5]\}$ ; donde “round” es la operación usual de redondeo,  $s_i$  tiene el índice de la etiqueta más cercana a  $\beta$ , y  $\alpha$  es el valor de la traslación simbólica.

La literatura indica varias ventajas en el marco del cómputo con palabras, en favor del método de representación lingüístico difuso 2-tupla (Martínez et al., 2015; Rodríguez & Martínez, 2013). Entre las más importantes se mencionan que el dominio lingüístico puede ser tratado como continuo, mientras que en los modelos clásicos es tratado como discreto; el modelo lingüístico computacional basado en la 2-tupla realiza fácilmente procesos de cómputo con palabras y sin pérdida de información; los resultados de procesos de cómputo con palabras siempre son expuestos en la expresión de dominio inicial; y que es posible la agregación de información lingüística multigranular

by the fusion approach in the unification phase, which would be larger than the other term sets; it also solves the disadvantages related to precision and domain of expression for the computed results.

Following the methodology proposed by Espinilla et al. (2011), the JLE approach is based on LH, which are understood as the union of all levels, i.e.  $t: JL = \cup_t l(t, n(t))$ , where each level  $t$  of LH corresponds to the set of linguistic terms with an uncertainty granularity of  $n(t)$  denoted as:  $S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$ . However, the JLE approach includes several aspects that make it different and more efficient:

1. It defines the set of previous nodal points of level  $t$  such as  $FP_t = \{fp_t^0, \dots, fp_t^i, \dots, fp_t^{2 \cdot \delta_t}\}$  where each previous nodal point  $fp_t^i \in [0, 1]$  is located in  $fp_t^i = \frac{i}{2 \cdot \delta_t} \in [0, 1]$  at where  $\delta_t = n(t) - 1 \in \mathbb{N}$ .
2. It replaces the two basic rules of the LH approach by forcing to keep the previous nodal points from one level  $t$  to the next,  $t + 1$ . According to Espinilla et al. (2011), the extended hierarchical rules are: (a) to build a JLE with a finite number of levels  $l(t, n(t))$  with  $t = 1, \dots, m$  that defines the multigranular  $F_{MS}$  structure required by the experts to express their knowledge (it is necessary to maintain the previous nodal points between them); and b) to have a JLE, where a new level  $l(t^*, n(t^*))$  with  $t^* = m + 1$  must be added to keep all nodal points of all previous levels  $l(t, n(t))$ ,  $t = 1, \dots, m$  within this new level.
3. To build a JLE, the  $m$  linguistic scales are given to the experts to express their information. Then the term set  $l(t^*, n(t^*))$  with  $t^* = m + 1$  will be aggregated according to the following theorem (Espinilla et al., 2011): Let  $\{S^{n(1)}, \dots, S^{n(m)}\}$  be the set of  $m$  linguistic term sets, where the granularity  $n(t)$  with  $t = 1, \dots, m$  is a odd value. A new linguistic term set  $S^{n(t^*)}$ , which with  $t^* = m + 1$ , which keeps all previous nodal points of the  $m$  term sets can have the following granularity:  $n(t^*) = (\prod_{i=1}^{t^*} \delta_i) + 1$  where  $\delta_i = n(i) - 1 \in \mathbb{N}$ .
4. It proposes an optimised structure minimising the granularity of  $t^*$ , which can keep all the above nodal points, using the least common multiple (LCM) as follows:  $n(t^*) = (MCM(\delta_1, \dots, \delta_m)) + 1$ ,  $t = 1, \dots, m$ .
5. Within the unification phase, the JLE approach uses the transformation functions defined in the LH approach,

$$TF_t^t, \text{ i.e. } TF_t^t(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) = \Delta\left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) \cdot (n(t) - 1)}{n(t) - 1}\right) \text{ where}$$

$t$  and  $t'$  can be any pair of sets of terms in the LH. Then the JLE approach unifies the information at level  $t^*$ , which holds all nodal points using the transformation function  $TF_t^t$ , where  $t$  is any level in  $\{1, \dots, m\}$  and  $t^* = m + 1$ . Using this process, a new transformation function is developed between

de manera fácil.

Por otra parte, el enfoque JLE surge en el contexto de procesos de evaluación en los cuales los expertos participantes tienen niveles diferentes de conocimiento de la variable de interés, lo cual justifica el uso de distintos conjuntos de términos lingüísticos; es decir, un enfoque multigranular. Además del enfoque JLE, entre los métodos de enfoque multigranular basados en el modelo lingüístico difuso 2-tupla destacan el enfoque de fusión para el manejo de información lingüística multigranular (Herrera, Herrera-Viedma, & Martínez, 2000) y jerarquías lingüísticas (JL) (Herrera & Martínez, 2001b).

El enfoque JLE resuelve la limitación presente en la granularidad del conjunto básico de términos lingüísticos propuesto por el enfoque de fusión en la fase de unificación, el cual sería más grande que los otros conjuntos de términos; asimismo, soluciona las desventajas relacionadas con la precisión y la expresión de dominio para los resultados computados.

Siguiendo la metodología propuesta por Espinilla et al. (2011), el enfoque JLE está basado en JL, las cuales se entienden como la unión de todos los niveles; es decir,  $t: JL = \cup_t l(t, n(t))$ , donde cada nivel  $t$  de la JL se corresponde con el conjunto de términos lingüísticos con una granularidad de incertidumbre de  $n(t)$  denotado como:  $S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$ . No obstante, el enfoque JLE incluye varios aspectos que lo hacen diferente y más eficiente:

1. Define el conjunto de puntos nodales previos del nivel  $t$  como  $FP_t = \{fp_t^0, \dots, fp_t^i, \dots, fp_t^{2 \cdot \delta_t}\}$  donde cada punto nodal previo  $fp_t^i \in [0, 1]$  se localiza en  $fp_t^i = \frac{i}{2 \cdot \delta_t} \in [0, 1]$  en siendo  $\delta_t = n(t) - 1 \in \mathbb{N}$ .
2. Reemplaza las dos reglas básicas del enfoque JL obligando a mantener los puntos nodales anteriores de un nivel  $t$  al siguiente,  $t + 1$ . De acuerdo con Espinilla et al. (2011), las reglas jerárquicas extendidas son: a) construir una JLE con un número finito de niveles  $l(t, n(t))$  con  $t = 1, \dots, m$  que define la estructura multigranular  $F_{MS}$  requerida por los expertos para expresar su conocimiento (es necesario mantener los puntos nodales anteriores entre ellos); y b) obtener una JLE, donde un nuevo nivel  $l(t^*, n(t^*))$  con  $t^* = m + 1$  debe ser añadido para mantener todos los puntos nodales de todos los niveles previos  $l(t, n(t))$ ,  $t = 1, \dots, m$  dentro de este nuevo nivel.
3. Para construir una JLE, las  $m$  escalas lingüísticas son dadas a los expertos para que expresen su información. Luego el conjunto de términos  $l(t^*, n(t^*))$  con  $t^* = m + 1$  será agregado de acuerdo con el teorema siguiente (Espinilla et al., 2011): Sea  $\{S^{n(1)}, \dots, S^{n(m)}\}$  el conjunto de  $m$  conjuntos de términos

any pair of term sets,  $t$  and  $t'$ , in the JLE without loss of information. Thus, assuming  $t$  and  $t'$  as any part of term sets in the JLE and  $t^*$  as level  $l(t^{m+1}, n(t^{m+1}))$  in the JLE, the new extended transformation function  $ETF_t^*$  is defined as:  $ETF_t^*: l(t, n(t)) \rightarrow l(t', n(t'))$ ;  $ETF_t^* = TF_t^* \circ TF_t^*$  where  $TF_t^*$  and are the transformation functions defined in the same way as in LH.

- Because the transformation is unified by means of 2-tuple linguistic values, the computational phase is executed using the 2-tuple linguistic representation model. The results obtained are expressed by means of 2-tuple linguistic values in a unified  $S^{n(t)}$ ; however, they can also be expressed (translated) in one of the JLE scales without loss of information.

### Framework

In this step, the structure of the problem, preferences, and uncertainty is established. The components are the criteria  $C = \{c_1, \dots, c_n\}$  that qualify the indicators  $I = \{i_1, \dots, i_n\}$ . The set of participating experts who will express their ratings on each indicator criterion,  $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ . The granularity structure; and the semantics of the established granularity components.

The criteria assessed are those used by CONEVAL (2014):

Clarity ( $c_1$ ). It refers to whether there are doubts about what is intended to be measured, whether the indicator has any ambiguous terms or technical aspects that could be interpreted differently.

Relevance ( $c_2$ ). It should be verified that the most important elements of the indicator are directly related to some fundamental aspect of the objective (relevant factors).

Monitoring ( $c_3$ ). The clarity of the means of verification and the calculation method are analyzed to determine whether the indicator can be subject to independent verification.

Adequacy ( $c_4$ ). It refers to whether the indicator provides a sufficient basis for making a judgment about the program's performance and whether the information that the indicator provides is relevant and appropriate to describe the program's achievements over a period.

Experts: Regarding the multi-granular nature of the assessment, the participation of six experts grouped in two sets is considered: forest administrative sector,  $E_1 = \{e_1, e_2, e_3\}$ , and forest academic sector  $E_2 = \{e_4, e_5, e_6\}$ . Although the experts' sample is small, it can be considered acceptable given that the selected participants are of vast and recognized expertise in their respective sectors.

lingüísticos, donde la granularidad  $n(t)$  con  $t = 1, \dots, m$  es un valor impar. Un nuevo conjunto de términos  $S^{n(t)}$  con  $t^* = m + 1$ , que mantiene todos los puntos nodales anteriores de los  $m$  conjuntos de términos puede tener la siguiente granularidad:  $n(t^*) = (\prod_{i=1}^m \delta_i) + 1$  donde  $\delta_i = n(t) - 1 \in N$ .

- Propone una estructura optimizada minimizando la granularidad de  $t^*$ , la cual puede aún mantener todos los puntos nodales anteriores, usando el mínimo común múltiplo (MCM) como sigue:  $n(t^*) = (MCM(\delta_1, \dots, \delta_m)) + 1$ ,  $t = 1, \dots, m$ .
- Dentro de la fase de unificación, el enfoque JLE utiliza las funciones de transformación definidas en el enfoque de JL,  $TF_t^*$ , esto es

$$TF_t^*(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) = \Delta\left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) \cdot (n(t') - 1)}{n(t) - 1}\right), \quad \text{donde } t$$

y  $t'$  pueden ser cualquier par de conjuntos de términos en la JL. Luego el enfoque JLE unifica la información en el nivel  $t^*$ , que mantiene todos los puntos nodales usando la función de transformación  $TF_t^*$ , siendo  $t$  cualquier nivel en  $\{1, \dots, m\}$  y  $t^* = m + 1$ . Usando este proceso, se desarrolla una nueva función de transformación entre cualquier par de conjuntos de términos,  $t$  y  $t'$ , en la JLE sin pérdida de información. De este modo, asumiendo  $t$  y  $t'$  como cualquier par de conjuntos de términos en la JLE y  $t^*$  como el nivel  $l(t^{m+1}, n(t^{m+1}))$  en la JLE, la nueva función de transformación extendida  $ETF_t^*$  se define como:  $ETF_t^*: l(t, n(t)) \rightarrow l(t', n(t'))$ ;  $ETF_t^* = TF_t^* \circ TF_t^*$  donde  $TF_t^*$  y son las funciones de transformación definidas de la misma manera que en JL.

- Dado que la transformación es unificada por medio de valores lingüísticos 2-tupla, la fase computacional es ejecutada usando el modelo de representación lingüística 2-tupla. Los resultados obtenidos son expresados mediante valores lingüísticos 2-tupla en un unificado  $S^{n(t)}$ ; sin embargo, también pueden ser expresados (trasladados) en una de las escalas de la JLE sin pérdida de información.

### Marco de trabajo

En este paso se establece la estructura del problema, preferencias e incertidumbre. Los componentes son: los criterios  $C = \{c_1, \dots, c_n\}$  que califican a los indicadores  $I = \{i_1, \dots, i_n\}$ ; el conjunto de expertos participantes que expresarán sus valoraciones en cada criterio del indicador,  $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ ; la estructura de granularidad; y la semántica de los componentes de la granularidad establecida.

Los criterios evaluados son los utilizados por CONEVAL (2014):

Claridad ( $c_1$ ). Se refiere a si existen dudas sobre lo que se pretende medir; es decir, si el indicador tiene algún término o aspecto técnico ambiguo que pueda ser interpretado de manera distinta.



Granularity structure. Given the participation of two groups of experts with different levels of knowledge, a linguistic hierarchy composed of two linguistic term sets with granularity of five and seven terms is used. The group of experts from the forestry administrative sector expresses its assessment of the linguistic variable compliance in  $S^5$ , and the group of experts from the academic sector in  $S^7$ ; i.e.,  $E_1 = S^5 = \{S_0^5, S_1^5, S_2^5, S_3^5, S_4^5\}$  corresponding to the linguistic term set {very low, low, moderate, high, very high} and  $E_2 = S^7 = \{S_0^7, S_1^7, S_2^7, S_3^7, S_4^7, S_5^7, S_6^7\}$  corresponding to the linguistic term set {null, very low, low, moderate, high, very high, excellent}.

Semantics. The linguistic terms were defined by means of a triangular membership function  $\mu_A(u)$ , which is represented by a 3-tuple  $(a, b, c)$  where  $b$  indicates the point at which the membership value is equal to 1, and  $a$  and  $c$  indicate the left and right boundaries, respectively, of the domain of the membership function, where,  $\mu_A(u) \{0 \text{ if } u \leq a; \frac{u-a}{b-a} \text{ if } u \in [a,b]; \frac{c-u}{c-b} \text{ if } u \in [b,c]; 0 \text{ if } u \geq c.$

Thus, we have finite, ordered sets of linguistic terms with an odd cardinality  $(g + 1)$ , where each term is equally informative. The mean linguistic term is the intermediate term and represents an approximate rating of 0.5 (Figure 3).

Once all the ratings are obtained, and making use of the two extended rules of the JLE approach, the new set (level)  $l(t^*, n(t^*))$  with  $t^* = m + 1$  is added to the linguistic

Relevancia ( $c_2$ ). Se debe verificar que los elementos más importantes del indicador estén directamente relacionados con algún aspecto fundamental del objetivo (factores relevantes).

Monitoreo ( $c_3$ ). Se analiza la claridad de los medios de verificación y del método de cálculo del indicador, para determinar si este puede ser sujeto a una comprobación independiente.

Adecuación ( $c_4$ ). Se refiere a si el indicador da una base suficiente para emitir un juicio respecto al desempeño del programa y si la información que el indicador proporciona es relevante y apropiada para describir los logros del programa en un periodo.

Expertos: Teniendo en cuenta el carácter multigranular de la evaluación, se considera la participación de seis expertos agrupados en dos conjuntos: sector administrativo forestal,  $E_1 = \{e_1, e_2, e_3\}$ , y sector académico forestal,  $E_1 = \{e_4, e_5, e_6\}$ . Aun cuando la muestra de expertos es pequeña, se puede considerar como aceptable dado que los participantes seleccionados son de amplia y reconocida experiencia en sus sectores respectivos.

Estructura de granularidad. Dada la participación de dos grupos de expertos con nivel distinto de conocimiento, se utiliza una jerarquía lingüística compuesta por dos conjuntos con granularidad de cinco y siete términos. El grupo de expertos del sector

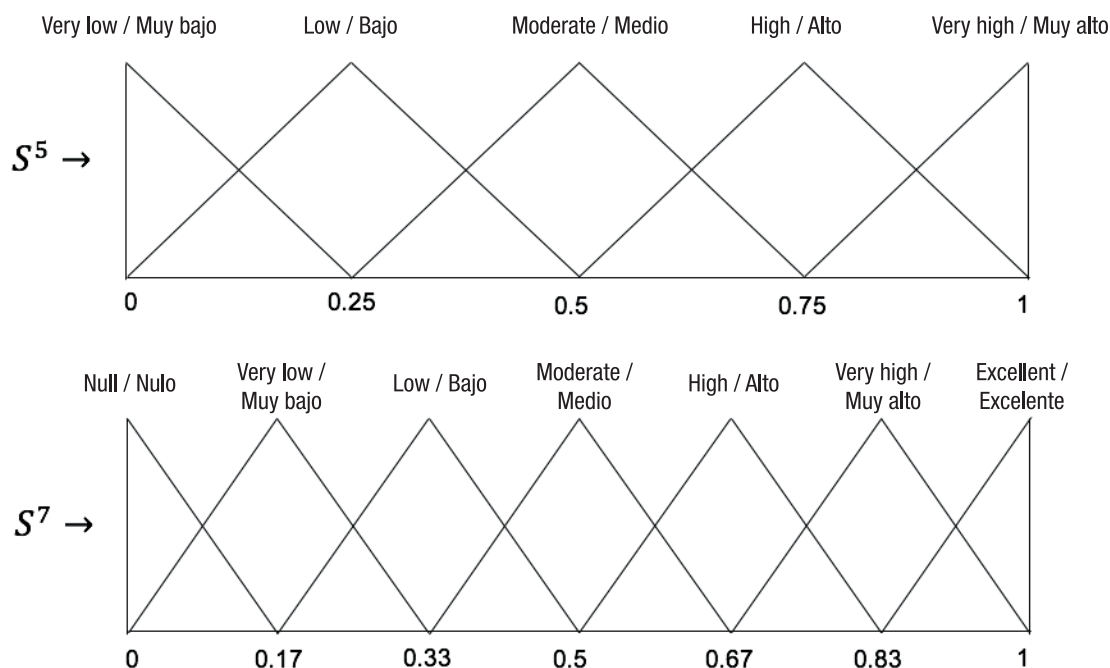


Figure 3. The semantics of linguistic term sets of linguistic hierarchies with granularity of five ( $S^5$ ) and seven ( $S^7$ ) terms.

Figura 3. Semántica de los conjuntos de términos lingüísticos de las jerarquías lingüísticas con granularidad de cinco ( $S^5$ ) y siete términos ( $S^7$ ).

hierarchy, that is:  $n(t^*, n(t^*)) = n(t^3, n(t^3))$ , where the granularity of  $(n(t^3))$  is defined by applying the theorem 1  $n(t^3) = (\prod_{i=1}^{t-2} \delta_i) + 1$  and optimization by ;  $n(t^3) = (LCM(\delta_1, \delta_2)) + 1$ ;  $n(t^3) = LCM(2, 6) + 1 = 12 + 1 = 13$ ; i.e., the set of terms added to the JLE is  $S^{13}$  (Figure 4).

Assuming that, within each group, the experts have the same importance in the decision process, the aggregation operator used is the 2-tuple arithmetic mean defined as  $\bar{x} = \Delta \left( \frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, a_i)}{n} \right)$ .

The assessments were collected using designed formats (questionnaires of five [Appendix 1] and seven linguistic terms [Appendix 2]) and each respondent  $e_i$  was provided with all relevant information: 1) objective, 2) name of the indicator, 3) description of the indicator, 4) method of calculation, 4) sources of information and 5) definition of the criteria.

All calculations were performed using the transformation equations defined in the resolution method, using the FLINTSTONES software (Estrella, Espinilla, Herrera, & Martínez, 2014). A decision support system developed within the Intelligent Systems Based on Fuzzy Decision Analysis (SINBAD) research group at the University of Jaén, Spain. The acronym FLINTSTONES stands for Fuzzy LINGuisTic deciSion TOols eNhacemEnt Suite. The program was designed to solve decision-making problems under uncertainty, following a computing with words approach, which allows obtaining, starting from linguistic premises, results also represented linguistically, which facilitates interpretation of the results. Therefore, through FLINTSTONES, it is possible to model decision-making problems of any nature, specifying experts involved, alternatives or

administrativo forestal expresa su valoración de la variable lingüística cumplimiento en  $S^5$ , y el grupo de expertos del sector académico en  $S^7$ ; es decir,  $E_1 = S^5 = \{S_0^5, S_1^5, S_2^5, S_3^5, S_4^5\}$  que corresponde al conjunto de términos lingüísticos {muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto} y  $E_2 = S^7 = \{S_0^7, S_1^7, S_2^7, S_3^7, S_4^7, S_5^7, S_6^7, S_7^7\}$  que corresponden al conjunto de términos lingüísticos {nulo, muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto, excelente}.

Semántica. Los términos lingüísticos se definieron a partir de una función de pertenencia triangular  $\mu_A(u)$ , la cual es representada mediante una 3-tupla  $(a, b, c)$  donde  $b$  indica el punto en el cual el valor de pertenencia es igual a 1, y  $a$  y  $c$  indican los límites izquierdo y derecho, respectivamente, del dominio de la función de pertenencia, donde,  $\mu_{\bar{A}}(u) \{0 \text{ si } u \leq a; \frac{u-a}{b-a} \text{ si } u \in [a,b]; \frac{c-u}{c-b} \text{ si } u \in [b,c]; 0 \text{ si } u \geq c$ .

De este modo, para cada conjunto se tienen conjuntos de términos lingüísticos finitos y ordenados con una cardinalidad impar  $(g + 1)$ , donde cada término es igualmente informativo. El término lingüístico medio es el término intermedio y representa una valoración aproximada de 0.5 (Figura 3).

Una vez obtenidas todas las valoraciones, y haciendo uso de las dos reglas extendidas del enfoque JLE, se agrega el nuevo conjunto (nivel)  $l(t^*, n(t^*))$  con  $t^* = m + 1$  a la jerarquía lingüística, esto es:  $n(t^*, n(t^*)) = n(t^3, n(t^3))$ , donde la granularidad de  $(n(t^3))$  se define aplicando el teorema 1  $n(t^3) = (\prod_{i=1}^{t-2} \delta_i) + 1$  y su optimización mediante  $n(t^3) = (LCM(\delta_1, \delta_2)) + 1$ ;  $n(t^3) = MCM(2, 6) + 1 = 12 + 1 = 13$ ; es decir, el conjunto de términos agregado a la JLE es  $S^{13}$  (Figura 4).

Asumiendo que, dentro de cada grupo, los expertos tienen la misma importancia en el proceso de decisión,

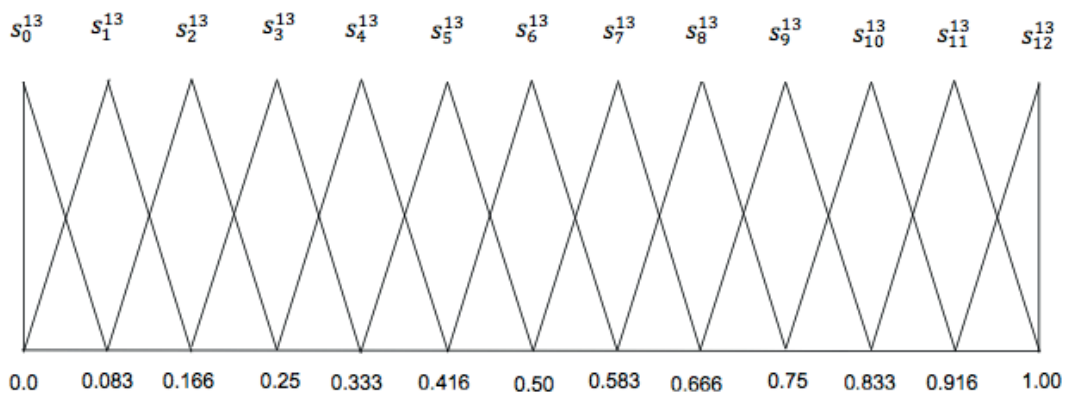


Figure 4. Linguistic term set aggregated to the extended linguistic hierarchy  $l(t^*, n(t^*)) = S^{13}$ .  
 Figura 4. Conjunto de términos lingüísticos agregado a la jerarquía lingüística extendida  $l(t^*, n(t^*)) = S^{13}$ .

possible solutions to the problem, and evaluating those alternatives. Furthermore, the tool allows the definition of domains of expression of different nature that experts can use to elicit their opinions; therefore, they can be modelled by numerical or linguistic values. Once the problem has been defined, FLINTSTONES includes decision models widely used in decision-making literature that allow to obtain the solution. In this study, the 2-tuple linguistic fuzzy model was selected under a complex multigranularity uncertainty framework. FLINTSTONES is available for download at <https://sinbad2.ujaen.es/flintstones/eshttp://sinbad2.ujaen.es/es>

### Analysis

The information collected is analysed and aggregated according to the objectives and constraints. The results are reported for consideration in the selection phase.

### Selection or prioritization

Based on the analysis phase results, a selection process is developed in which decision-makers can choose the alternatives as solution to the problem.

### Results

The ratings expressed by the group of experts from the official administrative sector are presented in Table 1. Table 2 shows the same information, but the ratings correspond to the group of experts from the academic sector and are expressed in the set of seven linguistic terms ( $S^7$ ).

Following the JLE approach, the values expressed by the experts in the two linguistic term sets ( $S^5$  and  $S^7$ ) were unified (transferred) to the linguistic term set added to the linguistic hierarchy ( $S^{13}$ ). Table 3 shows the transformation of the results for the academic experts. The same procedure was used for the ratings of the experts from the forest administrative sector.

As the collective ratings were calculated using the 2-tuple fuzzy linguistic model, they were expressed in the aggregated linguistic term set  $S^{13}$ , including the ranking order of indicators according to the experts' ratings (Table 4).

Finally, the collective values were retranslated into one of the two linguistic term sets used (Table 5); in this case, the linguistic term set used was  $S^7$ . As can be seen, this process of retranslation did not change the ranking order of indicators and it was necessary because usually the set  $t'$  added to the linguistic hierarchy corresponds to a high degree of granularity, which makes it difficult to interpret. The expression of the values is more

el operador de agregación que se utiliza es la media aritmética 2-tupla definida como  $\bar{x} = \Delta \left( \frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, a_i)}{n} \right)$ .

Las evaluaciones se colectaron utilizando formatos diseñados (cuestionarios de cinco [Apéndice 1] y siete términos [Apéndice 2]) y cada entrevistado  $e_i$  contó con toda la información relevante: 1) objetivo, 2) nombre del indicador, 3) descripción del indicador, 4) método de cálculo, 4) fuentes de información y 5) definición de los criterios.

Todos los cálculos se hicieron mediante las ecuaciones de transformación definidas en el método de resolución, utilizando para ello el *software* FLINTSTONES (Estrella, Espinilla, Herrera, & Martínez, 2014), un sistema de soporte de decisiones desarrollado en el seno del grupo de investigación de Sistemas Inteligentes Basados en Análisis de Decisión Difuso (SINBAD) de la Universidad de Jaén, España. El acrónimo FLINTSTONES proviene de sus siglas en inglés (Fuzzy LINGuisTic deciSion TOols eNhacemEnt Suite). El programa fue diseñado para resolver problemas de toma de decisiones bajo incertidumbre, siguiendo un enfoque de computación con palabras, lo que permite obtener, partiendo de premisas lingüísticas, resultados también representados lingüísticamente, lo cual facilita su interpretación. Por lo tanto, a través de FLINTSTONES se pueden modelar problemas de toma de decisión de cualquier índole, especificando expertos involucrados, alternativas o posibles soluciones del problema, y los criterios usados para evaluar dichas alternativas; además, la herramienta permite definir dominios de expresión de naturaleza distinta que los expertos pueden usar para exponer sus opiniones, de manera que puedan ser modeladas por valores numéricos o lingüísticos. Una vez definido el problema, FLINTSTONES incluye modelos de decisión ampliamente usados en la literatura de toma de decisión que permiten obtener la solución. En este trabajo, se seleccionó el modelo lingüístico 2-tupla bajo un marco complejo de incertidumbre de multigranularidad. FLINTSTONES se encuentra disponible para su descarga en <https://sinbad2.ujaen.es/flintstones/eshttp://sinbad2.ujaen.es/es>

### Análisis

La información colectada se analiza y agrega de acuerdo con los objetivos y restricciones, y se reportan los resultados a ser considerados en la fase de selección.

### Selección o priorización

De acuerdo con los resultados de la fase del análisis, se desarrolla un proceso de selección en el cual los tomadores de decisiones pueden elegir las alternativas de solución al problema.

Table 1. Ratings expressed by the experts from the official administrative sector, provided in the linguistic term set  $S^5$ , for assessing the criteria of indicators of the National Forest Program 2012-2018.

Cuadro 1. Valoraciones expresadas por los expertos del sector oficial administrativo, proporcionadas en el conjunto de términos lingüísticos  $S^5$ , para la evaluación de los criterios de los indicadores del Programa Nacional Forestal 2012-2018.

Indicador / Indicador	Criterio / Criterio											
	Expert 1/Experto 1				Expert 2/Experto 2				Expert 3/Experto 3			
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
$i_1$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_2^5)$
$i_2$	$(s_6^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$
$i_3$	$(s_6^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$
$i_4$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_4^5)$	$(s_2^5)$
$i_5$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_4^5)$	$(s_2^5)$
$i_6$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$
$i_7$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_4^5)$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_4^5)$	$(s_2^5)$
$i_8$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$
$i_9$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_4^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$
$i_{10}$	$(s_2^5)$	$(s_1^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$
$i_{11}$	$(s_2^5)$	$(s_1^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_1^5)$	$(s_1^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$
$i_{12}$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_1^5)$	$(s_1^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$
$i_{13}$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$	$(s_2^5)$	$(s_3^5)$	$(s_2^5)$

The indicators correspond to those shown in Figure 2.  $S^5 = \{S_1^5, S_2^5, S_3^5, S_4^5, S_5^5\}$  correspond to the set of linguistic terms (very low, low, moderate, high, very high). Criteria:  $c_1$  = clarity,  $c_2$  = relevance,  $c_3$  = monitoring and  $c_4$  = adequacy.

Los indicadores corresponden a los señalados en la Figura 2.  $S^5 = \{S_1^5, S_2^5, S_3^5, S_4^5, S_5^5\}$  corresponden al conjunto de términos lingüísticos (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto). Criterios:  $c_1$  = claridad,  $c_2$  = relevancia,  $c_3$  = monitoreo y  $c_4$  = adecuación.

**Table 2. Ratings expressed by experts from the academic sector, provided in the linguistic term set  $S^7$ , evaluate the criteria of indicators of the National Forest Program 2012-2018.**  
**Cuadro 2. Valoraciones expresadas por los expertos del sector académico, proporcionadas en el conjunto de términos lingüísticos  $S^7$ , para la evaluación de los criterios de los indicadores del Programa Nacional Forestal 2012-2018.**

Indicador / Indicador	Criteria / Criterio											
	Expert 1/Experto 1				Expert 2 / Experto 2				Expert 3 / Experto 3			
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
$i_1$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_4^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$
$i_2$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_3^7)$	$(s_5^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_5^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_6^7)$
$i_3$	$(s_2^7)$	$(s_4^7)$	$(s_2^7)$	$(s_4^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_6^7)$
$i_4$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_2^7)$	$(s_4^7)$	$(s_3^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_4^7)$	$(s_5^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$
$i_5$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_2^7)$	$(s_4^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_3^7)$	$(s_5^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$
$i_6$	$(s_2^7)$	$(s_3^7)$	$(s_3^7)$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$
$i_7$	$(s_4^7)$	$(s_3^7)$	$(s_2^7)$	$(s_2^7)$	$(s_6^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_3^7)$	$(s_6^7)$	$(s_3^7)$	$(s_3^7)$	$(s_5^7)$
$i_8$	$(s_2^7)$	$(s_2^7)$	$(s_3^7)$	$(s_2^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_2^7)$	$(s_5^7)$	$(s_3^7)$	$(s_3^7)$	$(s_5^7)$
$i_9$	$(s_2^7)$	$(s_4^7)$	$(s_2^7)$	$(s_4^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$
$i_{10}$	$(s_2^7)$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_3^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$
$i_{11}$	$(s_2^7)$	$(s_3^7)$	$(s_2^7)$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_3^7)$	$(s_3^7)$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$
$i_{12}$	$(s_2^7)$	$(s_2^7)$	$(s_2^7)$	$(s_3^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$	$(s_5^7)$	$(s_2^7)$	$(s_5^7)$	$(s_3^7)$	$(s_3^7)$	$(s_4^7)$
$i_{13}$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_4^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_5^7)$	$(s_6^7)$	$(s_6^7)$	$(s_4^7)$

The indicators correspond to those shown in Figure 2.  $S^7 = \{S_1^7, S_2^7, S_3^7, S_4^7, S_5^7, S_6^7, S_7^7\}$  correspond to the set of linguistic terms {null, very low, low, moderate, high, very high, excellent}. Criteria:  $c_1$  = clarity,  $c_2$  = relevance,  $c_3$  = monitoring and  $c_4$  = adequacy.

Los indicadores corresponden a los señalados en la Figura 2.  $S^7 = \{S_1^7, S_2^7, S_3^7, S_4^7, S_5^7, S_6^7, S_7^7\}$  corresponden al conjunto de términos lingüísticos {nulo, muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto, excelente}. Criterios:  $c_1$  = claridad,  $c_2$  = relevancia,  $c_3$  = monitoreo y  $c_4$  = adecuación.

Table 3. Values expressed by experts from the forestry academic sector, transferred to the aggregated linguistic term set  $S^{13}$  and represented by 2-tuple values for the assessment of the criteria of indicators of the National Forest Program 2012-2018.

Cuadro 3. Valores expresados por los expertos del sector académico forestal, trasladados al conjunto de términos lingüísticos agregados  $S^{13}$  y representados mediante valores 2-tupla, para la evaluación de los criterios de los indicadores del Programa Nacional Forestal 2012-2018.

Indicador/ Indicador	Criterios / Criterio											
	Expert 4 / Experto 4				Expert 5 / Experto 5				Expert 6 / Experto 6			
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
$i_1$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$
$i_2$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$
$i_3$	$(s_4^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$
$i_4$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$
$i_5$	$(s_8^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$
$i_6$	$(s_4^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$
$i_7$	$(s_8^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$
$i_8$	$(s_4^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$
$i_9$	$(s_4^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$
$i_{10}$	$(s_4^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_2^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$
$i_{11}$	$(s_4^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$
$i_{12}$	$(s_4^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_4^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$
$i_{13}$	$(s_8^3, 0)$	$(s_6^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$	$(s_{10}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_{12}^3, 0)$	$(s_8^3, 0)$

The indicators correspond to those shown in Figure 2. Criteria:  $c_1$  = clarity,  $c_2$  = relevance,  $c_3$  = monitoring and  $c_4$  = adequacy).

Los indicadores corresponden a los señalados en la Figura 2. Criterios:  $c_1$  = claridad,  $c_2$  = relevancia,  $c_3$  = monitoreo y  $c_4$  = adecuación).

**Table 4. Collective assessments expressed in the linguistic term set  $S^{13}$  for evaluating the criteria of indicators of the National Forest Program 2012-2018.****Cuadro 4. Valoraciones colectivas expresadas en el conjunto de términos lingüísticos  $S^{13}$ , para la evaluación de los criterios de los indicadores del Programa Nacional Forestal 2012-2018.**

Indicator/ Indicador	Name/Nombre	Classification/ Clasificación	Collective assessment/ Valoración colectiva
$i_1$	Rate of change of timber wood production/ Tasa de variación de la producción forestal maderable	1	$(s_{10}^{13}, 0.083)$
$i_9$	Percentage of ejidos and communities changing to a higher typology of producers by increasing organizational capacities/ Porcentaje de ejidos y comunidades que pasan a una tipología superior de productores incrementando sus capacidades organizativas	2	$(s_9^{13}, -0.125)$
$i_3$	Rate of change of certified area under good forest management practices/ Tasa de variación de la superficie certificada en las prácticas de buen manejo forestal	3	$(s_9^{13}, -0.166)$
$i_5$	Percentage of coverage of reinstated or restored/ Porcentaje de cobertura de la superficie forestal rehabilitada o restaurada	4	$(s_9^{13}, -0.208)$
$i_4$	Rate of change in area conserved via payments for environmental services/ Tasa de variación de la superficie conservada a través de pago por servicios ambientales	5	$(s_9^{13}, -0.25)$
$i_5$	Percentage of value of production derived from sustainable harvesting of natural resources/ Porcentaje del valor de la producción obtenida a partir del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales	5	$(s_9^{13}, -0.25)$
$i_7$	Rate of change in the average annual area of adult and regrowth trees affected by forest fires/ Tasa de variación de la superficie promedio anual de arbolado adulto y renuevo afectada por incendios forestales	6	$(s_9^{13}, -0.375)$
$i_6$	Annual net deforestation rate of forests and rainforests/ Tasa de deforestación neta anual de bosques y selvas	7	$(s_9^{13}, -0.458)$
$i_{13}$	Rate of change of financial resources granted to the forestry sector by the development bank/ Tasa de variación de los recursos financieros otorgados al sector forestal por la banca de desarrollo	8	$(s_8^{13}, 0.333)$
$i_{12}$	Avoided CO <sub>2</sub> emissions by reduction of deforestation and forest degradation/ Emisiones de CO <sub>2</sub> e evitadas por reducción de la deforestación y degradación forestal	9	$(s_8^{13}, -0.208)$
$i_8$	Proportion of timber forest products belonging to the legal market/ Proporción de productos forestales maderables pertenecientes al mercado legal	10	$(s_7^{13}, 0.333)$
$i_{10}$	Index of social participation in forestry sector/ Índice de participación social en el sector forestal	11	$(s_7^{13}, -0.333)$
$i_{11}$	Index of the National REDD+ Strategy in operation/ Índice de la Estrategia Nacional REDD+ operando	12	$(s_6^{13}, 0.458)$

**Table 5. Collective assessments expressed in the linguistic term set  $S^7$ , for the evaluation of the criteria of indicators of the National Forest Program 2012-2018.**

**Cuadro 5. Valoraciones colectivas expresadas en el conjunto de términos lingüísticos  $S^7$ , para la evaluación de los criterios de los indicadores del Programa Nacional Forestal 2012-2018.**

Indicator/ Indicador	Name/Nombre	Classification/ Clasificación	Collective assessment/ Valoración colectiva
$i_1$	Rate of change of timber wood production/ Tasa de variación de la producción forestal maderable	1	(very high, 0.042)/ (muy alto, 0.042)
$i_9$	Percentage of ejidos and communities changing to a higher typology of producers by increasing organizational capacities/ Porcentaje de ejidos y comunidades que pasan a una tipología superior de productores incrementando sus capacidades organizativas	2	(high, 0.438)/ (alto, 0.438)
$i_3$	Rate of change of certified area under good forest management practices/ Tasa de variación de la superficie certificada en las prácticas de buen manejo forestal	3	(high, 0.417)/ (alto, 0.417)
$i_5$	Percentage of coverage of reinstated or restored/ Porcentaje de cobertura de la superficie forestal rehabilitada o restaurada	4	(high, 0.396)/ (alto, 0.396)
$i_4$	Rate of change in area conserved via payments for environmental services/ Tasa de variación de la superficie conservada a través de pago por servicios ambientales	5	(high, 0.375)/ (alto, 0.375)
$i_2$	Percentage of value of production derived from sustainable harvesting of natural resources/ Porcentaje del valor de la producción obtenida a partir del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales	5	(high, 0.375)/ (alto, 0.375)
$i_7$	Rate of change in the average annual area of adult and regrowth trees affected by forest fires/ Tasa de variación de la superficie promedio anual de arbolado adulto y renuevo afectada por incendios forestales	6	(high, 0.313)/ (alto, 0.313)
$i_6$	Annual net deforestation rate of forests and rainforests/ Tasa de deforestación neta anual de bosques y selvas	7	(high, 0.270)/ (alto, 0.270)
$i_{13}$	Rate of change of financial resources granted to the forestry sector by the development bank/ Tasa de variación de los recursos financieros otorgados al sector forestal por la banca de desarrollo	8	(high, 0.167)/ (alto, 0.167)
$i_{12}$	Avoided CO <sub>2</sub> emissions by reduction of deforestation and forest degradation/ Emisiones de CO <sub>2</sub> e evitadas por reducción de la deforestación y degradación forestal	9	(high, -0.104)/ (alto, -0.104)
$i_8$	Proportion of timber forest products belonging to the legal market/ Proporción de productos forestales maderables pertenecientes al mercado legal	10	(high, -0.333)/ (alto, -0.333)
$i_{10}$	Index of social participation in forestry sector/ Índice de participación social en el sector forestal	11	(moderate, 0.333)/ (medio, 0.333)
$i_{11}$	Index of the National REDD+ Strategy in operation/ Índice de la Estrategia Nacional REDD+ operando	12	(moderate, 0.223)/ (medio, 0.223)



interpretable because linguistic terms are closer to the usual rating scales and experts get results represented in any of the linguistic term sets used.

Even though the 2-tuple fuzzy linguistic model is widely supported by results obtained by researchers who have addressed and solved several theoretical and real problems (Carmona, González, Gacto, & del Jesus, 2012; Doukas, Tsiousi, Marinakis, & Psarras, 2014; Herrera-Viedma, López-Herrera, Luque, & Porcel, 2007; Montes, Sánchez, Villar, & Herrera, 2015), there are so far no known applications in the evaluation of public policy indicators that would allow us to contrast the results obtained here. However, there is confidence in the quality of tools used and the proper character of the structure of information gathered in the process of evaluating indicators; therefore, it can be said that, according to the linguistic term and value of the symbolic translation  $\alpha$  estimated for each of the indicators, indicator  $i_1$  “Rate of change of timber forest production” is the one that had the best evaluations from the experts with “very high” level of compliance in the criteria considered. After this, indicators  $i_1$  to  $i_9$ , including indicators  $i_{12}$  and  $i_{13}$ , had a “high” level of compliance with differences in the value of the symbolic translation which, in this case, determined the differences in the ranking order (Table 5). Only  $i_{10}$  and  $i_{11}$  had the collective rating corresponding to the linguistic term “moderate”.

## Conclusiones

The structure defined in evaluating social policy indicators corresponds appropriately to that used with the 2-tuple fuzzy linguistic model, which is relevant because it allows an adequate evaluation of the indicators considered. Furthermore, the multi-granular approach considers assessments beyond the traditional binary values (yes, no). Through the participation of experts with different levels of knowledge, it enriches the experts’ assessments expressed with greater precision. CONEVAL and the World Bank represent valuable contributions to assessing indicators and evaluating aspects beyond the four criteria considered in this study; however, such aspects are also susceptible to being evaluated through the approach used here. In the future, it is intended to extend the study to the assessment of all qualitative aspects considered in the attributes of the indicators.

## Acknowledgments

This study is partially funded by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness through the research project (PGC2018- 099402-B-I00) and the Ramón y Cajal postdoctoral fellowship (RYC- 2017-21978). Moreover, funding was also received from the National Council

## Resultados

Las valoraciones expresadas por el grupo de expertos del sector oficial administrativo se presentan en el Cuadro 1. El Cuadro 2 muestra la misma información, pero en este caso las valoraciones corresponden al grupo de expertos del sector académico y son expresadas en el conjunto de siete términos lingüísticos ( $S^7$ ).

Continuando con lo establecido por la JLE, se procedió a la unificación (traslado) de los valores expresados por los expertos en los dos conjuntos lingüísticos ( $S^5$  y  $S^7$ ) al conjunto de términos agregado a la jerarquía lingüística ( $S^{13}$ ). El Cuadro 3 muestra los resultados del traslado para los expertos del sector académico. El mismo procedimiento se utilizó para las valoraciones de los expertos del sector administrativo forestal.

Dado que las valoraciones colectivas se calcularon utilizando el modelo lingüístico difuso 2-tupla, estas se expresaron en el conjunto lingüístico agregado  $S^{13}$ , incluyendo el orden de clasificación de los indicadores de acuerdo con las valoraciones de los expertos (Cuadro 4).

Como último paso, los valores colectivos estimados se retrasladaron a uno de los dos conjuntos utilizados (Cuadro 5); en este caso, se utilizó el conjunto de términos lingüísticos  $S^7$ . Como puede verificarse, este proceso de retraslación no modificó el orden de la clasificación de los indicadores, y fue necesario debido a que generalmente el conjunto  $t'$  agregado a la jerarquía lingüística corresponde a un alto grado de granularidad, lo cual dificulta su interpretación. La expresión de los valores es más interpretable porque los términos lingüísticos son más cercanos a las escalas usuales de valoración y los expertos obtienen los resultados representados en cualquiera de los conjuntos que se usaron.

Aun cuando el modelo lingüístico difuso 2-tupla tiene un amplio respaldo en los resultados obtenidos por investigadores que han abordado y resuelto varios problemas teóricos y reales (Carmona, González, Gacto, & del Jesus, 2012; Doukas, Tsiousi, Marinakis, & Psarras, 2014; Herrera-Viedma, López-Herrera, Luque, & Porcel, 2007; Montes, Sánchez, Villar, & Herrera, 2015), no se conocen hasta ahora aplicaciones en la evaluación de indicadores de política pública que nos permitan contrastar los resultados aquí obtenidos. No obstante, hay confianza de la solidez de las herramientas utilizadas y el carácter apropiado de la estructura de la información generada en el proceso de evaluación de los indicadores; por lo tanto, se puede decir que, de acuerdo al término lingüístico y valor de la traslación simbólica  $\alpha$  estimados para cada uno de los indicadores, el indicador  $i_1$  “Tasa de

of Science and Technology (CONACyT-Mexico) through the sabbatical stay 2018-2019 with CVU reference no. 64236.

### End of English version

## References / Referencias

- Banco Mundial. (2016). Evaluación de la calidad de indicadores de proyectos prioritarios. Retrieved from [https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu\\_planeacion/evaluacion/EvaluacionesBancoMundial/Herramienta\\_para\\_Evaluar\\_la\\_Calidad\\_de\\_los\\_Indicadores.pdf](https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu_planeacion/evaluacion/EvaluacionesBancoMundial/Herramienta_para_Evaluar_la_Calidad_de_los_Indicadores.pdf)
- Carmona, C. J., González, P., Gacto, M. J., & del Jesus, M. J. (2012). Genetic lateral tuning for subgroup discovery with fuzzy rules using the algorithm NMEEF-SD. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 5(2), 355–367. doi: 10.1080/18756891.2012.685323
- Chenoweth, J. (2008). A re-assessment of indicators of national water scarcity. *Water International*, 33(1), 5–18. doi: 10.1080/02508060801927994
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política Pública (CONEVAL). (2014). Metodología para la aprobación de indicadores de los programas sociales. Retrieved from [https://www.coneval.org.mx/coordinacion/Documents/monitoreo/metodologia/Metodologia para Aprobación de Indicadores 2014.pdf](https://www.coneval.org.mx/coordinacion/Documents/monitoreo/metodologia/Metodologia_para_Aprobación_de_Indicadores_2014.pdf)
- De la Cuesta, G. M., Pardo, H. E., & Paredes, G. J. D. (2015). Identificación de indicadores relevantes del desempeño RSE mediante la utilización de técnicas multicriterio. *INNOVAR*, 25(55), 75–88. doi: 10.15446/innovar.v25n55.47197
- Doukas, H., Tsiouisi, A., Marinakis, V., & Psarras, J. (2014). Linguistic multi-criteria decision making for energy and environmental corporate policy. *Information Sciences*, 258, 328–338. doi: 10.1016/j.ins.2013.08.027
- Espinilla, M., Liu, J., & Martínez, L. (2011). An extended hierarchical linguistic model for decision-making problems. *Computational Intelligence*, 27(3), 489–512. doi: 10.1111/j.1467-8640.2011.00385.x
- Estrella, F. J., Espinilla, M., Herrera, F., & Martínez, L. (2014). FLINTSTONES: A fuzzy linguistic decision tools enhancement suite based on the 2-tuple linguistic model and extensions. *Information Sciences*, 280, 152–170. doi: 10.1016/j.ins.2014.04.049
- Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 1082–1088. doi: 10.1016/j.rser.2008.03.008
- Gothwal, S., & Raj, T. (2019). A comparative study of multi-criteria decision-making approaches for prioritising the manufacturing systems. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 9(3), 277–299. doi: 10.1504/IJPM.2019.100962

variación de la producción forestal maderable” es el que tuvo las mejores valoraciones de los expertos con el nivel de cumplimiento “muy alto” en los criterios considerados. Después de este, los indicadores  $i_1$  a  $i_9$ , incluyendo los indicadores  $i_{12}$  e  $i_{13}$ , tuvieron un nivel de cumplimiento “alto” con diferencias en el valor de la traslación simbólica que, en este caso, determinó las diferencias en el orden de clasificación (Cuadro 5). Solo  $i_{10}$  e  $i_{11}$  tuvieron la valoración colectiva correspondiente al término lingüístico “medio”.

## Conclusiones

La estructura que se define en el proceso de evaluación de indicadores de política social corresponde de manera apropiada a la utilizada con el modelo lingüístico difuso 2-tupla, lo cual es relevante debido a que permite una evaluación adecuada de los indicadores considerados. Adicionalmente, el enfoque multigranular considera las evaluaciones más allá de los valores binarios tradicionales (sí, no) y, mediante la participación de expertos con distinto nivel de conocimiento, enriquece las valoraciones expresadas con mayor precisión. CONEVAL y Banco Mundial representan aportaciones valiosas a la valoración de indicadores y evalúan aspectos que van más allá de los cuatro criterios considerados en este estudio; sin embargo, tales aspectos también son susceptibles de ser evaluados mediante el enfoque aquí utilizado. Como trabajo futuro se pretende extender el estudio a la evaluación de todos los aspectos cualitativos que se consideran en los atributos de los indicadores.

## Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (España), a través del proyecto de investigación (PGC2018-099402-B-I00) y el contrato posdoctoral Ramón y Cajal (RYC- 2017-21978). Por otra parte, también se recibió financiación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-México) mediante la estancia sabática 2018-2019 con referencia CVU núm. 64236.

Fin de la versión en español

- Guayanlema, V., Fernández, L., & Arias, K. (2017). Análisis de indicadores de desempeño energético del Ecuador. *Enerlac*, 1(2), 121–139. Retrieved from <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000684.pdf>
- Guillen, A., Badii, M. H., Garza, F., & Acuña, M. (2015). Descripción y uso de indicadores de crecimiento económico. *International Journal of Good Conscience*, 10(1), 138–156. Retrieved from [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A10.10\(1\)138-156.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A10.10(1)138-156.pdf)
- Herrera-Viedma, E., López-Herrera, A. G., Luque, M., & Porcel, C. (2007). A fuzzy linguistic IRS model based on a 2-tuple fuzzy linguistic approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 15(2), 225–250. doi: 10.1142/S0218488507004534
- Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Martínez, L. (2000). A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 43–58. doi: 10.1016/S0165-0114(98)00093-1
- Herrera, F., & Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), 746–752. doi: 10.1109/91.890332
- Herrera, F., & Martínez, L. (2001a). The 2-tuple linguistic computational model. advantages of its linguistic consistency. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9(1), 33–48. doi: 10.1142/S0218488501000971
- Herrera, F., & Martínez, L. (2001b). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 31(2), 227–234. doi: 10.1109/3477.915345
- Kühnen, M., & Hahn, R. (2017). Indicators in social life cycle assessment: a review of frameworks, theories, and empirical experience. *Journal of Industrial Ecology*, 21(6), 1547–1565. doi: 10.1111/jiec.12663
- Martínez, L., Rodríguez, R. M., & Herrera, F. (2015). *The 2-tuple linguistic model. Computing with words in decision making*. New York, USA: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-24714-4
- Mendel, J. M., Zadeh, L. A., Trillas, E., Yager, R., Lawry, J., Hagrass, H., & Guadarrama, S. (2010). What computing with words means to me: Discussion forum. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 5(1), 20–26. doi: 10.1109/MCI.2009.934561
- Montes, R., Sánchez, A. M., Villar, P., & Herrera, F. (2015). A web tool to support decision making in the housing market using hesitant fuzzy linguistic term sets. *Applied Soft Computing Journal*, 35, 949–957. doi: 10.1016/j.asoc.2015.01.030
- Montignac, F., Mousseau, V., Bouyssou, D., Aloulou, M. A., Rousval, B., & Damart, S. (2015). An MCDA approach for evaluating hydrogen storage systems for future vehicles. In R. Bisdorff, L. C. Dias, P. Meyer, V. Mousseau, & M. Pirlot (Eds.), *Evaluation and decision models with multiple criteria* (pp. 501–532). Switzerland: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-46816-6
- Pei, Z., Ruan, D., Liu, J., & Xu, Y. (2009). *Linguistic based intelligent information processing: Theory, methods, and applications*. Amsterdam - Paris: Atlantis Press.
- Pirlot, M., Teghem, J., Ulungu, D., Bulens, P., & Goffin, C. (2015). Choosing a cooling system for a power plant in Belgium. In R. Bisdorff, L. C. Dias, P. Meyer, V. Mousseau, & M. Pirlot (Eds.), *Evaluation and decision models with multiple criteria* (pp. 221–258). Switzerland: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-46816-6
- Rodríguez, R. M., & Martínez, L. (2013). An analysis of symbolic linguistic computing models in decision making. *International Journal of General Systems*, 42(1), 121–136. doi: 10.1080/03081079.2012.710442
- Torres, A., & Tranchita, C. (2014). ¿Inferencia y razonamiento probabilístico o difuso? *Revista de Ingeniería*, 19, 158–166. Retrieved from <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/450>
- Vignesh, S., Ali Elibaid, O. B., Mera, B., Arokiadoss, A. P., Muthukumar, K., Santhosh, M., & James, R. A. (2017). Assessment of pollution indicators and antibiotic resistant pattern on contaminated canned juice. In S. Vignesh & A. P. Arokiadoss (Eds.), *Statistical approaches on multidisciplinary research* (pp. 110–117). Surragh Publishers. doi: 10.5281/zenodo.262976
- Wang, C. N., Yang, C.-Y., & Cheng, H.-C. (2019). A Fuzzy Multicriteria Decision-Making (MCDM) model for sustainable supplier evaluation and selection based on triple bottom line approaches in the garment industry. *Processes*, 7(7), 1–13. doi: 10.3390/pr7070400
- Whitehead, J. (2017). Prioritizing sustainability indicators: Using materiality analysis to guide sustainability assessment and strategy. *Business Strategy and the Environment*, 26(3), 399–412. doi: 10.1002/bse.1928

