

ISSN 2070-836X

APORTE SANTIAGUINO

Revista de Investigación

Volumen 5 n.º 1, enero – junio 2012

*Ciencia,
cultura,
tecnología
e innovación*



Huaraz, Perú



ARTÍCULOS ORIGINALES

- Resistencias y costos unitarios de concretos elaborados con agregado grueso, piedra partida y canto rodado de la cantera Tacllán. [Resistance and costs unit of concrete produced with thick broken stone coarse aggregate and boulder from the quarry Tacllán]..... 9
Victor Raúl Villegas Zamora, Miguel Ronald Corrales Picardo
- Modelos de las Intensidades – Duraciones y Frecuencias de las Tormentas en la estación Meteorológica Yanacancha San Marcos (Huari – Ancash). [Models of Intensity – Duration and Frequency of the Storms in Yanacancha Meteorology Station(Huari – Ancash)]..... 14
Toribio Marcos Reyes Rodríguez
- Aplicación de técnicas difusas en las metodologías matriciales de la evaluación de impacto ambiental. [Application of fuzzy techniques in the matrix methodologies of environmental impact assessment]..... 19
Pedro Valladares Jara
- Elaboración de instrumentos basados en el aprendizaje social para el proceso de extensión de educación ambiental en el ámbito de la comunidad campesina de Cátac, Ancash Perú, 2011. [Development of instruments based on social learning for the extension process of environmental education in the area of rural community Cátac, Ancash Perú, 2011]..... 28
Eladio Guillermo Tuya Castillo, Heraclio Fernando Castillo Picón, Jerónimo Víctor Manrique, Rosa Rodríguez Anaya
- Evaluación del contenido de Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc en los suelos fluvisoles del Callejón de Huaylas entre los 1800 y 3 700 msnm, Ancash, Perú, 2011. [Evaluation of copper, iron, manganese and zinc content in the fluvisols of Callejón de Huaylas between 1800 and 3700 m.o.l, Ancash, Perú, 2011]. 36
Juan F. Barreto R. y Gelar I. Huaytalla T.
- Efecto de la pobreza en la degradación de los recursos naturales focales del Parque Nacional Huascarán. [Effect of poverty in the degradation of natural resources focus Huascarán National Park] .. 43
Francisco Huerta B., Denis Mendoza R.
- El lugar antropológico como variable fundamental para el desarrollo de la identidad cultural. [The anthropological place like fundamental variable for the development of cultural identity]. 53
Jorge Brower B.
- Segregación en aves insectívoras con base en la morfometría del pico y la longitud total. [Segregation in insectivorous birds based on morphometry beak and the total length] 60
César Chávez-Villavicencio, Carolina Sáenz-Bolaños y Manuel Spínola-Parallada

Proceso metalúrgico alternativo para la minería aurífera artesanal. [Alternative process for metallurgical artisanal gold mining].	68
<i>Vidal Aramburú R; Julián Pérez F; Pablo Núñez J; Ángel Azañero O; Sósimo Fernández S; Pedro Gagliuffi E; Pilar Áviles M; Sally Sedano A; Carlos Rivera R; Luis Sánchez Q.</i>	
Situación actual e importancia de las comunidades macrotérmicas y/o xerofíticas de la zona de Cupisnique. La Libertad, Perú, 2010. [Current status and importance of macrothermal and/or xerophytic communities in the area of Cupisnique. La Libertad, Peru, 2010].	74
<i>Freddy Mejia Coico, José Mostacero L., Luis Taramona R., Fernando Castillo P., José Vera R.</i>	
Modernización y festividades religiosas en la zona andina de Huaraz: el caso de Cóyllur, Paria y Unchus. [Modernization and religious festivities in Huaraz's andean zone: cases Coyllur, Paria and Unchus].	86
<i>Guillermo Gomero C., Dany Paredes A, José Yovera S.</i>	
El Decreto Legislativo N° 882 y la desnaturalización de la Universidad. [Article on the denigration of University Education].	94
<i>José Clemente Flores Barboza</i>	

Aplicación de técnicas difusas en las metodologías matriciales de la evaluación de impacto ambiental

Application of fuzzy techniques in the matrix methodologies of environmental impact assessment

Pedro Valladares Jara^{1a}.

RESUMEN

La principal contribución de esta investigación, ha sido el diseño de una Metodología Difusa para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), en respuesta a problemas de imprecisión y vaguedad en la valoración de los impactos con metodologías matriciales crisp. La incorporación de técnicas difusas se sustenta en la versatilidad de los números difusos para modelar valores numéricos con incertidumbre, generando un marco para tratar simultáneamente variables numéricas y lingüísticas, facilitando la interdisciplinariedad. La hipótesis principal confirmada, sostenía que las técnicas difusas mejoran la valoración de los impactos en el escenario de los números reales, permitiendo una mejor combinación de variables cualitativas y cuantitativas para minimizar las incertidumbres, habiendo sido el objetivo principal su aplicación en las metodologías matriciales. El diseño, ha seguido el algoritmo de los sistemas de computación con palabras basados en aritmética difusa. La metodología diseñada, permite ética y pragmáticamente obtener resultados trazables, comparables con estándares de calidad ambiental. Su aplicación simulada a Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) de proyectos de ingeniería ha sido consistente, pues se obtiene resultados crisp y difusos, asociados a la importancia y magnitud de los impactos. Su uso masivo, requiere el desarrollo interdisciplinario de un software prototipo compatible con los ecosistemas del Perú.

Palabras clave: Técnicas difusas, metodología matricial y EIA.

ABSTRACT

The main contribution of this research was to design a Fuzzy Methodology for Environmental Impact Assessment (EIA), in response to problems of imprecision and vagueness in the rating of the impact with crisp matrix methodologies. The incorporation of fuzzy techniques is based on the versatility of the fuzzy numbers to model uncertain numerical values, creating a framework for dealing with numerical and linguistic variables simultaneously, facilitating interdisciplinarity. The main hypothesis confirmed, argued that fuzzy techniques improve the rating of impacts on the stage of real numbers, allowing a better combination of qualitative and quantitative variables to minimize the uncertainties, having been the main target application in the matrix methodologies. The design has followed the algorithm of computing systems with words based on fuzzy arithmetic. The methodology designed, ethically and pragmatically allows obtain traceable results comparable to standards of environmental quality. Its application simulated Environmental Impact Studies (EIS) for engineering projects has been consistent, crisp and fuzzy results obtained, related to the importance and magnitude of impacts. Widespread use requires the development of a software prototype interdisciplinary compatible with the ecosystems of Peru.

Keywords: Fuzzy techniques, methodology matrix and EIA.

¹ Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
^a Ingeniero Ambiental

INTRODUCCIÓN

La tesis de esta investigación, es aplicar las técnicas difusas en las metodologías matriciales del proceso de EIA. Para ello, se ha diseñado una metodología difusa usando sistemas de computación con palabras basada en aritmética difusa. Esta técnica, mejora la valoración de los impactos en los EsIA.

Para la valoración de los impactos, existe una variedad de metodologías y métodos; pero en la práctica, solo se emplean algunos académicos o experimentales, que no satisfacen plenamente a los stakeholders y decisores. Por lo que, para mejorar la performance de las metodologías matriciales crisp en la valoración de impactos, se ha recurrido a las **técnicas difusas**, como herramienta para minimizar los problemas de imprecisión y vaguedad.

En el Perú, desde 1990, se ha ejecutado EsIA de baja calidad técnica y escasa exigencia ética; por lo que, los usuarios y el público tienen la percepción de que el EsIA, solo complementa decisiones ya adoptadas sobre la viabilidad de un proyecto, evidenciando la obsecuencia del Estado ante el poder político y/o económico, que cercena la internalización de los costos ambientales en la ejecución de proyectos.

Una de las razones para que un EsIA sea débil, es el deficiente diseño de las metodologías crisp para valorar los impactos ambientales. Estas metodologías evidencian debilidades como:

- La valoración cualitativa usa variables cuantitativas. Para el cálculo de la importancia (I_i), las etiquetas cuantificables son convertidas en variables no numéricas.
- La valoración cualitativa es realmente cuantitativa. Se selecciona etiquetas para cada variable, asignándoles valores numéricos enteros.
- La valoración cuantitativa usa variables cualitativas.
- No se modela la incertidumbre, pese a que un proceso de EsIA es predictivo.
- Las escalas de ponderación diferentes de cada variable, distorsionan los pesos de las variables en el cálculo de la importancia del impacto.

En este contexto, el interés se centra en el análisis de las metodologías matriciales, para mejorarlas a través de la aplicación de técnicas difusas. Se usa sistemas de computación con palabras basadas en aritmética difusa, como una **extensión** de la metodología convencional a números difusos (Zadeh, 1999), (Duarte, 2000, 38).

Por ejemplo, a través de la metodología matricial crisp, la variable I_i de un impacto, es valorada como Irrelevante, Moderada, Severa o Crítica, con base en una clasificación intervalar con números enteros. Semánticamente las etiquetas denotan diferencias; pero, numérica y técnicamente son muy cuestionables. Así, entre las I_i 49 y 50, con diferencia numérica mínima, la diferencia conceptual es abrupta, porque los impactos son valorados como moderados y severos respectivamente. Pero, si se define esas mismas I_i a través de una variable lingüística con conjuntos difusos y con las mismas etiquetas, como se muestra en la **Figura 1**, se eliminan esos cambios bruscos.

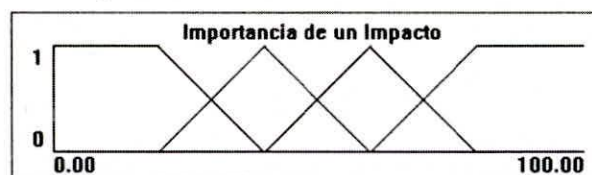


Figura 1. Variable lingüística para la importancia de un impacto.

Un conjunto difuso es una función, en la que, a cada elemento del universo se le asocia su grado de pertenencia. El dominio es el universo y el rango es el intervalo $[0,1]$. “En tanto el grado de pertenencia sea más cercano a 1 tanto más estará el elemento en el conjunto y en tanto el grado de pertenencia sea más cercano a 0 tanto menos estará el elemento en el conjunto” (Zadeh 1965, 338-353).

El problema general identificado fue: ¿Por qué las técnicas difusas son necesarias para la valoración de los impactos, en las metodologías matriciales del proceso de EIA?

Se propuso como objetivo, aplicar técnicas difusas, a través de sistemas de computación con palabras basadas en aritmética difusa, en las metodologías matriciales del proceso de EIA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo y Nivel de Investigación: Por su finalidad, el tipo de investigación fue aplicada, sustantiva, explicativa y tecnológica; y por su grado de profundidad y alcance, el nivel fue descriptivo comparativo.

Universo y Muestra: El universo fueron las metodologías y métodos de valoración de impactos en la EIA; y la muestra han sido las metodologías matriciales para valorar los impactos ambientales en EsIA de proyectos de ingeniería.

Proceso y Análisis: Sin orden secuencial, el diseño de la metodología difusa, comportó los siguientes pasos:

- Recopilación, revisión y análisis contextual de la información disponible cercana (bibliografía) y remota (INTERNET) de fuentes primarias, secundarias y terciarias.
- Representación de las variables involucradas como variables lingüísticas.
- Asignación a cada variable de números difusos.
- Diseño de una metodología difusa para el EsIA a través de la elaboración de un sistema de computación con palabras basadas en aritmética difusa.
- Valoración difusa aproximada (o de granularidad gruesa) (valoración cualitativa).
- Valoración difusa detallada (o de granularidad fina) (valoración cuantitativa).
- Análisis comparativo de los resultados obtenidos con las metodologías crisp y difusa.

Aplicación de Técnicas Difusas:

Algoritmos de extensión de funciones crisp a números difusos: La representación de indicadores como importancia, calidad o valor de una variable (impacto), se obtiene con números difusos. Sin embargo, existen dificultades porque los números difusos no tienen estructura algebraica de grupo, siendo necesaria su adecuación a través del **Principio de Extensión** (Zadeh 1975, 199-249).

En la extensión de funciones crisp monótonas a números difusos como $y=f(x)$, se trata de encontrar una función para calcular y (un número difuso que represente y), cuando se representan los n argumentos de $f(x)$ mediante los números difusos A_1, A_2, \dots, A_n . Debido a que $f(x)$ es continua, puede extenderse la función $y=f(x)$ a números difusos a través del **principio de extensión** usando α -cortes:

$$y_\alpha = f(A_{1\alpha}, A_{2\alpha}, \dots, A_{n\alpha})$$

Esta ecuación significa que un α -corte de y es el conjunto de todos los valores que se obtiene (etiquetas asignadas a los impactos) al usar como argumentos los x_i (F_i o A_j del proyecto) pertenecientes a los α -cortes. Los **números difusos trapezoidales** (más adaptables a los EsIA), pueden ser: $T(a, b, c, d)$ ($a, b, c, d \in R; a \leq b \leq c \leq d$), tal que sus α -cortes se definen, como:

$$A_\alpha = [a + \alpha(b - a), c + (1 - \alpha)(d - c)]$$

Computación con palabras: La noción de conjunto difuso y variable lingüística, han sido usados para la valoración de los impactos. Los

sistemas de computación con palabras, empleando conceptos lingüísticos como entradas y salidas, calculan palabras a partir de palabras. Si el número de entradas es muy elevado, el inconveniente es resuelto con aritmética difusa.

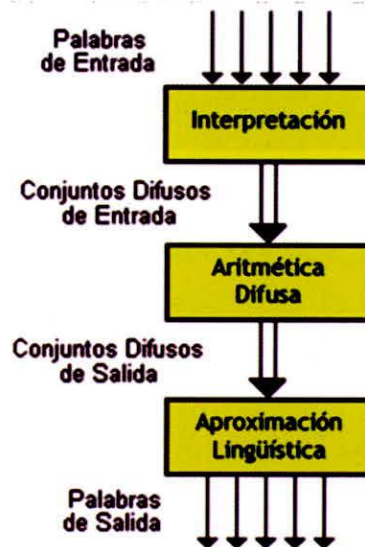


Figura 2. Sistema de computación con palabras.

Fuente: Adpatado de Duarte 2000, 88.

Computación con palabras basadas en aritmética difusa: Son sistemas con entradas y salidas con palabras. La **Figura 2**, muestra la estructura general del sistema. Se asume un sistema de n variables de entrada y una salida. Para un sistema de m salidas se sigue el mismo procedimiento. La variable de entrada i se define sobre el universo de discurso U_i , mientras que la variable de salida se define sobre V_i . El razonamiento aproximado (**RA**), es: $RA: F_U \rightarrow F_V$.

La **FRA** es una extensión a números difusos de una función crisp de razonamiento aproximado (**fra**) y que opera sobre las variables de entrada, en $[0, 1]$:

$$fra: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$$

Para una **fra** adecuada, es necesario elaborar una base de reglas difusas, que permitan su extensión a números difusos con algoritmos (**Figura 3**).

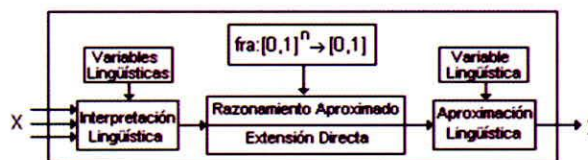


Figura 3. Sistema de computación con palabras basado en aritmética difusa.

Los universos de discurso de las variables de entrada y salida corresponden al intervalo [0,1]. La **FRA**, opera en las entradas con números crisp, intervalos, restricciones difusas y/o palabras. La consistencia entre el conjunto difuso resultante del RA y cada una de las etiquetas de la variable de salida, es un valor numérico en los siguientes intervalos:

- Si es mayor que 2/3 es “**muy posiblemente**”.
- Si está entre 1/3 y 2/3 es “**posiblemente**”.
- Si es menor que 1/3 es “**poco posiblemente**”.
- Si es cero, no se califica la salida.

Las etiquetas se distribuyen en el U_i [0,1] y cualifican a las variables necesarias. Pueden ser ordenadas de manera creciente, como: [Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto].

RESULTADOS

1. Metodología Difusa para la EIA: Integro dos etapas: **valoración aproximada** de granularidad gruesa, en la que se calcula la I_i del impacto; y **valoración detallada** de granularidad fina, en la que se calcula la Mg_i .

1.1. Valoración difusa aproximada:

- Se caracteriza la **estructura del sistema ambiental** hasta los F_i a ser impactados, asignándoles a cada F_i sus respectivas **UIP**.
- Se caracteriza la **estructura del proyecto** hasta las A_j impactantes.
- Se determina la **importancia difusa de los impactos (I_i)**, a través de un sistema de computación con palabras. Cada impacto puede ser calculado con un sistema diferente por cada experto, con variables y etiquetas pertinentes. El algoritmo es:
 - Cada variable de entrada (p.ej. la causa

- de un impacto) se define sobre un intervalo cualquiera de la **recta real** $[a, b_i]$.
- Internamente, el sistema efectúa un cambio de escala de los valores de entrada del intervalo $[a, b_i]$ al intervalo $[0, 1]$, si es necesario.
- La variable de salida es la I_i y está comprendida también sobre el U_i [0,1].
- Las variables lingüísticas de entrada y salida, son definidas por el usuario.
- La **fra** del sistema es:

$$fra: y = \sum_{i=1}^n f_i w_i g_i(x_i) + \sum_{i=1}^n (1 - f_i) w_i g_i(1 - x_i)$$

La función $g(x_i)$ es: $g(x_i) = (x_i)^{\theta_i}$; donde θ_i es la velocidad de crecimiento de la I_i de un impacto cuando crece i y es seleccionado por el usuario. Puede emplearse $\theta_i=2$ por defecto. El peso w_i también es elegido por el usuario.

d. Aplicación de la determinación de la importancia difusa de los impactos: El algoritmo ha sido aplicado a la **metodología matricial genérica**, sustentada por Conesa Fernández-Vítora [Conesa 1997-B, 102-146] [García 2008, 209-226].

Una fracción de los resultados es mostrada en la **Tabla 1**, resume las salidas de las variables empleadas: en la **primera** columna, está el nombre de la variable; en la **segunda**, el $[a, b_i]$; en la **tercera**, el peso (w_i) que tienen en la fra; en la **cuarta**, las etiquetas de la variable lingüística respectiva; y en la **quinta**, el conjunto difuso (número trapezoidal) asociado a cada etiqueta.

Tabla 1. Variables lingüísticas para el cálculo de la importancia de un impacto.

Variable	Rango	Peso	Etiquetas	Número Difuso T (a, b, c, d)
Intensidad	[0, 1]	3/15	Baja	(0.0, 0.0, 0.11, 0.22)
			Media	(0.11, 0.22, 0.33, 0.44)
			Alta	(0.33, 0.44, 0.55, 0.66)
			Muy Alta	(0.55, 0.66, 0.77, 0.88)
			Total	(0.77, 0.77, 1.0, 1.0)
Extensión (% de área impactada)	[0, 100] (%)	2/15	Puntual	(0.0, 0.0, 0.14, 0.29)
			Parcial	(0.14, 0.29, 0.43, 0.57)
			Extenso	(0.43, 0.57, 0.71, 0.86)
			Total	(0.71, 0.86, 1.0, 1.0)

Fuente: Adaptado de Duarte 200, 115, 116.

- e. **Análisis difuso aproximado global:** Con las importancias difusas de los impactos, se calcula los **Índices Difusos**. Es un análisis aproximado global de los impactos del proyecto, para determinar si es compatible o no con el ambiente. Es un **vector** que contiene **q** importancias difusas:

$$IMP = [\#I_1 \#I_2 \dots \#I_q]$$

Cada una de las importancias difusas $\#I_k$ corresponde al impacto de una cierta acción A_k sobre un cierto factor F_k . El peso de F_k es P_k , que es un número entre 0 y 1 que mide la importancia del factor respecto al ambiente.

1.2. Valoración difusa detallada:

- Para cada F_i , los expertos determinan su estado **sin** el proyecto, en sus propias unidades. Es la Magnitud del Factor F_i sin Proyecto (M_{sin-i}) y puede ser expresado como un número crisp, un intervalo, un número difuso o con palabras.
- Para cada impacto de A_j sobre F_i , los expertos determinan cómo es afectado el factor F_i , denotándolo en sus propias unidades. Es la Magnitud del Impacto de la Acción A_j sobre el Factor F_i (M_{ij}) y puede ser expresado como un número crisp, un intervalo, un número difuso o con palabras.
- Para cada F_i , se obtiene la Magnitud Total del Factor F_i con Proyecto (M_{con-i}), a través de un sistema de computación con palabras, cuyas entradas son el conjunto de todas las magnitudes M_{ij} correspondientes a ese factor.
- Para cada F_i , se obtiene la Calidad Ambiental del Factor F_i con Proyecto (CA_{con-i}) y la Calidad Ambiental del Factor F_i sin Proyecto (CA_{sin-i}), a través de un sistema de computación con palabras, cuyas entradas son M_{con-i} y M_{sin-i} .
- Para cada F_i , se obtiene la Calidad Ambiental Neta del Factor F_i (CA_{neta-i}), a través de un sistema de computación con palabras, con entradas CA_{con-i} y CA_{sin-i} .
- Para cada F_i , se obtiene el Valor del Impacto Ambiental sobre el Factor F_i (V_i), a través de un sistema de computación con palabras, cuya entrada es CA_{neta-i} .

- Finalmente, se obtiene el **Valor del Impacto Ambiental Total sobre el Ambiente (VITA)**, con entradas de V_i [Duarte 2000, 127-133].

2. **Ejemplo de Aplicación:** Se ha simulado la aplicación en tres EsIA. Para ilustración, se presenta el resultado sobre un EsIA de un Proyecto prototipo de **Manejo de Residuos Sólidos Municipales**.

- Identificación de factores ambientales a ser impactados:** se estructuró un árbol de cuatro niveles ambientales con el 100 % de las UIP.
- Identificación de acciones impactantes del proyecto:** se identificaron las acciones impactantes, estructurando un árbol de tres niveles.
- Identificación y valoración de impactos ambientales con metodología crisp:** la I_i de un Impacto, se estimó a través de:

$$I = +(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Los valores que han adoptado cada uno de los términos consignados en la ecuación, están en una tabla preestablecida con rangos de valores límite [Conesa 1997-A, 80]. Para la determinación de la I_i de cada impacto, se ha usado intervalos preestablecidos por la metodología crisp [Conesa 1997-B, 116].

- Análisis de los impactos con metodología difusa:** se determinó la importancia de los impactos a través de la computación con palabras, vinculando etiquetas predefinidas de cada impacto (obtenidas con metodología crisp) con variables difusas. La valoración de la **importancia** y **magnitud** de cada impacto se consignan en matrices parciales, como la que se muestra en la **Tabla 2** del anexo.
- Matrices con resultados difusos de la valoración de impactos:** los resultados se desplegaron en matrices. En la **matriz de evaluación cualitativa difusa**, se emplazaron las valoraciones de las importancias (**I**) de cada uno de los impactos, generando la siguiente información:
 - Estimación de la importancia de cada impacto, resultante de la interacción A_j - F_i .
 - Valoración parcial absoluta y relativa por cada F_i impactada por una o más A_j , considerando las UIP.
 - Valoración absoluta y relativa por cada A_j , que permite revelar las más impactantes.

- Valoración global absoluta y ponderada de la importancia total de los impactos.

En la **matriz de evaluación cuantitativa difusa**, se emplazaron las valoraciones de la magnitud (Mg_i) de cada uno de los impactos, previa transformación a unidades de CA_i de A_j - F_i , generando la siguiente información:

- Valoración individual de la Mg_i del impacto y la CA_i por cada A_j - F_i .
- Valoración absoluta y relativa de las Mg_i y CA_i por factor.
- Valoración absoluta y relativa de la Mg_i y CA_i de cada A_j , que revela jerárquicamente las acciones que generan las mayores magnitudes de impacto.

La matriz de **impacto ambiental total difuso**, que se muestra en la **Tabla 3** del anexo, es una matriz de evaluación global, que compila la importancia y la magnitud de los impactos totales. La valoración final, vincula la importancia del impacto con la CA_i a través de una fnt, en la que es posible especificar el peso de la información de cada una de las dos valoraciones (importancia y magnitud) asociada a la ponderación de la valoración cualitativa con respecto a la valoración cuantitativa del impacto ambiental.

DISCUSIÓN

Las hipótesis han sido probadas y los objetivos cumplidos, con la aplicación de las técnicas difusas, que permiten mejorar notablemente la combinación de variables cuantitativas y cualitativas para minimizar las incertidumbres. Habiendo procesado la misma información de partida F_i y A_j , la metodología crisp de Conesa Fernández-Vítora, valorando los impactos con números enteros, tablas e intervalos de ponderación preestablecidos, produce resultados con escasas etiquetas que están incluidas dentro del conjunto de etiquetas “**muy posibles**” asignadas por la metodología difusa. Algunos resultados de la metodología crisp no pueden ser explicados satisfactoriamente, siendo los más críticos: los que **no tienen valoración** o valorados como **neutros** pese a ser impactados por diversas A_j considerados a priori irrelevantes pero sinérgicos; los valorados como **irrelevantes**, cuando no hay ninguna A_j que los impacte; y los valorados subjetivamente con números enteros muy próximos como 74 y 75 y tiene etiquetas con significados semánticos muy diferentes de severo y crítico respectivamente.

Este resultado es esperable, ya que la metodología crisp modela la incertidumbre en las predicciones, y la vaguedad en la definición de las etiquetas. Por ejemplo, el impacto sobre el factor paisaje, la metodología crisp la valora ipso facto como **severo** sin contar con argumentos certeros. A este mismo impacto, la metodología difusa le confiere las etiquetas en el rango de irrelevante/leve hasta severo/severo, porque a priori no es posible afirmar el grado de afección del paisaje. Así, en el contexto de los resultados de la investigación, la metodología difusa ha generado las siguientes contribuciones metodológicas:

- Permite ética, conceptual y pragmáticamente obtener resultados trazables y envolventes, comparable con referentes estandarizados de calidad ambiental. Significa que la metodología es comparable con referentes, a través de una cadena continua de comparaciones todas con incertidumbres especificadas.
- Permite el análisis sistémico de la inserción de un proyecto de ingeniería en uno o más sistemas ambientales.
- Permite diseñar algoritmos flexibles para modelar la incertidumbre y la imprecisión de la información ambiental: números crisp (enteros), números difusos (intervalos de números reales), y palabras o etiquetas lingüísticas predefinidas.
- Permite que las etiquetas de todos los F_i valorados por la metodología crisp estén incluidas en el conjunto de etiquetas “**muy posibles**”, aun procesando la misma información de partida: F_i ambientales a ser impactados y A_j de proyectos impactantes.
- Ofrece un contexto único para el manejo simultáneo de variables numéricas y lingüísticas, con distinta granularidad, permitiendo la combinación de información cualitativa y cuantitativa para que los impactos sean evaluados con diferente nivel de detalle.
- Permite valorar los impactos sobre todos los F_i comprometidos, aun sean considerados *a priori* como irrelevantes. Se explica plenamente los impactos, incluyendo los positivos. Las valoraciones de los impactos es plenamente explicada, asociada a la existencia o no de acciones que generen impactos significativos.
- Permite obtener resultados más objetivos, porque incluyen más información en la valoración parcial y total, que contribuyen a una mejor interpretación [ISO 2010].

CONCLUSIONES

1. La aplicación de las técnicas difusas en el diseño de la metodología difusa usando sistemas de computación con palabras basadas en aritmética difusa, como una extensión de la metodología tradicional (crisp) a números difusos, mejora la valoración de los impactos, en el contexto de las metodologías matriciales, y en el universo de las metodologías de EIA. Metodológicamente ha contribuido en:
 - Insertar sistémicamente un proyecto de ingeniería en uno o más sistemas ambientales.
 - Obtener resultados que ética, conceptual y pragmáticamente son trazables y envolventes, comparables con referentes estandarizados de calidad ambiental.
 - Diseñar algoritmos flexibles para modelar la incertidumbre y la imprecisión de la información ambiental.
 - Integrar resultados de la metodología crisp en la difusa.
 - Manejar simultáneamente variables lingüísticas y numéricas en un marco conceptual único, permitiendo la combinación de información cualitativa y cuantitativa.
 - Facilitar el trabajo de equipos interdisciplinarios, para que cada experto (o equipo), pueda caracterizar los impactos según las propiedades que estime necesarias (cada impacto puede ser estimado con un sistema de computación con palabras diferente).
2. La metodología propuesta es consistente, contribuyendo sustancialmente con el análisis contextual de comparación e interpretación de alternativas de proyectos de ingeniería, y con las decisiones de sostenibilidad económica, social y ambiental.
3. El uso masivo eficaz de la metodología difusa en procesos de EsIA, requiere el desarrollo interdisciplinario de un **software** compatible con la estructura y dinámica de los ecosistemas peruanos.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sentimiento de gratitud a la comunidad de la UNASAM por el patrocinio institucional, a los doctores John F. Morrall y Dixon Thompson por haberme dado las primeras lecciones de

comprensión sistémica para la inserción de un proyecto en ecosistemas, a la Asociación Internacional para la Evaluación de Impacto (IAIA) y la Universidad Politécnica de Cataluña por haber contribuido con mi capacitación, y a los doctores Oscar Germán Duarte Velasco y Luis Alberto García Layton por su invaluable aporte para comprender el concepto y aplicaciones de las técnicas difusas en una EIA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Conesa Fernández-Vítora, V. 1997-A. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, segunda edición.
- Conesa Fernández-Vítora, V. 1997-B. Los Instrumentos de la Gestión Ambiental en la Empresa. Madrid, Barcelona y México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Duarte, O. 2000. Técnicas Difusas para Evaluación de Impacto Ambiental. Tesis doctoral en la Universidad de Granada (España).
- García, L. 2004. Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales. Tesis doctoral en la Universidad Politécnica de Cataluña-Barcelona (España).
- International Organization for Standardization (ISO). 2010. Trazabilidad definido por la ISO en International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. Ginebra: Secretaría Central de ISO, consultado el 11 de agosto de 2010 en <http://www.iso.org/iso/home.html>.
- Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets: Information and control. California: The University of California at Berkeley.
- Zadeh, L.A. 1975. The concept of linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Part I, Inform. Sci. 8, 199-249. California: The University of California at Berkeley.
- Zadeh, L.A. 1999. What is Computing with words? Computing with words in Information/Intelligent Systems 1. Physica Verlag. California: The University of California at Berkeley.

Correspondencia:

Pedro Valladares Jara
pedrovalladaresj@gmail.com

Tabla 2. Matrices parciales de la valoración de los impactos (importante y magnitud) de un proyecto de manejo de residuos sólidos

A _i	F _i	Acciones	Factores	Impacto Ambiental	Importancia de cada impacto										Magnitud		
					Sg	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	RCE	PR	RE	Mg	IC _A
A ₁	F ₁₂	Expropiaciones, adquisiciones de predios y diseño de plantas	Valor y tenencia de tierras	Expropiaciones de tierras de valor socioeconómico	-	B	Pu	L	P	I	SS	S	D	I	In	-L	Lineal decreciente
A ₂	F ₁₂	Licitaciones	Valor y tenencia de tierras	Incremento del valor de las tierras	+	B	Pu	I	T	I	SS	S	I	I	I	N	Trapezoidal
A ₂	F ₂₄	Licitaciones	Gestión de residuos sólidos	Expectativa de mejora de la salud pública	+	M	E	I	F	I	SS	S	D	I	I	+M	Lineal creciente
A ₂	F ₂₃	Licitaciones	Empleo	Expectativas de empleo	+	B	Pu	I	T	M	SS	S	D	P	M	+L	Lineal creciente
A ₃	F ₂₄	Obtención de autorizaciones	Gestión de residuos sólidos	Obtención de la licencia legal	+	B	Pu	M	T	C	S	S	I	P	I	+M	Lineal creciente
A ₄	F ₅	Movimiento de maquinaria	Calidad del aire	Contaminación del aire con TSP, MP y COV, disminuyendo su calidad	-	M	Pa	I	T	C	S	A	D	C	MP	-M	Polinomial 2
A ₄	F ₂₃	Movimiento de maquinaria	Empleo	Generación de fuentes de empleo	+	B	Pu	I	T	C	SS	S	D	C	MP	+L	Beta spline 1
A ₅	F ₁₄	Desbroce de cobertura vegetal	Diversidad florística	Disminución de la biodiversidad de formaciones vegetales	-	B	Pu	I	P	I	S	S	D	I	M	-L	Lineal decreciente
A ₅	F ₁₅	Desbroce de cobertura vegetal	Especies vulnerables	Muerte de especímenes vulnerables	-	B	Pu	I	T	M	SS	S	D	I	M	N	Lineal decreciente
A ₆	F ₅	Movimiento de tierras	Calidad del aire	Contaminación del aire con TSP, MP y COV, disminuyendo su calidad	-	M	Pa	I	T	M	S	S	D	C	M	-M	Polinomial 2
A ₆	F ₈	Movimiento de tierras	Sonidos	Generación de ruidos, alterando la tranquilidad del ecosistema	-	A	Pa	I	T	C	S	S	D	P	MP	-M	Beta spline decreciente
A ₆	F ₁₂	Movimiento de tierras	Valor y tenencia de tierras	Cambios en el UAT y en sus valores	-	M	Pa	I	P	I	SS	S	D	I	I	-L	Lineal decreciente
A ₆	F ₃	Movimiento de tierras	Recarga de acuíferos	Alteración en la recarga de acuíferos	-	B	Pu	M	P	I	S	A	I	I	MP	-L	Beta spline decreciente
A ₆	F ₁₉	Movimiento de tierras	Calidad de paisaje	Cambio del efecto de composición disminuyendo la calidad del paisaje	-	M	Pa	I	P	I	S	S	D	C	I	-M	Lineal decreciente
A ₆	F ₁₆	Movimiento de tierras	Fauna endémica	Migración de fauna endémica	-	A	Pa	I	T	M	SS	S	D	I	M	-L	Lineal decreciente
A ₆	F ₂₃	Movimiento de tierras	Empleo	Generación de fuentes de empleo	+	M	Pu	I	T	C	SS	S	D	C	MP	+L	Beta spline 1
A ₇	F ₅	Transporte de materiales	Calidad del aire	Contaminación del aire con TSP, MP y COV, disminuyendo su calidad	-	B	Pu	I	T	C	S	S	D	P	In	-M	Polinomial 2
A ₇	F ₈	Transporte de materiales	Sonidos	Generación de ruidos, alterando la tranquilidad del ecosistema	-	M	Pa	I	T	C	SS	S	D	I	In	-L	Beta spline decreciente
A ₈	F ₅	Consumo de energía y combustibles	Calidad del aire	Contaminación del aire con TSP, MP y COV, disminuyendo su calidad	-	B	Pu	I	T	M	SS	S	D	P	MP	-M	Polinomial 2

ANEXOS

Tabla 3: Matriz de evaluación global de los impactos ambientales del proyecto de manejo de residuos sólidos.

Factores Ambientales	Importancia-Impactos Totales		Magnitud-Impactos Totales		Valoración Global de los Impactos Ambientales (GIA)
	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	
F ₁ Disponibilidad de agua	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₂ Calidad de agua	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₃ Recarga de acuíferos	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₄ Uiores naturales	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₅ Calidad del aire	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-M) Moderado
F ₆ Velocidad y dirección de vientos	(N) Neutro	(i) Irrelevante	(N) Neutro	(i) Irrelevante	(i) Irrelevante
F ₇ Radiación lumínica	(N) Neutro	(i) Irrelevante	(N) Neutro	(i) Irrelevante	(i) Irrelevante
F ₈ Sonidos	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₉ Calidad de suelo	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₀ Napa freática	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₁ Filtraciones	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₂ Valor y tenencia de tierras	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₃ Comunidades vegetales	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₄ Diversidad florística	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₅ Especies vulnerables de flora	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₆ Fauna endémica	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₇ Dinámica poblacional de fauna	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₈ Especies vulnerables de fauna	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₁₉ Calidad de paisaje	(-M) Moderado	(-M) Moderado	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₂₀ Visibilidad y contraste cromático	(-) Severo	(-M) Moderado	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₂₁ Salud pública	(+M) Moderado	(-) Irrelevante	(+) Leve	(+) Irrelevante	(+) Irrelevante
F ₂₂ Salud de trabajadores del proyecto	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
F ₂₃ Empleo	(+) Irrelevante	(+) Irrelevante	(+) Leve	(+) Irrelevante	(+) Irrelevante
F ₂₄ Gestión de residuos sólidos	(+M) Moderado	(+M) Moderado	(+M) Moderado	(+) Irrelevante	(+) Irrelevante
F ₂₅ Inversión en servicios básicos	(+M) Moderado	(+) Irrelevante	(+M) Moderado	(+) Irrelevante	(+) Irrelevante
Total Impactos Absolutos	(-M) Moderado	(-) Irrelevante	(-L) Leve	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante
Total Impactos Relativos	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante	(-) Irrelevante