

Tipo de artículo : Artículo original  
Temática : Inteligencia artificial  
Recibido : 27/10/2020 | Aceptado: 28/12/2020

## **Computación con palabras en la evaluación del Diseño como instrumento de la Gestión Ambiental**

Computing with words in evaluation of Design as instrument of Environmental Management

Rosa María Renté Labrada<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0790-7671>

Arianet Valdivia Mesa<sup>2\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7281-1785>

Manuel Vega Almaguer<sup>3\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8083-4106>

Gilberto Enrique González Hidalgo<sup>4\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6399-7635>

<sup>1</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas. Departamento de Informática. La Habana. Cuba.  
rrente07@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad de La Habana. Instituto Superior de Diseño. +53 53494244. La Habana. Cuba.  
arianet@isdi.co.cu

<sup>3</sup>Universidad Mandume Ya Ndemufayo, Instituto Superior Politécnico de Huíla. Huíla. Angola.  
vegam4242@gmail.com

<sup>4</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas. Centro de Informatización de la Gestión Documental.  
gegonzalez@uci.cu

\*Autor para la correspondencia: (rrente07@gmail.com)

## RESUMEN

El mundo enfrenta una crisis ambiental sin precedentes en la historia de la humanidad, para lo que se requiere de una cultura material con un valor ambiental que reduzca los impactos negativos sobre el patrimonio ambiental. En este contexto, el diseño de productos se orienta hacia la satisfacción de las necesidades humanas y requiere del apoyo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs). Es por eso que, el presente trabajo, propone la integración de criterios ambientales en la evaluación durante el proceso de diseño a través de las (TICs), utilizando la computación con palabras, específicamente el método de 2-tuplas lingüísticas. Experiencia en la que participaron la Universidad de las Ciencias Informáticas, el Instituto Superior de Diseño de la Universidad de La Habana y el Instituto Superior Politécnico de Huíla de la Universidad Mandume Ya Ndemufayo, en Angola. Como resultado, se instrumentó una evaluación de diseño que permite llegar a un consenso con múltiples expertos y múltiples criterios; desde las primeras etapas del proceso de diseño para una mejor visualización del diseño como instrumento de la gestión ambiental. Además, de la generación de nuevas dinámicas de trabajo de los equipos de desarrollo de productos, como un modo de validación de la calidad ambiental de los resultados de diseño.

**Palabras clave:** computación con palabras; 2-tuplas lingüísticas; proceso de diseño; criterio ambiental.

## ABSTRACT

The world is facing an environmental crisis unprecedented in human history, which requires a material culture with an environmental value that reduces negative impacts on environmental heritage. In this context, design of product is oriented towards satisfying human needs and requires the support of Information and Communications Technology (ICTs). That is why, this work, proposes the integration of environmental criteria in the evaluation during the design process through ICTs, using computing with words, specifically the 2-tuple linguistic method. Experience in which participated the University of Computer Sciences, the Higher Institute of Design of the University of Havana and the Higher Polytechnic

Institute of Huíla of the Mandume Ya Ndemufayo University in Angola. As a result, a design evaluation was implemented that allows reaching a consensus with multiple experts and multiple criteria; from the early stages of the design process for a better visualization of design as instrument of environmental management. In addition, the generation of new work dynamics of the product development teams as a way of validating the environmental quality of the design results.

**Keywords:** computing with words; 2-tuple linguistic; design process; environmental criteria.

---

## Introducción

El mundo se enfrenta a una situación de crisis ambiental, para lo que se requiere de una actividad humana en armonía con la naturaleza y un comportamiento social diferente. Retos ante los que es insuficiente el abordaje de la problemática ambiental en la actividad profesional, de diseñar productos con bajo impacto ambiental con la ayuda de las TICs. En este sentido, se aborda el proceso de diseño que sustenta el Instituto Superior de Diseño (ISDi) de la Universidad de La Habana en Cuba y el Instituto Superior Politécnico de Huíla (ISPH) de la Universidad Mandume Ya Ndemufayo en Angola, en estrecha relación con el perfil de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) en lo que a la informática se refiere.

Al mismo tiempo, se observa una tendencia a actividades de diseño enfocados al paradigma de la sostenibilidad. Al respecto, las denominaciones varían en dependencia del énfasis a las dimensiones economía, sociedad y naturaleza. (McDonough y Braungart, 2009) De manera general, autores como (Vezzoli y Manzini, 2015) proponen la categoría Diseño para la Sostenibilidad en lo que agrupan al ecodiseño, el diseño emocional, el diseño biomimético, el diseño de la cuna a cuna y el diseño para el comportamiento sostenible como una vía para vincular el diseño y el medio ambiente como “el espacio en el que interactúa la sociedad con la naturaleza”. (Urquiola, y otros, 2017)

De manera que existe información en relación a tendencias de diseño y metodologías de diseño que incorporan criterios ambientales para la concepción de productos que, en su sistematización, pueden ser incorporados en las etapas iniciales del proceso de diseño. Tal es el caso de la etapa de necesidad donde se definen las condicionantes del diseño y la etapa de problema, momento en el que se analizan un conjunto de factores de los que se derivan requisitos de diseño imprescindibles para la etapa de conceptualización y la evaluación de la calidad del diseño final.

El impacto ambiental constituye una alteración que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente, positiva o negativa (Ihobe, 2017). Los productos resultantes de la actividad humana están estrechamente relacionados con la situación de crisis ambiental actual que enfrenta el planeta y la especie humana. Podemos afirmar, que el diseño, cuya actividad práctica persigue el objetivo de concebir los productos para que estos cumplan eficientemente su finalidad útil, y puedan ser producidos garantizando su circulación y consumo no están exentos de la generación de impactos negativos al medio ambiente y, por tanto, requiere de una sistematización a nivel proyectual que permita la mejora continua y la transición hacia mejores escenarios de sostenibilidad.

Este elemento motiva a la necesidad de realizar una evaluación durante el proceso de diseño incorporando criterios ambientales, utilizando el paradigma de computación con palabras y específicamente el modelo de 2-tuplas lingüísticas, que respaldan el manejo de lenguaje natural y el criterio de varios expertos.

## **Métodos o Metodología Computacional**

### **Impacto ambiental**

Las autoras Fernández y Valdivia (Fernández y Valdivia, 2015), proponen un conjunto de aspectos relativos a la crisis ambiental que denominan como tesis fundamentales para entender la problemática medio ambiental contemporánea: la crisis actual de la relación sociedad - naturaleza tiene un carácter histórico; se originó con la civilización industrial del siglo XIX y se agrava hoy en día; el origen de las crisis no se encuentra en un problema aislado, sino es consecuencia de la acción de una familia de problemas

(población, artificialidad, contaminación, energía equivocada, ecocidio y aceleración del tiempo). De forma tal que, estos problemas originados en el siglo XIX, se han comportado con un crecimiento exponencial durante los siglos XIX y XX, con igual tendencia en el siglo XXI.

El pronóstico y análisis de impactos ambientales significativos dependen en gran parte del conocimiento y los procesos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales que se pueden ver afectados por la acción propuesta. El impacto ambiental se puede clasificar por su carácter, por la relación causa efecto, por el momento en que se manifiesta, entre otros.

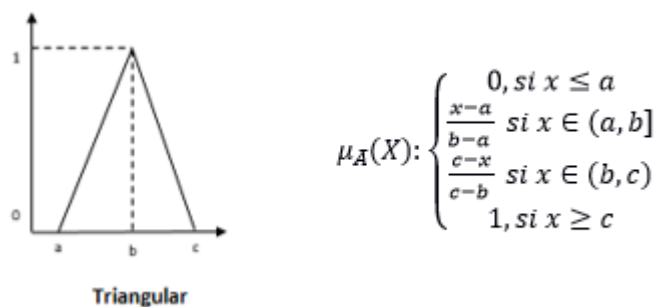
En el proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) en el proceso de diseño, es necesaria la consideración de criterios de sostenibilidad. En el caso específico de esta investigación se realiza la evaluación de criterios en la integración ambiental, donde el término “bajo” responde a una variable lingüística e “integración” al carácter del mismo.

### **Enfoque lingüístico difuso**

La teoría de los conjuntos difusos o borrosos fue introducida por Zadeh (Zadeh, 1965). La lógica difusa es una generalización de la lógica booleana clásica, propuesta como una extensión de esta, con objeto de permitir manejar el concepto de verdades parciales situadas entre el totalmente verdadero y el totalmente falso, pues la percepción del mundo real está invadida por conceptos que no tienen fronteras nítidamente definidas (Zadeh, 1996), como, por ejemplo, regular, muy bajo, moderado, importante, poco, entre otros. Su ámbito abarca diferentes dominios como: teoría de sistemas, (Felix y otros, 2015) análisis de decisión (Liu, y otros, 2016) (Abdullah, Adawiyah y Kamal 2018) (Zongyuan, Huchang y Yuxi, 2020) y recuperación de información (Cruz y Armenteros, 2017). Un aspecto clave en la lógica difusa es que los conceptos son modelados mediante conjuntos difusos.

La función  $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$  describe una función de pertenencia asociada a un conjunto difuso  $\tilde{A}$  que depende no sólo del concepto que representa, sino también del contexto en el que se usa. Una función de pertenencia

no es una función como la de los conjuntos clásicos, es necesario definirla. Cualquier forma de estas funciones tiene diferentes propiedades y representaciones gráficas. La semántica de los conjuntos difusos no es muy sensible a diferenciaciones en la forma, y es muy ventajoso el uso de funciones simples. Para la representación de los conjuntos suelen definirse con funciones paramétricas. En esta investigación, teniendo en cuenta la semántica, el contexto y dominio en que se utiliza, así como para lograr la simplificación el trabajo, se utiliza la función triangular.



**Fig. 1** – Conjunto de términos lingüísticos.

### Modelo de representación de 2-tuplas lingüísticas

El modelo de representación de 2-tuplas lingüísticas introducido por Herrera y Martínez (Herrera y Martínez, 2000), con el objetivo de mejorar la precisión de los resultados, y facilitar el proceso de computación con palabras. Se representa la información lingüística por las dos tuplas  $(S_i, \alpha)$   $\in \bar{S} = S \times [-0.5, 0.5)$ , donde  $S_i \in S$  y  $\alpha \in [-0.5, 0.5)$ . Sea entonces  $S = \{S_i | i = 0, 1, 2 \dots g\}$  es un término lingüístico y  $\beta \in [0, g]$  un valor obtenido por un método simbólico operando con información lingüística. Las 2-tuplas lingüísticas que expresan la información equivalente a  $\beta$  se obtiene como:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5) \quad (1)$$

Donde

$$\Delta(\beta) = (S_i, \alpha), \text{ with } \begin{cases} S_i, i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, \alpha \in [-0.5, 0.5) \end{cases} \quad (2)$$

Sea  $x = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)\}$  un conjunto de 2-tuplas  $\Phi$ , la media aritmética extendida para 2-tuplas:  $\tilde{s}^m \rightarrow \tilde{s}$  se define como:

$$\Phi(x) = \Delta\left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta^{-1}((s_i, \alpha_i))\right) \quad (3)$$

### Computación con palabras como instrumento en la Gestión Ambiental

El uso de información lingüística implica la necesidad de operar con variables lingüísticas. El cálculo con palabras (CWW) es un paradigma basado en un procedimiento que emula los procesos cognitivos humanos para tomar decisiones y procesos de razonamiento en entornos de incertidumbre e imprecisión. En este paradigma, los objetos de computación son palabras u oraciones de un lenguaje natural para obtener resultados en el dominio de expresión lingüística original. Su utilización se extiende a diferentes áreas y disciplinas tales como la ingeniería, la psicología y la inteligencia artificial, la gestión de proyectos, la evaluación en la educación (Crespo, y otros, 2016) (Peña, y otros, 2016) (Martin, 2019) (Renté, 2020).

En la literatura, el uso de la computación con palabras y más específicamente modelo lingüístico 2-tupla, ha sido aprovechado en la evaluación de impactos ambientales (Blanco et al. 2009)(Zulueta, 2014) (Jiménez y Zulueta, 2017) (Zulueta et al. 2016). En la solución brindada por Blanco (Blanco et al. 2009), con el fin de mejorar una metodología general para llevar a cabo el proceso EIA, se incorpora el análisis mediante técnicas difusas, al presentar todas las variables que se utilizan como variables lingüísticas, caracterizadas por números difusos. La autora Zulueta en (Zulueta, 2014) define un modelo de evaluación de la importancia del impacto ambiental, donde la incertidumbre es inherente. Para ello se define el problema en un ambiente de incertidumbre, multicriterio, multiexperto, y en contexto heterogéneo, utilizando el modelo lingüístico 2-tupla. La propuesta de este modelo de EIA resuelve las limitaciones de otros modelos para

tratar información heterogénea y permite tomar decisiones teniendo en cuenta los cambios en el tiempo. La aplicación de dicha propuesta se realiza al proyecto Reconversión Tecnológica de la Planta de Cloro Sosa de Sagua la Grande. Jiménez y Zulueta abordan la problemática ambiental (Jiménez y Zulueta, 2017), con la elección del mejor proveedor considerando la capacidad de producir productos o servicios cumpliendo estándares o regulaciones ambientales y con el menor impacto para el medio ambiente. En este caso se busca el proveedor adecuado utilizando un enfoque de toma de decisión multicriterio, y multiperíodo, basado en el modelo computacional 2-tuplas lingüísticas. Según la cantidad de expertos que emiten las valoraciones el problema se clasifica en multiexperto. Se valida la propuesta con la aplicación de varios operadores de agregación como el operador media aritmética y el operador media aritmética extendida. La EIA en el proyecto minería de piedra caliza “El Cacao” (Zulueta et al. 2016) constituye otra aplicación en evaluación de impactos ambientales, donde la naturaleza de los criterios es heterogénea. Se maneja información vaga e imprecisa. Esta solución permite que los expertos expresen sus criterios en diferentes dominios de expresión que luego son unificados en el dominio de 2-tuplas lingüísticas.

Partiendo del objeto de investigación del presente trabajo, la evaluación en el proceso de diseño no es más que un marco de evaluación heterogénea, en el que el colectivo de expertos de diseño puede utilizar diferentes dominios según la naturaleza de los criterios y el grado de conocimiento, sobre la problemática en cuestión. En primer lugar, se establece el marco de evaluación del problema donde se definen las principales características y las terminologías del proceso, los criterios a utilizar y las dimensiones en que los expertos evalúan sus diferentes puntos de vista.

La computación con palabras persigue tres objetivos fundamentales: ofrecer una metodología para el cálculo y la racionalización cuando la información disponible es suficientemente precisa para la justificación o empleo de números; aprovechar la tolerancia de la imprecisión para alcanzar manejabilidad, robustez, bajo costo y mejor relación con la realidad; proporcionar bases para el desarrollo de lenguajes de programación que pudiesen aproximar los lenguajes naturales en apariencia y en capacidad de expresión.



El equipo de diseño evalúa el grado de incorporación de los criterios ambientales en el proceso de diseño en cada alternativa. Para realizar la evaluación, se consideran como evaluadores cuatro expertos, correspondientes a profesores de experiencia del Instituto Superior Politécnico de Huíla, con experiencia como miembros en equipos de diseño, como directivos de proyectos y como diseñadores activos.

La experiencia de integración de la dimensión ambiental en el proceso de diseño requiere de un método que permita la evaluación de las alternativas y los criterios. Para realizarla se consideraron como alternativas los factores de diseño, definidos con anterioridad por (Valdivia, y otros, 2019), los cuales corresponden a:

$a_{FC}$ : Se refiere al factor contexto, a las relaciones entre los sistemas naturales y los sociales donde el producto de diseño es implementado desde socio-económico-ambiental, físico digital.

$a_{FT}$ : Se refiere al factor tecnología, a los materiales, las energías y los procesos necesarios para el desarrollo del producto de diseño. También la capacidad de la gestión de los recursos humanos, técnicos y financieros que intervienen; las tendencias y posibilidades de tecnológicas alternativas.

$a_{FU}$ : Se refiere al factor uso, a la materialización del consumo, las acciones humanas que implementan, dirigen o controlan las funciones designadas al producto. Incluye el comportamiento sostenible del consumidor y la reducción del impacto durante el uso.

$a_{FF}$ : Se refiere al factor función, al propósito útil del producto, las acciones que contribuirán para satisfacer las necesidades del público, así como la optimización de recursos, la energía y la vida útil del producto.

$a_{FM}$ : Se refiere al factor mercado, al estudio de mercado, y a la manera en que el mensaje llega al hombre donde el valor de cambio y la promesa de utilidad se materializan.

Cada uno de estas alternativas serán evaluadas a partir de su integración con la dimensión ambiental correspondiente a los siguientes criterios:

$c_{ME}$ : Se refiere a materiales y energías. Tiene en cuenta la selección, racionalización y reducción del uso de los recursos naturales y la eficiencia energética para la reducción del impacto ambiental negativo.

$C_{AO}$ : Se refiere a las alternativas óptimas. Consideran la sustitución parcial o total de procesos y sistemas tradicionales con alto consumo que inciden en la concepción de los productos.

$C_{CH}$ : Se refiere al comportamiento humano. Fomenta cambios en el comportamiento de los actores internos y externos. Promueve el consenso social hacia la conservación y protección del medio ambiente. Informa, orienta y concientiza a los actores, internos y externos, sobre las buenas prácticas que contribuyen a la reducción del impacto ambiental negativo a lo largo del ciclo de vida.

Se denomina el experto  $e_n$ , donde  $n$  es un número entero y finito, mayor que cero y que corresponde a la cantidad de expertos.

La evaluación de criterios de integración ambiental en el proceso de diseño es fundamental. La toma de decisión para este tipo de problemas se realiza bajo situaciones con información vaga, imprecisa e incierta. La computación con palabras hace más flexible y fiable los modelos de decisión bajo incertidumbre. En este trabajo para la solución de problema de toma de decisión en contextos de incertidumbre se realizan los pasos que se especifican a continuación:

1. Fase de modelación: Con la definición del marco de trabajo. y la selección del conjunto de términos lingüísticos y su semántica.
2. Fase de recopilación de información: Con la recopilación de preferencias emitida por cada experto.
3. Fase de análisis: Selección del operador de agregación de información lingüística y agregación, donde se obtiene un valor colectivo de preferencias para cada alternativa y/o criterio de representación, a partir de los valores individuales de preferencias proporcionados por los expertos que participan en el problema, utilizando un operador de agregación adecuado a las necesidades del problema.
4. Fase de selección: Explotación, donde la información de entrada de esta fase son los valores colectivos obtenidos en la fase anterior. Su objetivo es seleccionar la/s mejor/es alternativa/s a partir de los valores colectivos y empleando funciones que permiten compararlos y ordenarlos.

## Resultados y discusión

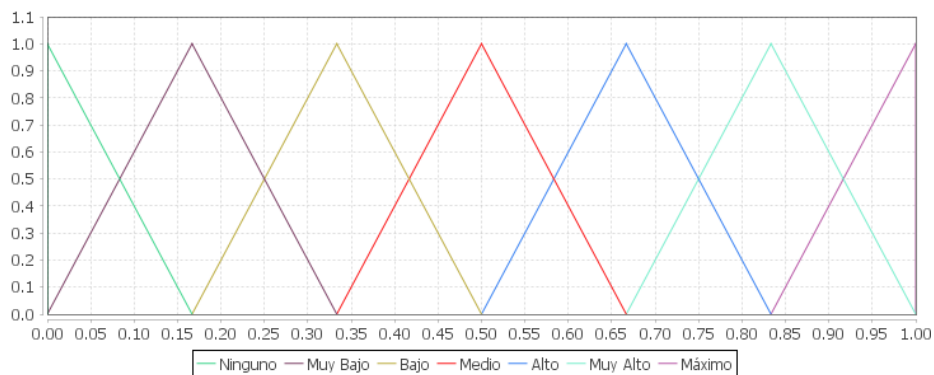
Para llevar a cabo el proceso de evaluación de la incorporación de los criterios ambientales al Diseño, utilizando computación con palabras, se valoran los proyectos de curso de los estudiantes finalistas del Curso de Diseño del Instituto Superior Politécnico de Huíla, Lubango, Angola. En la presente investigación se toma como caso de estudio uno de estos proyectos, el cual constituye un caso de estudio real que visualiza la ventaja y validez de la propuesta. Esto permite acercarse al modelo cognitivo humano, teniendo en cuenta la interacción entre los criterios y las alternativas. La evaluación ocurre en el momento de decisión  $t$  y todos los atributos y todos los expertos del problema tienen la misma importancia. Se utilizará el operador media aritmética extendida para 2-tuplas (MAE2T) en todo el proceso.

El problema de toma de decisión que se desea resolver ocurre en un ambiente de incertidumbre, caracterizado por las dificultades para manejar y consensuar las valoraciones cualitativas que emiten múltiples expertos basados fundamentalmente en su experiencia. En cuanto a los cambios en el tiempo, se considera que se trata de un problema no dinámico pues se tienen en cuenta las preferencias en un único momento de decisión. En el problema que se modela, se evalúan múltiples atributos, sobre los que los expertos emiten sus preferencias en un único dominio de expresión, en este caso el lingüístico. Por lo que se está en presencia de un problema homogéneo.

En el marco de trabajo serán evaluados cinco alternativas, que corresponde con cada uno de los factores de diseño,  $A = \{a_{FC}, a_{FF}, a_{FT}, a_{FU}, a_{FM}\}$ . y un conjunto de tres atributos, que corresponden a la dimensión ambiental,  $C = \{c_{ME}, c_{CH}, c_{AO}\}$ .

Participan cuatro expertos  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$  con conocimientos y experiencia en la gestión de proyectos de diseño, en el diseño de productos, conocimientos de sustentabilidad y medio ambiente. Para este caso, el experto  $e_1$  se desempeña como gerente de proyecto,  $e_2$  se desempeña como diseñador,  $e_3$  se desempeña también como diseñador,  $e_4$  profesor del curso de diseño de comunicación visual.

Se selecciona el conjunto de siete términos lingüísticos, distribuidos simétricamente:  $S_t = \{N; MB; B; M; A; MA; MX\}$ . De esta forma el conjunto de términos lingüísticos utilizado en las variables lingüísticas se encuentra formado por una estructura de etiquetas ordenadas de la siguiente manera:  $S_0 = N = \text{Ninguno}$ ;  $S_1 = MB = \text{Muy Bajo}$ ;  $S_2 = B = \text{Bajo}$ ;  $S_3 = M = \text{Medio}$ ;  $S_4 = A = \text{Alto}$ ;  $S_5 = MA = \text{Muy Alto}$ ;  $S_6 = MX = \text{Máximo}$ . En este conjunto  $S_i < S_j$  y sólo si  $i < j$  cuya semántica se muestra en la Fig.2.



**Fig. 2** – Conjunto de términos lingüísticos.

Los expertos expusieron sus valores de preferencias, los cuales fueron unificados y expresados en el dominio lingüístico de 2-tuplas. En la Tabla 1 se muestran las preferencias emitidas por los expertos para la evaluación de los criterios para cada una de las alternativas.

Una vez expresadas los valores por cada evaluador, se procede a unificarlos en 2-tuplas lingüísticas, como se expone en la Tabla 2. Para ello es preciso emplear modelos computacionales lingüísticos que permitan generar resultados precisos y lograr la interpretación de los mismos.

**Tabla 1** – Valores expresados por los expertos.

| Factores de diseño | Expertos | ME | AO | CH |
|--------------------|----------|----|----|----|
| $a_{FC}$           | e1       | A  | MB | MB |
|                    | e2       | M  | MA | A  |
|                    | e3       | B  | A  | MA |
|                    | e4       | MA | B  | MB |
| $a_{FT}$           | e1       | A  | M  | A  |
|                    | e2       | B  | MA | B  |
|                    | e3       | A  | MA | M  |
|                    | e4       | MA | MB | B  |
| $a_{FU}$           | e1       | A  | MB | B  |
|                    | e2       | MA | B  | MA |
|                    | e3       | B  | MA | A  |
|                    | e4       | M  | A  | B  |
| $a_{FF}$           | e1       | A  | A  | A  |
|                    | e2       | A  | MA | M  |
|                    | e3       | MA | MB | B  |
|                    | e4       | A  | MB | A  |
| $a_{FM}$           | e1       | M  | M  | B  |
|                    | e2       | MB | A  | M  |
|                    | e3       | B  | M  | B  |
|                    | e4       | A  | A  | MA |

**Tabla 2** – Transformación a 2-tuplas lingüísticas.

| Factores de diseño | Expertos | ME     | AO     | CH     |
|--------------------|----------|--------|--------|--------|
| $a_{FC}$           | e1       | (S4,0) | (S1,0) | (S1,0) |
|                    | e2       | (S3,0) | (S4,0) | (S4,0) |
|                    | e3       | (S1,0) | (S4,0) | (S4,0) |
|                    | e4       | (S5,0) | (S2,0) | (S1,0) |
| $a_{FT}$           | e1       | (S4,0) | (S3,0) | (S4,0) |
|                    | e2       | (S2,0) | (S5,0) | (S2,0) |
|                    | e3       | (S4,0) | (S5,0) | (S4,0) |
|                    | e4       | (S5,0) | (S1,0) | (S2,0) |

|          |                |                     |                     |                     |
|----------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $a_{FU}$ | e <sub>1</sub> | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>1</sub> ,0) | (S <sub>2</sub> ,0) |
|          | e <sub>2</sub> | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>2</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) |
|          | e <sub>3</sub> | (S <sub>2</sub> ,0) | (S <sub>5</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) |
|          | e <sub>4</sub> | (S <sub>3</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>2</sub> ,0) |
| $a_{FF}$ | e <sub>1</sub> | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) |
|          | e <sub>2</sub> | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>1</sub> ,0) | (S <sub>3</sub> ,0) |
|          | e <sub>3</sub> | (S <sub>5</sub> ,0) | (S <sub>1</sub> ,0) | (S <sub>2</sub> ,0) |
|          | e <sub>4</sub> | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>1</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) |
| $a_{FM}$ | e <sub>1</sub> | (S <sub>3</sub> ,0) | (S <sub>3</sub> ,0) | (S <sub>2</sub> ,0) |
|          | e <sub>2</sub> | (S <sub>1</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>3</sub> ,0) |
|          | e <sub>3</sub> | (S <sub>2</sub> ,0) | (S <sub>3</sub> ,0) | (S <sub>2</sub> ,0) |
|          | e <sub>4</sub> | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>4</sub> ,0) | (S <sub>5</sub> ,0) |

Un valor colectivo se obtiene para un criterio, mediante la agregación de las preferencias de los expertos unificados en 2-tuplas, utilizando la fórmula de la media aritmética extendida como se expuso anteriormente en (3). Luego estos valores son agregados para obtener el valor de impacto de cada uno.

**Tabla 3** – Agregación de la evaluación

| Alternativas | ME            | AO             | CH            | Valor agregado |
|--------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| $a_{FC}$     | (Medio, 0.25) | (Medio, -0.25) | (Medio, -0.5) | (Medio, -0.16) |
| $a_{FT}$     | (Alto, -0.25) | (Alto, -0.5)   | (Medio, 0)    | (Medio, 0.42)  |
| $a_{FU}$     | (Medio, 0.25) | (Medio, 0)     | (Medio, 0)    | (Medio, 0.08)  |
| $a_{FF}$     | (Alto, 0.25)  | (Bajo, 0.25)   | (Medio, 0.25) | (Medio, 0.25)  |
| $a_{FM}$     | (Medio, -0.5) | (Alto, -0.5)   | (Medio, 0)    | (Medio, 0)     |

Los resultados de la tabla 3 muestran que la alternativa función contexto tiene una relación de impacto medio con los materiales y energías empleados para la reducción del impacto ambiental negativo. Del

mismo modo, esta misma alternativa tiene una relación de impacto medio con la sustitución parcial o total de procesos y sistemas tradicionales con alto consumo que inciden en la concepción de los productos. Sin embargo, en el caso de la alternativa factor mercado tiene una relación de impacto alto con sustitución parcial o total de procesos y sistemas tradicionales con alto consumo que inciden en la concepción de los productos.

Considerando estos resultados la solución del problema es  $a_{FT} > a_{FF} > a_{FU} > a_{FM} > a_{FC}$ . Como conclusión de los resultados obtenidos podemos afirmar que los ejes estratégicos de integración ambiental son aplicables de manera favorable. Se ofrecen soluciones que tributan a la “Gestión Racional de los Recursos Naturales”, la “Mejora de la calidad ambiental” y el “Enfrentamiento al cambio climático” de la estrategia ambiental nacional. En las dimensiones relacionadas a las etapas de extracción, vida útil y fin de vida se verifican resultados de una eficiencia ambiental aceptable. Se ofrecen soluciones que emplean el componente de la gestión ambiental “Instrumentos legales, reglamentos, normas y disposiciones institucionales”.

Las garantías en cuanto al impacto para el medio ambiente del diseño de producto se vuelve una necesidad imperiosa, las empresas deben innovar lo mejor posible para evitar impactos negativos. Con este trabajo se definió un nuevo enfoque para la evaluación de criterios ambientales, procesar información bajo incertidumbre y dinámica lo más precisa posible, y definitivos por la idea de variables lingüísticas de 2-tuplas.

El enfoque propuesto permite a los expertos utilizar la evaluación lingüística basada en su experiencia y conocimientos. Pueden expresar sus juicios de manera más realista y precisa. Los resultados finales son más razonables, confiables y más cercanos al modelo común de comunicación de las personas. La principal ventaja es que es posible evaluar situaciones de incertidumbre, con la información lingüística proporcionada. De esta manera, le da una solución más completa del problema de evaluación de criterios ambientales, porque considera diferentes criterios emitidos por diferentes expertos.

## Conclusiones

La incorporación del paradigma de computación con palabras, específicamente el modelo de 2-tuplas lingüísticas, introduce nuevas dinámicas en los equipos desarrollo de productos y favorece la visualización de la evaluación del diseño como un instrumento de la gestión ambiental para la toma de decisiones, en la transición hacia mejores escenarios de sostenibilidad.

La propuesta es de un impacto positivo, tanto a nivel social como medioambiental. Influye en la evaluación de criterios ambientales para la concepción de productos, desde las etapas iniciales del proceso de diseño; permite la verificación de la calidad ambiental de los resultados de diseño por varios expertos respaldados por el manejo del lenguaje natural y sustenta los argumentos de las calificaciones en la evaluación de la calidad del diseño. También, contribuye a la reorientación de las regularidades evaluativas y la comparación con resultados precedentes o proyecciones de evaluación para la mejora ambiental incremental en la calidad del diseño, a corto, mediano y a largo plazo.

Para futuras investigaciones, se considera que el marco de evaluación puede mejorarse incluyendo no solo términos lingüísticos sino también otros dominios de información. Un marco de evaluación heterogéneo permite modelar la incertidumbre, de una manera más adecuada y flexible. Además, sería muy interesante ampliar nuestro análisis al caso a otros tipos de indicadores de impactos al medio ambiente. Esto puede ayudar a identificar otros problemas complejos de decisión.

## Referencias

Abdullah, L., Adawiyah, C.W.. Y Kamal, C., 2018. A Decision Making Method Based On Interval Type-2 Fuzzy Sets: An Approach For Ambulance Location Preference. *Applied Computing And Informatics*, Vol. 14, Pp. 65–72. Doi [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Aci.2017.04.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.aci.2017.04.003).



- Blanco, A., Delgado, M., Martín, J. Y Polo, M., 2009. Aieia: Software For Fuzzy Environmental Impact Assessment, *Expert Systems With Applications*, Vol. 5, No. 36, Pp. 9135–9149.
- Crespo, J., Peña, E. Y Fustiel, Y., 2016. Elección Entre Una Metodología Ágil Y Tradicional Basado En Técnicas De Soft Computing. *Tevista De Ciencias Informáticas*, Vol. 10.
- Cruz, M. Y Armenteros, A., 2017. La Lógica Difusa En La Modelización Del Riesgo Operacional. Una Solución Desde La Inteligencia Artificial En La Banca Cubana. *Cofin Habana*, Vol. 12, No. 2, Pp. 122-135.
- Felix, G., Calero, C., Esquivel, C. Y Bello, F., 2015. Implementation Of Computing With Words In Evaluating Training Program. , Pp. 39–48. Doi Dx.Doi.Org/10.15446/Dyna.V82n193.44553.
- Fernández, L. Y Valdivia, M., 2015. Tesis Fundamentales Para Abordar La Problemática Medioambiental. *Cuba : Ediciones Forma*. S.L.: 2015,
- Herrera, F. Y Martínez, L., 2000. A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model For Computing With Words. *Ieee*, Vol. 8, No. Fuzzy Set, Pp. 746–752. Doi Doi: 10.1109/91.890332.
- Ihobe, 2017. Guía Para La Aplicación Conjunta De Los Análisis De Ciclo De Vida Ambiental (Lca) Y De Costes (Lcc). *Sociedade Pública De Gestión Ambiental*,
- Jiménez, G. Y Zulueta, Y., 2017. A 2-Tuple Linguistic Multi-Period Decision Making Approach For Dynamic Green Supplier Selection. , Vol. 84, Pp. 199-206. Doi Http://Dx.Doi.Org/10.15446/Dyna.V84n202.58032).
- Liu, Y., Fan, Z.. Y Zhang, X., 2016. A Method For Large Group Decision-Making Based On Evaluation Information Provided By Participators From Multiple Groups. *Information Fusion*, Pp. 132-141.
- Martin, N., 2019. *Guía Para La Evaluación De La Calidad De La Formación Virtual En Gestión De Proyectos*. Tesis Maestría. La Habana: Universidad De Las Ciencias Informáticas.
- Mcdonough, W. Y Braungart, M., 2009. Cradle To Cradle. Remaking The Way We Make Things. *Inglaterra: Vintage Books*,
- Peña, M., Rodríguez, C. Y Piñero, P., 2016. Computing With Words To Feasibility Study Of Software Projects. , Vol. 20, No. 50, Pp. 69-84. Doi 10.14483/22487638.11562.
- Renté, R.M., 2020. *Evaluación Del Impacto De Cambios Durante La Gestión De Proyectos*. Tesis Maestría. S.L.: Universidad De Las Ciencias Informáticas.

Urquiola, O., Zulueta, O. Y O.R, L., 2017. La Innovación Para Un Desarrollo Sostenible. Una Experiencia En Cienfuegos. Cuba. *Revista Científicas Universidad Cienfuegos*, Vol. 8, No. 3, Pp. 106-113. Issn 2218-3620.

Valdivia, A., Gontán, A. Y Castro, A., 2019. Criterios Ambientales En Los Factores De Diseño. *Forma 2019*. La Habana, Cuba: S.N.,

Vezzoli, C. Y Manzini, E., 2015. *Diseño De Productos Ambientalmente Sustentables*. Disignio Sa De Cv. S.L.: S.N. Isbn 978-968-5852-48-7.

Zadeh, L., 1965. Fuzzy Sets, Information And Control. , Vol. 8, No. 3, Pp. 338-353.

Zadeh, L., 1996. Nacimiento Y Evolución De La Lógica Borrosa, El Soft Computing Y La Computación Con Palabras: Un Punto De Vista Personal. , Vol. 8, No. 2, Pp. 421-429.

Zongyuan, R., Huchang, L. Y Yuxi, L., 2020. Generalized Z-Numbers With Hesitant Fuzzy Linguistic Information And Its Application To Medicine Selection For The Patients With Mild Symptoms Of The Covid-19. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 145. Doi <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106517>.

Zulueta, Y., 2014. *Modelos De Evaluación De La Importancia Del Impacto Ambiental En Contextos Complejos Bajo Incertidumbre*. Tesis Doctoral. Granada: Universidad De Granada.

Zulueta, Y., Rodriguez, D., Bello, R. Y Luis, M., 2016. A Linguistic Fusion Approach For Heterogenous Environmental Impact Significance Assessment. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 40, Pp. 1402-1417. Doi <http://doi.org/10.1016/j.apm.2015.07.016>.

### **Conflicto de interés**

Los autores de este trabajo remitimos el manuscrito titulado «Computación con palabras en la evaluación del Diseño como instrumento de la Gestión Ambiental» y se autoriza la distribución y uso del mismo.

### **Contribuciones de los autores**

1. Conceptualización: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa, Manuel Vega Almaguer, Manuel Vega Almaguer

2. Curación de datos: Rosa María Renté Labrada, Gilberto Enrique González Hidalgo
3. Análisis formal: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa
4. Adquisición de fondos: No aplica
5. Investigación: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa
6. Metodología: Rosa María Renté Labrada
7. Administración del proyecto: Arianet Valdivia Mesa
8. Recursos: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa
9. Software: Rosa María Renté Labrada, Gilberto Enrique González Hidalgo
10. Supervisión: Arianet Valdivia Mesa, Manuel Vega Almaguer
11. Validación: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa, Gilberto Enrique González Hidalgo
12. Visualización: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa
13. Redacción – borrador original: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa, Manuel Vega Almaguer.
14. Redacción – revisión y edición: Rosa María Renté Labrada, Arianet Valdivia Mesa.

### **Financiación**

El trabajo no requirió financiación. El mismo forma parte de un proyecto de investigación entre profesores de la Universidad de Ciencias Informáticas, Universidad de La Habana e Instituto Superior Politécnico de Huíla.