



Evaluación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información a través de la Lógica Difusa Compensatoria

LAMIS RIVERO, JOSÉ MANUEL

Ministerio de Educación Superior de Cuba

Correo electrónico: jmlamis@mes.gob.cu

PLASENCIA SOLER, JUAN ANTONIO

Universidad de las Ciencias Informáticas (Cuba)

Correo electrónico: juanps@uci.cu

MARRERO DELGADO, FERNANDO

Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (Cuba)

Correo electrónico: fmarrero@uclv.edu.cu

RESUMEN

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones han contribuido significativamente al desarrollo económico y social de la sociedad actual. La comunidad científica internacional está debatiendo sobre los efectos negativos y positivos de éstas y su relación con el medio ambiente y buscan soluciones en las tecnologías y sistemas de información sostenibles. El presente artículo propone un procedimiento para determinar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información a través del empleo de la Lógica Difusa Compensatoria en una organización. Los resultados de la aplicación del procedimiento permitieron calcular y evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de sistemas y tecnologías de información. Tras analizar los resultados, se determinaron los criterios de medida peores evaluados entre los que se encontraron: la instalación de switches inteligentes, el despliegue de sistemas de enfriamiento libre, la implantación de tecnologías inteligentes, el uso de tecnología ecológica y la gestión de estrategias de Tecnologías y Sistemas de Información Sostenibles.

Palabras clave: sostenibilidad corporativa, gestión de tecnologías y sistemas de información, lógica difusa compensatoria.

Clasificación JEL: M15; Q56; C02.

MSC2010: 94D05.

Determination of the level of sustainability in the management of information technologies and systems

ABSTRACT

Information and Communications Technologies have contributed significantly to the economic and social development of today's society. The international scientific community is discussing their negative and positive effects and their relationship with the environment, and are looking for solutions in sustainable technologies and information systems. The present investigation proposes a procedure to determine the level of sustainability in the management of technologies and information systems using Compensatory Fuzzy Logic in an organization. The results of the application of the procedure allowed calculating and evaluating the level of sustainability in the management of information systems and technologies. After analyzing the results, the worst measured criteria evaluated were determined among those found: the installation of intelligent switches, the deployment of free cooling systems, and the implementation of intelligent technologies, the use of ecological technology and the management of strategies for Sustainable Information Technologies and Systems.

Keywords: corporate sustainability, management of information technologies and systems, compensatory fuzzy logic.

JEL classification: M15; Q56; C02.

MSC2010: 94D05.



1. Introducción

La introducción y el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) han significado un salto vertiginoso en el desarrollo científico-técnico a escala mundial, ya que éstas se han convertido en un elemento indispensable en todas las facetas de la sociedad y en especial en la gestión empresarial.

En años recientes la comunidad científica internacional ha debatido sobre los efectos positivos y negativo que generan las TIC, durante su ciclo de vida (diseño, fabricación, uso y residuos). Según un estudio realizado por la CEPAL (2012) las emisiones directas de dichas tecnologías durante su ciclo de vida representan el 2.1% de las emisiones a nivel global, mientras que por otra parte las TIC, pueden minimizar el impacto ambiental de otras actividades, sectores, productos y servicios (Gartner, 2007).

En este contexto, los investigadores están trabajando en la vinculación de éstas con la sostenibilidad, principalmente en temáticas relacionadas con la reducción de los costos y los daños medioambientales. Las Tecnologías y Sistemas de Información constituyen una vía para que las organizaciones aumenten la eficacia en la gestión de sus procesos.

En las organizaciones toman auge prácticas relacionadas con las tecnologías y sistemas de información sostenibles, en idioma inglés “Green Technologies and Information Systems” (Green IT/IS), referidas al desarrollo y la implementación de sistemas de información que contribuyan a la sostenibilidad de los procesos de las empresas y a la eficiencia energética de los medios tecnológicos utilizados para la producción de los servicios informáticos y su reciclaje, de manera que no afecte al ambiente (Lamis et al., 2018).

La virtualización, la computación en la nube, la minimización de energía, la reducción en el uso de sustancias peligrosas en artículos electrónicos, entre otras, son algunas de las prácticas o iniciativas que adoptan las organizaciones, en función de alcanzar la sostenibilidad de sus procesos. Por todo lo antes expuesto, deviene la necesidad de gestionar las tecnologías y sistemas de información y específicamente determinar el nivel de sostenibilidad en función de su gestión en la organización.

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un procedimiento para evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información en una organización a través del empleo de la Lógica Difusa Compensatoria.

Los autores han estructurado la investigación de la manera siguiente. Una primera sección donde se caracterizan los principales conceptos de Green IT/IS, además se plantean los fundamentos teóricos relacionados con la Lógica Difusa Compensatoria. En un segundo apartado se describe la metodología para determinar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información. Por último, son enunciados los principales resultados de la aplicación del procedimiento y se exponen las conclusiones de la investigación.

2. Revisión bibliográfica

2.1. Las tecnologías y sistemas de información sostenibles

El impacto de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en los ámbitos: social, económico, político, cultural y ecológico es objeto de estudio de investigadores y académicos en la actualidad. Por una parte, tienen un rol importante en el desarrollo, y constituyen un facilitador de oportunidades educativas, ya sea a través de la educación masiva, la información en línea o su apoyo a la formación de personas (Pattinson, 2017). Además, contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero y la contaminación medioambiental (CEPAL, 2012).

Estudios recientes (Saunila et al., 2019; Filho et al., 2019) revelan el rol que juegan las TIC, en el desarrollo de la sostenibilidad organizacional durante su ciclo de vida: diseño, fabricación, uso y residuos. Las organizaciones buscan maximizar los impactos positivos de las tecnologías, minimizando los efectos negativos en el medio ambiente a través de Sistemas de información sostenibles, en idioma inglés “Green Information Systems” (Green IS) y de Tecnologías de la información sostenible, “Green Information Technology” (Green IT).

A decir de Chen (2019) las Green IT se refieren a la eficiencia, el uso efectivo y fabricación de tecnologías con un mínimo impacto en el medio ambiente. Sin embargo, Melville (2010) define las Green IT como la producción, aplicación, operación y eliminación de productos de tecnologías de la información (TI) a lo largo de su ciclo de vida, con un mínimo o ningún impacto ambiental negativo.

Los Sistemas de Información Sostenibles (Green IS) se refieren a un conjunto de herramientas de software o servicios utilizadas para lograr sosteniblemente los objetivos dentro de las organizaciones. El alcance de las Green IS es más amplio que las Green IT. Mientras que las Green IT proporcionan herramientas tecnológicas (hardware, software y equipos periféricos) para soportar las funciones de manera eficiente sin que afecte al medio ambiente, las Green IS destaca la comunicación, los servicios compartidos, la planificación de recursos empresariales y la relación con los clientes dentro de un límite organizacional, con el objetivo de mejorar la eficiencia y efectividad de las organizaciones en su incidencia con el medio ambiente (Molla, 2013).

De manera general, las TI son vistas como “parte del problema” y las Green IT están enfocadas a mitigar su efecto durante su ciclo de vida, por ejemplo, el consumo de energía en centros de datos y los desechos electrónicos; sin embargo, los sistemas de información son vistos como “parte de la solución”, y las Green IS utilizan su potencial, por ejemplo, en sistemas de gestión medioambiental (Lai et al., 2012).

Los autores de la presente investigación definen un grupo de dimensiones para abordar los Sistemas y Tecnologías Sostenibles teniendo en cuenta las investigaciones (Asadi et al., 2017; Khor et al., 2015; Loeser et al., 2017). La Tabla 1 muestra las principales dimensiones de Green IT/IS.

Tabla 1. Principales dimensiones de Green IT/IS.

Dimensiones	Conceptualización
Uso sostenible	Uso de dispositivos tecnológicos y otros sistemas o tecnologías de información de una manera ecológicamente racional en términos de reducir el consumo de energía.
Adquisición sostenible	Se refiere a la adquisición de productos ecológicos, materiales, componentes o tecnologías ajustadas a las normas o indicadores ambientales, logrando disminuir la generación de productos químicos inseguros. Monitorea la contratación de proveedores para que cumplan con estas normas.
Fabricación y desarrollo sostenible	Se refiere a la fabricación de componentes electrónicos, computadoras, y otros subsistemas asociados con un impacto mínimo o nulo en el medio ambiente Además, comprende la automatización de procesos, la implementación de tecnologías inteligentes e iniciativas de desmaterialización.
Diseño sostenible	Se refiere al diseño de componentes energéticamente eficientes y ambientalmente racional, servidores y equipos de refrigeración.
Control de reciclaje y residuos	Se refiere a la restauración y reutilización de computadoras viejas y otros equipos electrónicos para reducir los componentes, para reducir el desperdicio de recursos y la contaminación.
Gobierno sostenible	Incluye el diseño de estrategias para la sostenibilidad ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Una revisión de la literatura científica producida por Chan y Johansson (2014), muestra cómo la mayoría de las publicaciones sobre las tecnologías y sistemas de información sostenibles se enfocan principalmente en sus impactos ambientales. Las investigaciones no tienen en cuenta las potencialidades para añadir valor agregado a los procesos de negocio, así como aspectos económicos, sociales, culturales, jurídicos, tecnológicos, institucionales, entre otros.

Por lo tanto, la determinación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información de las organizaciones debe tener en cuenta el carácter multidimensional o multiperspectivo de la sostenibilidad. Los elementos que permiten evaluar el nivel en que se encuentran las prácticas de Green IT/IS en una organización son conceptos que se corresponden con las características de los conjuntos difusos al no poder representarse como números precisos o ser clasificados específicamente.

Teniendo en cuenta lo anterior, los autores de la investigación consideraron que la Lógica Difusa Compensatoria constituye una herramienta factible para construir índices que permitan evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información.

2.2. Lógica Difusa Compensatoria

Los conjuntos difusos son una herramienta útil para representar el conocimiento humano (Xu & Zhou, 2011), pues la ambigüedad es una característica inherente al lenguaje natural (Villa, 2019). La lógica difusa permite implementar procesos de razonamiento por medio de reglas y predicados que generalmente se refieren a cantidades indefinidas o inciertas. Estos predicados pueden obtenerse con sistemas que "aprenden" al "procesar" datos reales o pueden también ser formulados por un experto humano o, mejor aún, por el consenso entre varios de ellos (Racet-Valdés et al., 2017).

La lógica difusa puede entenderse como una herramienta matemática cuya amplia aplicabilidad se basa en la concepción de conjuntos con fronteras no exactas que se emplean en presencia de información imperfecta (Zadeh et al., 1996). Para representar el conocimiento lingüístico cualitativo en un lenguaje matemático se emplea la lógica de predicados. (Novák et al., 2012).

Los predicados tienen un valor de veracidad que depende del conjunto de datos asociados y para calcular su veracidad debe definirse el operador concreto a utilizar (Morales, 2002). En este sentido, se asume en la presente investigación la Lógica Difusa Compensatoria (LDC) que permite la compensación de unos predicados básicos con otros, aporta un sistema formal con propiedades lógicas y constituye un puente entre la lógica y la toma de decisiones (Antelo-González & Alfonso-Robaina, 2015). La LDC utiliza la escala de la Lógica difusa, que puede variar de 0 a 1.

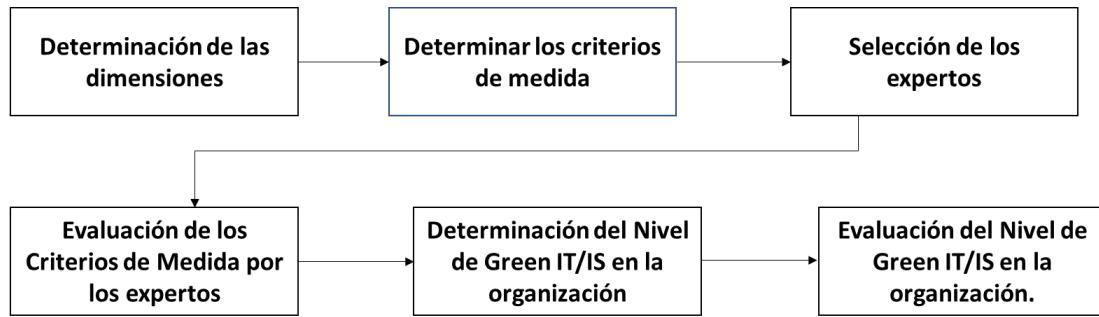
El intercambio con los expertos lleva a obtener formulaciones complejas y sutiles que requieren de predicados compuestos. Los valores de verdad obtenidos sobre estos predicados compuestos deben poseer sensibilidad a los cambios de los valores de verdad de los predicados básicos (Bouchet et al., 2010).

La LCD propone la idea de que el aumento o disminución del valor de la conjunción o la disyunción provocada por el cambio del valor de verdad de una de sus componentes puede ser "compensado" con la correspondiente disminución o aumento de la otra (Antelo-González y Alfonso-Robaina, 2015).

3. Procedimiento para diagnosticar iniciativas Green IT/IS en una organización

En la investigación los autores proponen un procedimiento para la evaluación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información de una organización a través del empleo de la Lógica Difusa Compensatoria, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Procedimiento para la evaluación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen cada uno de los pasos que componen el procedimiento para la determinación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información de una organización.

Paso 1. Determinación de las dimensiones

En el procedimiento es de vital importancia la determinación de las dimensiones con las que se trabajarán para medir el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información. Teniendo en cuenta los elementos relacionados en la Tabla 1, los autores de la investigación han seleccionado las siguientes dimensiones: uso sostenible; adquisición sostenible; fabricación y desarrollo sostenible; diseño sostenible; gobierno sostenible; y control de reciclaje y residuos.

Tras definir las dimensiones con las que se realizará el estudio, se deben asociar criterios de medida a cada una de éstas.

Paso 2. Determinar los criterios de medida

Para este paso se propone agregar criterios de medida a cada una de las dimensiones definidas anteriormente. A continuación, la Tabla 2 muestra los criterios de medida propuestos para la investigación asociado a cada dimensión.

Tabla 2. Criterios de medida asociados a cada dimensión.

Dimensión	Criterios de medida asociados
Adquisición sostenible	CM1: monitorización de acciones medioambientales.
	CM2: contribución con proveedores sobre temas medioambientales.
	CM3: requerimientos medioambientales para proveedores.
	CM4: compra de suministros ecológicos.
	CM5: centralización de contratación de equipamiento TI.
	CM6: virtualización de las redes.
	CM7: instalación de switches inteligentes.
Diseño sostenible	CM8: enfriamiento dinámico y monitorización de la temperatura del aire.
	CM9: despliegue de sistemas de enfriamiento libres.
	CM10: monitorización del consumo de energía de los servidores.
Uso sostenible	CM11: UPS modernos en los Centros de datos.
	CM12: sistemas para optimizar el suministro de energía.
	CM13: reducción de hardware.
	CM14: impresoras multifuncionales compartida en la red.

	CM15: utilización tecnología LED.
	CM16: uso de videoconferencias, reuniones virtuales, teletrabajo y educación a distancia.
	CM17: prácticas de fabricación inteligente.
Fabricación y desarrollo sostenible	CM18: automatización de procesos.
	CM19: ciclo de vida del producto.
	CM20: tecnologías inteligentes.
	CM21: iniciativas de desmaterialización.
	CM22: gestión de las tecnologías y sistemas de información.
Gobierno sostenible	CM23: inventario de hardware TI.
	CM24: tecnología ecológica.
	CM25: información almacenada.
	CM26: estrategia Green IT/IS.
	CM27: sistemas de gestión ecológica.
Control de reciclaje y residuos	CM28: reciclaje y reuso de hardware.
	CM29: gestión de desechos electrónicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Loeser et al.(2017).

Paso 3. Selección de los expertos

En este paso, en primer lugar, se debe calcular la cantidad de expertos que intervienen en la investigación. Por lo que, utilizando un método probabilístico y asumiendo una ley de probabilidad binomial, se calcula el número de expertos a través de la ecuación 4 propuesta en Sarache-Castro et al. (2015).

$$ne = \frac{p * (1 - p) * k}{i^2} \quad [1]$$

donde:

ne: número de expertos.

i: nivel de precisión deseado.

p: proporción estimada de errores de los expertos.

k: constante asociada al nivel de confianza elegido.

Luego es necesario identificar dentro de los candidatos a expertos preseleccionados, aquellos con un coeficiente de competencia (*K*) alto. Se propone utilizar el método expuesto por Cabero-Almenara y Barroso-Osuna (2013) y Michalus, Castro y Hernández-Pérez (2015) para calcular el coeficiente de competencia y finalmente seleccionar los expertos para el estudio, como muestra la ecuación 5.

$$K = 1/2(Kc + Ka) \quad [2]$$

donde:

Kc: coeficiente de conocimiento o información.

Ka: coeficiente de argumentación o fundamentación.

Con los valores obtenidos se clasifican los expertos en tres grandes grupos: para valores de *K* mayores que 0.8 y menores o iguales que 1, entonces hay influencia alta en todas las fuentes; si *K* es mayor o igual que 0.7 y menor o igual que 0.8, entonces hay influencia media en todas las fuentes; finalmente si *K* es mayor o igual que 0.5 y menor o igual que 0.7, entonces existe una influencia baja en todas las fuentes (Cabero-Almenara & Barroso-Osuna, 2013).

Paso 4. Evaluación de los criterios de medidas por los expertos

En este paso, los expertos, evalúan a través de una lista de chequeo los que contienen informaciones sobre el cumplimiento de los criterios de medidas. En la Tabla 3 se muestra la escala para la evaluación de cada criterio.

El coeficiente de variación para cada criterio de medida de los juicios emitidos por los expertos debe ser menor al valor de 0.20, lo que permite validar la concordancia entre los expertos.

Tabla 3. Escala para la evaluación de cada criterio.

Valor de verdad	Categoría
Falso	0
Casi falso	0.1
Bastante falso	0.2
Algo falso	0.3
Más falso que verdadero	0.4
Tan verdadero como falso	0.5
Más verdadero que falso	0.6
Algo verdadero	0.7
Bastante verdadero	0.8
Casi verdadero	0.9
verdadero	1

Fuente: Andrade et al. (2014).

Paso 5. Determinación del Nivel de Green IT/IS en la organización

En este paso se realizan las formulaciones verbales del modelo de lógica difusa propuesto para evaluar el Nivel de Green IT/IS en una organización y su traducción al lenguaje del cálculo de predicados. En la LDC, el operador conjunción, expresado como $c(\wedge)$ es la media geométrica, como muestra en la ecuación 3 (Andrade et al., 2014):

$$c(p_1, p_2, \dots, p_n) = (\mu_{p_1} \times \mu_{p_2} \dots \times \mu_{p_n})^{\frac{1}{n}} \quad [3]$$

La disyunción $d(\vee)$, es el operador dual de la media geométrica, que garantiza el cumplimiento de las reglas de De Morgan (Cejias-Montero, 2011), como muestra la ecuación 4:

$$d(p_1, p_2, \dots, p_n) = (1 - [(1 - \mu_{p_1}) \times (1 - \mu_{p_2}) \dots \times (1 - \mu_{p_n})])^{\frac{1}{n}} \quad [4]$$

También se define la ecuación 5 la negación n (*not*), como la función:

$$n(p) = 1 - \mu_p \quad [5]$$

En estas ecuaciones se denota, para simplificar la notación:

$$\mu_{p_1}(x, y) = v(P_1), \mu_{p_2} = v(P_2), \dots, \mu_{p_n} = v(P_n) \text{ A los valores de los predicados } P_1, P_2, \dots, P_n$$

El autor de la investigación ha definido el predicado primario siguiente.

Una organización X posee un alto nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información si 1) existe un alto grado adquisición sostenible y 2) un alto grado de diseño sostenible y 3) un alto nivel de desarrollo y fabricación sostenible, además 4) un alto grado de uso sostenible y 5) control en la reutilización y el reciclaje.

Teniendo en cuenta lo anterior, el predicado compuesto se puede modelar de la manera siguiente:

$$N_{Green\ IT/IS} = AS(x) \wedge DS(x) \wedge DFS(x) \wedge US(x) \wedge GS(x) \wedge CRR(x)$$

donde:

$N_{Green\ IT/IS}$: Nivel de Green IT/IS

AS: valor de verdad del nivel de adquisición sostenible en la organización.

DS: valor de verdad del nivel de diseño sostenible en la organización.

DFS: valor de verdad del nivel de desarrollo y fabricación sostenible en la organización.

US: valor de verdad del nivel de uso sostenible en la organización.

GS: valor de verdad del nivel de gobierno sostenible en la organización.

CRR: valor de verdad del nivel de control en la reutilización y el reciclaje en la organización.

Teniendo en cuenta el predicado anterior y las prácticas de Green IT/IS asociadas a cada dimensión representadas en la Tabla 2, se definen un grupo de predicados secundarios, utilizando los exponentes 2 y 3 para modelar la palabra “muy fuerte” e “híper” y el exponente $\frac{1}{2}$ para modelar las palabras algo y más o menos. Este predicado es representado en un árbol difuso con el objetivo de evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información en una organización.

La Tabla 4 muestra las formulaciones verbales de los predicados secundarios y sus ecuaciones matemáticas.

Tabla 4. Formulaciones verbales de los predicados secundarios y sus ecuaciones matemáticas.

Formulaciones verbales de los predicados	Ecuación matemática
Una organización X posee un alto grado de Adquisición sostenible (AS) si: a) Tiene un alto nivel de monitorización de sus acciones medioambientales (CM ₁). b) Contribuye en gran medida con los proveedores sobre temas medioambientales (CM ₂). c) Establece en gran medida requerimientos medioambientales para proveedores (CM ₃). d) Compra una gran cantidad de suministros ecológicos (CM ₄). e) Centraliza en gran medida la contratación de equipamiento TI (CM ₅).	$AS(X) = CM_1(X) \wedge CM_2(X) \wedge CM_3(X) \wedge CM_4(X) \wedge CM_5(X)$ $AS(X) = \sqrt[5]{CM_1(X) * CM_2(X) * CM_3(X) * CM_4(X) * CM_5(X)}$
Una organización X posee un alto grado de Diseño sostenible (DS) si: a) Tiene un alto nivel de virtualización en las redes (CM ₆). b) Se realiza una adecuada gestión de las redes mediante de instalación de switches inteligentes (CM ₇). c) Se realiza una adecuada monitorización de temperatura del aire mediante la instalación de sistemas de enfriamiento dinámicos (CM ₈). d) Existe un gran despliegue de sistemas de enfriamiento libres (CM ₉). e) Se monitoriza en gran medida el consumo de energía de los servidores (CM ₁₀).	$DS(X) = CM_6(X) \wedge CM_7(X) \wedge CM_8(X) \wedge CM_9(X) \wedge CM_{10}(X)$ $DS(X) = \sqrt[5]{CM_6(X) * CM_7(X) * CM_8(X) * CM_9(X) * CM_{10}(X)}$
Una organización X posee un alto grado de Uso sostenible (US) si: a) Tiene un alto utilización de UPS modernos y eficientes en los Centros de Datos (CM ₁₁). b) Se utiliza en gran medida sistemas para optimizar el suministro de energía (CM ₁₂). c) Se implementa una gran cantidad de prácticas relacionadas con la reducción de hardware (CM ₁₃).	$US(X) = CM_{11}(X) \wedge CM_{12}(X) \wedge CM_{13}(X) \wedge CM_{14}(X) \wedge CM_{15}(X) \wedge CM_{16}^2(X)$ $US(X) = \sqrt[7]{CM_{11}(X) * CM_{12}(X) * CM_{13}(X) * CM_{14}(X) * CM_{15}(X) * CM_{16}^2(X)}$

- d) Se utilizan en gran medida impresoras multifuncionales compartidas en la red (CM₁₄).
- e) Se utilizan en gran medida Tecnología LED para los monitores (CM₁₅).
- f) Existe un uso muy fuerte de servicio como videoconferencias, reuniones virtuales, teletrabajo y educación a distancia (CM₁₆).

Una organización X posee un alto grado de Fabricación y desarrollo sostenible (FDS) si:

- a) Tiene una alta utilización de prácticas relacionadas con la fabricación inteligente (CM₁₇).
- b) Tiene automatizado en gran medida sus procesos (CM₁₈).
- c) Se estima adecuadamente el ciclo de vida del producto (CM₁₉).
- d) Se implementa en un alto nivel tecnologías inteligentes (CM₂₀).
- e) Se promueven en gran medida iniciativas de desmaterialización (CM₂₁).

$$FDS(X) = CM_{17}(X) \wedge CM_{18}(X) \wedge CM_{19}(X) \wedge CM_{20}(X) \wedge CM_{21}(X)$$

$$FDS(X) = \sqrt[5]{CM_{17}(X) * CM_{18}(X) * CM_{19}(X) * CM_{20}(X) * CM_{21}(X)}$$

Una organización X posee un alto grado de Gobierno sostenible (GS) si:

- a) Tiene una muy fuerte gestión de Tecnologías y Sistemas de Información (CM₂₂).
- b) Se controla adecuadamente el inventario TI (CM₂₃).
- c) Se usa en gran medida la tecnología ecológica (CM₂₄).
- d) Se gestiona adecuadamente el ciclo de vida de la información almacenada (CM₂₅).
- e) Existe una muy fuerte gestión de estrategias de Green IT/IS (CM₂₆).
- f) Se implementan en gran medida sistema de gestión ecológica (CM₂₇).

$$GS(X) = CM_{22}^2(X) \wedge CM_{23}(X) \wedge CM_{24}(X) \wedge CM_{25}(X) \wedge CM_{26}^2(X) \wedge CM_{27}(X)$$

$$GS(X) = \sqrt[8]{CM_{22}^2(X) * CM_{23}(X) * CM_{24}(X) * CM_{25}(X) * CM_{26}^2(X) * CM_{27}(X)}$$

Una organización X posee un alto grado de Control de reciclaje y residuos (CRR) si:

- a) Tiene una estrategia muy fuerte para el reciclaje y utilización de hardware para extender la vida de equipos TI (CM₂₈).
- b) Se gestiona adecuadamente los desechos electrónicos (CM₂₉).

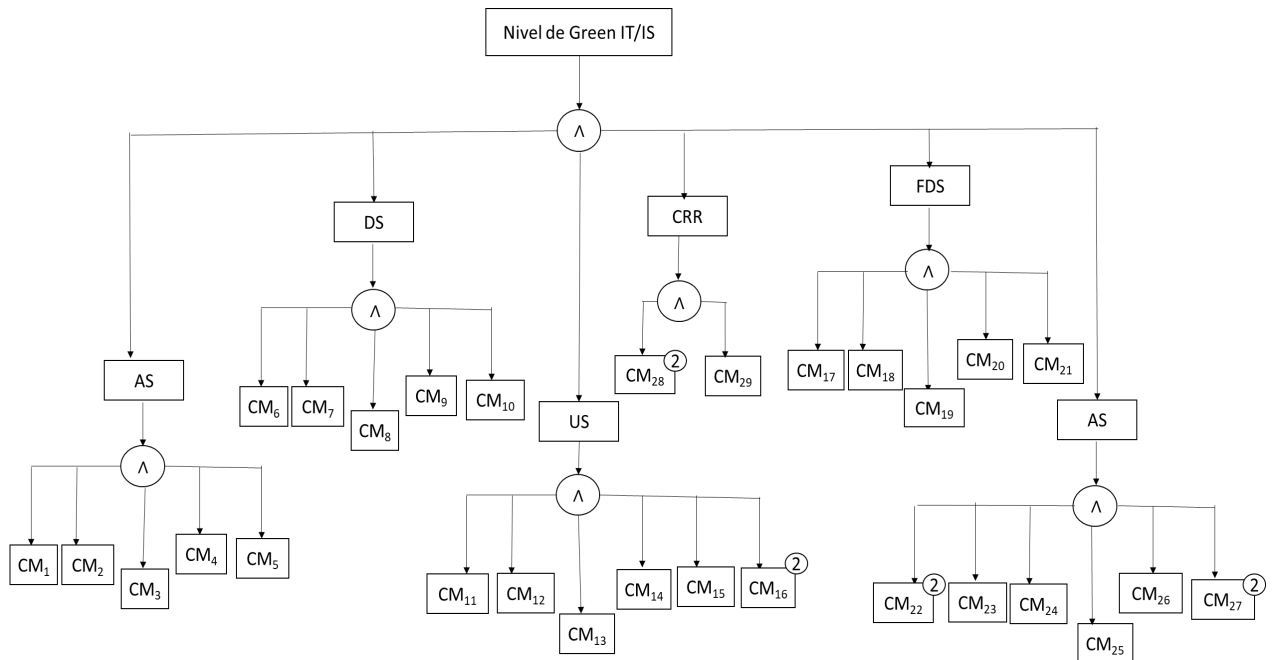
$$GS(X) = CM_{28}^2(X) \wedge CM_{29}(X)$$

$$GS(X) = \sqrt[3]{CM_{28}^2(X) * CM_{29}(X)}$$

Fuente: Elaboración propia.

Este predicado fue representado en un árbol difuso con el objetivo de evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información en una organización. La Figura 2 muestra la representación del árbol lógico de predicados para evaluar el nivel de Green IT/IS.

Figura 2. Representación del árbol lógico de predicados para evaluar el nivel de Green IT/IS.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6. Evaluación del Nivel de Green IT/IS en la organización.

Tras calcular $N_{Green\ IT/IS}$ es evaluado entre 0 y 1 en dependencia del nivel de Green IT/IS. Mientras más alto sea éste, más cerca del valor 1 estará el valor. En la Tabla 5 se muestra la escala de evaluación del nivel de Green IT/IS. Se debe tener en cuenta que se aborda una medida de la sostenibilidad percibida o subjetiva.

Tabla 5. Escala para la evaluación del nivel de Green IT/IS.

Nivel	Evaluación
$0.90 \leq Ne \leq 1$	Muy alto
$0.75 \leq Ne \leq 0.89$	Alto
$0.50 \leq Ne \leq 0.74$	Medio
$0.35 \leq Ne \leq 0.49$	Bajo
$0.00 \leq Ne \leq 0.34$	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados de la aplicación del procedimiento

En este apartado se muestran los principales resultados de la determinación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información sostenible en una empresa de productos y servicios informáticos.

Según el procedimiento antes descrito, para la investigación se tomaron en cuenta las dimensiones y sus criterios de medidas asociados, tal y como aparecen reflejados en la Tabla 2.

A continuación se calculó el número de expertos necesarios para la investigación (ne) teniendo en cuenta el nivel de precisión del 9%, la proporción estimada de errores (promedio) del 1% y el nivel de confianza del 99%, fue de nueve. Luego fueron seleccionados de la cantera de candidatos, los expertos con mayor coeficiente de competencia (K). Estos evaluaron cada criterio de medida a través de la escala de valores de la Tabla 3. El coeficiente de variación (CV) entre los juicios emitidos para cada criterio fue menor que 0.2 en todos los casos, valor que indica que las valoraciones de los expertos fueron concordantes. A continuación, la Tabla 6 muestra las evaluaciones de cada criterio por experto.

Tabla 6. Evaluaciones de cada criterio por experto.

Criterios	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	CV
CM ₁	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.0175
CM ₂	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.0095
CM ₃	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.00625
CM ₄	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.00714286
CM ₅	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0015625
CM ₆	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0
CM ₇	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.01071429
CM ₈	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.00590909
CM ₉	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01590909
CM ₁₀	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.00457746
CM ₁₁	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0
CM ₁₂	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.00460526
CM ₁₃	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0
CM ₁₄	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.00833333
CM ₁₅	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
CM ₁₆	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.005
CM ₁₇	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0
CM ₁₈	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.00714286
CM ₁₉	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.003125
CM ₂₀	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
CM ₂₁	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.00460526
CM ₂₂	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.0125
CM ₂₃	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0
CM ₂₄	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.00526316
CM ₂₅	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.00286885
CM ₂₆	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
CM ₂₇	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.0125
CM ₂₈	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.00269231
CM ₂₉	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.003

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las formulaciones verbales y sus ecuaciones matemáticas (Tabla 4) se calculó el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información. A continuación, la Tabla 7 muestra el cálculo del Nivel de Green IT/IS en la organización objeto de estudio.

Teniendo en cuenta los resultados del procedimiento, el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información es medio ($N_{Green\ IT/IS}=0.5181$). La dimensión mejor evaluada fue la de Control de Reciclaje y Residuos. Por otra parte, dos de las dimensiones peores evaluadas fueron Diseño y Gobierno sostenible.

Los criterios peores evaluados son los relacionados con la instalación de switches inteligentes, el despliegue de sistemas de enfriamiento libre, la implantación de tecnologías inteligentes, el uso tecnología ecológica y la gestión de estrategias de Green IT/IS.

Tabla 7. Cálculo del Nivel de Green IT/IS en la organización.

Criterio de medida	Valor	Dimensión	Media geométrica	Nivel de <u>Green IT/IS</u>
CM ₁	0.44			
CM ₂	0.55			
CM ₃	0.4	Adquisición sostenible (AS)	0.5450	
CM ₄	0.7			
CM ₅	0.71			
CM ₆	0.5			
CM ₇	0.23	Diseño sostenible (DS)	0.3657	
CM ₈	0.6			
CM ₉	0.12			
CM ₁₀	0.79			
CM ₁₁	0.9	Uso sostenible (US)	0.5822	
CM ₁₂	0.42			
CM ₁₃	0.8			
CM ₁₄	0.3			
CM ₁₅	1	Fabricación y desarrollo sostenible (FDS)	0.4723	
CM ₁₆	0.5			
CM ₁₇	0.5			
CM ₁₈	0.7			
CM ₁₉	0.8	Gobierno sostenible (GS)	0.3698	
CM ₂₀	0.2			
CM ₂₁	0.42			
CM ₂₂	0.5			
CM ₂₃	0.6	Control de reciclaje y residuos (CRR)	0.7549	
CM ₂₄	0.22			
CM ₂₅	0.68			
CM ₂₆	0.2			
CM ₂₇	0.39			
CM ₂₈	0.72			
CM ₂₉	0.83			0.5181

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

La gestión de sistemas y tecnologías de información representan un reto y una oportunidad en la búsqueda de la sostenibilidad organizacional, alineadas al papel que juegan las TICs en el cumplimiento de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

Las tecnologías y sistemas de información sostenibles son vistas en dos vertientes: una de éstas es mitigar el efecto de las TI durante su ciclo de vida y la otra es potenciar soluciones tecnológicas que impacten positivamente en otras actividades y sectores.

El estudio de los sistemas y tecnologías de información sostenibles permitió, teniendo en cuenta el ciclo de vida de las TI y SI, definir seis dimensiones fundamentales: uso sostenible; adquisición sostenible; fabricación y desarrollo sostenible; diseño sostenible; gobierno sostenible; y control de reciclaje y residuos.

La utilización de los predicados difusos y su representación a través de árboles difusos permite evaluar integralmente el Nivel de Green IT/IS a través de una estructura jerárquica compuesta por dimensiones y criterios de medidas.

Los resultados de la aplicación del procedimiento en una entidad de las tecnologías de la información y las comunicaciones permitieron calcular y evaluar el Nivel de Green IT/IS. Para el caso de estudio fueron peores evaluadas las dimensiones: diseño sostenible y gobierno sostenible; y los criterios de medidas relacionados con la instalación de switches inteligentes, el despliegue de sistemas de enfriamiento libre, la implantación de tecnologías inteligentes, el uso tecnología ecológica y la gestión de estrategias de Green IT/IS.

Referencias

- Andrade, R.A.E., González, E.F., & Caballero, E.G. (2014). Un sistema lógico para el razonamiento y la toma de decisiones: la lógica difusa compensatoria basada en la media geométrica. *Investigación Operacional*, 32(3), 230-245.
- Antelo-González, Y.Y., & Alfonso-Robaina, D. (2015). Análisis de la Responsabilidad Social Empresarial basado en un modelo de Lógica Difusa Compensatoria. *Ingeniería Industrial*, 36(1), 58-69.
- Asadi, S., Hussin, A.R.C., & Dahlan, H. M. (2017). Organizational research in the field of Green IT: A systematic literature review from 2007 to 2016. *Telematics and Informatics*, 34(7), 1191-1249. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.05.009>
- Bouchet, A., Pastore, J., Brun, M., & Ballarin, V. (2010, noviembre). Lógica Difusa Compensatoria basada en la media aritmética y su aplicación en la Morfología Matemática Difusa. *TRIC IV Cuarto Torneo Regional de Inteligencia Computacional*. IEEE CIS Computational Intelligence Society, Universidad de Palermo, Buenos Aires.
- Cabero-Almenara, J., & Barroso-Osuna, J. (2013). La utilización del juicio de experto para la evaluación de TIC: el coeficiente de competencia experta. *Revista de Pedagogía*, 65(2), 25-38.
- Cejas-Montero, J. (2011). La lógica difusa compensatoria. *Ingeniería Industrial*, 32(2), 157-161.
- CEPAL (2012). *Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) y el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: experiencias e iniciativas de política*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7062/1/S2013435_es.pdf
- Chan, H.K.B., & Johansson, M. (2014). *Green IS – a Systematic Literature Review*. (Tesis de grado). University of Borås, Suecia. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1309721/FULLTEXT01.pdf>
- Chen, E. T. (2019). Green IT and the Struggle for a Widespread Adoption. En Mehdi Khosrow-Pour, D.B.A. (Ed.), *Advanced Methodologies and Technologies in Engineering and Environmental Science*, (pp. 157-166). Massachusetts: IGI Global.
- Filho, W.L., Will, M., Salvia, A.L., Adomßent, M., Grahl, A., & Spira, F. (2019). The role of green and Sustainability Offices in fostering sustainability efforts at higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1394-1401. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.273>
- Gartner, Inc. (2007, 26 de abril). *Gartner Estimates ICT Industry Accounts for 2 Percent of Global CO2 Emissions*. <https://www.gartner.com/en>

- Khor, K.-S., Thurasamy, R., Ahmad, N.H., Halim, H.A., & May-Chiun, L. (2015). Bridging the Gap of Green IT/IS and Sustainable Consumption. *Global Business Review*, 16(4), 571-593. <https://doi.org/10.1177/0972150915581101>
- Lai, R S., Hsu, L.-L., Chen, J.C., & Chang, M.D. (2012). A Case Study on Green Information System. *ASBBS Proceedings*, 19(1), 512-519.
- Lamis, J.M., Soler, J.A.P., Delgado, F.M., & García, M.N. (2018). Metodología para priorizar iniciativas de tecnologías de la información sostenibles. *Contaduría y Administración*, 65(2), 1-19. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.2062>
- Loeser, F., Recker, J., Brocke, J. vom, Molla, A., & Zarnekow, R. (2017). How IT executives create organizational benefits by translating environmental strategies into Green IS initiatives. *Information Systems Journal*, 27(4), 503-553. <https://doi.org/10.1111/isj.12136>
- Melville, N.P. (2010). Information systems innovation for environmental sustainability. *MIS quarterly*, 34(1), 1-21.
- Michalus, J.C., Castro, S., William, A., & Hernández-Pérez, G. (2015). Método de expertos para la evaluación ex-ante de una solución organizativa. *Visión de futuro*, 19(1), 1-17.
- Molla, A. (2013). Identifying IT sustainability performance drivers: Instrument development and validation. *Information Systems Frontiers*, 15(5), 705-723. <https://doi.org/10.1007/s10796-013-9415-z>
- Morales, G. (2002). *Introducción a la lógica difusa*. México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados.
- Novák, V., Perfilieva, I., & Mockor, J. (2012). *Mathematical Principles of Fuzzy Logic*. Ostrava: Springer Science & Business Media.
- Pattinson, C. (2017). ICT and Green Sustainability Research and Teaching. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 12938-12943. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1794>
- Racet-Valdés, A., Espinosa-González, L., Suárez-Quintana, J., Sánchez-Pérez, Y., Alfonso-Robaina, D., & Martínez-Pérez, E. (2017). Modelo matemático para medir el nivel de servicio al cliente basado en la lógica difusa compensatoria. *Ingeniería Industrial*, 38(2), 193-200.
- Sarache-Castro, W.A., Costa-Salas, Y.J., & Martínez-Giraldo, J.P. (2015). Environmental performance evaluation under a green supply chain approach. *DYNA*, 82(189), 207-215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.48550>
- Saunila, M., Nasiri, M., Ukko, J., & Rantala, T. (2019). Smart technologies and corporate sustainability: The mediation effect of corporate sustainability strategy. *Computers in Industry*, 108, 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.03.003>
- Villa, A. (2019). *Generación automática inteligente de resúmenes de textos con técnicas de soft computing* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires. <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/22270/TESIS%20Villa%20Monte.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Xu, J., & Zhou X. (2011). *Fuzzy-Like Multiple Objective Decision Making*. Berlín: Springer.
- Zadeh, L.A., Klir, G.J., & Yuan, B. (1996). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems*. Singapore: World Scientific.