



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

MÉTODO CUANTITATIVO PROPUESTO PARA DETERMINAR EL GRADO DE
PERTENENCIA DE UN INDICADOR DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLE A LOS ASPECTOS
ECONÓMICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y SUS POSIBLES MEZCLAS, UTILIZANDO
RELACIONES DIFUSAS

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
FÍSICO ARMANDO GOMEZ MONREAL

TUTORA PRINCIPAL
DRA. GABRIELLA PICCINELLI BOCCHI, FES ARAGÓN UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, MAYO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Balderas Cañas Patricia
Secretario: Dra. Huerta Barrientos Aida
Vocal: Dra. Piccinelli Bocchi Gabriella
1^{er}. Suplente: M. I. Macedo Chagolla Fernando
2^{d o}. Suplente: M.C.A. Sámano Coronel Arturo

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

TUTOR DE TESIS:

DRA. GABRIELLA PICCINELLI BOCCHI

Dedicada a mis alumnos de bachillerato y
licenciatura que disfrutaron de la matemática

Agradecimientos

Le agradezco:

A CONACyT por haberme apoyado con la beca.

A mis padres por haberme respaldado en las vicisitudes de la maestría y por su paciencia.

A la Dra. Gabriella Piccinelli Bocchi por la gran ayuda, paciencia y orientación que me concedió en éste trabajo de tesis. Sin ella no hubiera sido posible hacer ni terminar este trabajo de tesis.

A la Dra. Aida Huerta Barrientos por la ayuda y la asesoría que nos ha dado, a mí y a mis compañeros de la FES Aragón. Sus cursos y talleres nos permitieron crecer académica y profesionalmente.

A la Dra. Patricia Balderas Cañas por sus consejos y comentarios que permitieron mejorar en mucho este trabajo de tesis.

Al M. I. Fernando Macedo Chagolla por el curso de Intervención en Organizaciones de la maestría el cual me permitió reconocer que el buen liderazgo y la motivación son fundamentales para el buen funcionamiento de las organizaciones.

Al M. C. A. Arturo Sámano Coronel porque sus sugerencias me permitieron complementar este trabajo de tesis y tener otra perspectiva del tema.

Al M. I. Clemente Castilleja Salas, mi profesor de Análisis de Decisiones en la maestría, por haberme permitido estudiar la teoría de conjuntos difusos y haberme tenido paciencia para decidir que rama de este tema iba a utilizar en el proyecto de esta asignatura.

Al Ing. Gonzalo Franco Salido por su compañerismo y su ayuda recibida en la maestría.

Al M. I. Jonathan Enrique Mendoza Ortega por su camaradería y por compartir sus ideas.

Al M. I. Carlos Fernando Ortega Nava por animarme en la maestría.

Y a los expertos que me ayudaron a contestar la encuesta por su tiempo y comentarios.

Contenido

Pág.

Agradecimientos	iv
Contenido	1
Índice de figuras	5
Índice de tablas	8
Resumen	9
Abstract	9
Introducción	10
1. Antecedentes de los métodos y técnicas utilizados para hacer operativo el concepto de desarrollo sostenible y diseño metodológico	12
1.1 Antecedentes del desarrollo sostenible	12
1.1.1 <i>Eventos y hechos que llevaron a la creación del concepto de desarrollo sostenible</i>	12
1.1.2 <i>Definición de desarrollo sostenible</i>	16
1.1.3 <i>Principios de Bellagio para el desarrollo sostenible</i>	17
1.1.4 <i>Métodos y técnicas utilizados para hacer operativo el concepto de desarrollo sostenible</i>	18
1.1.5 <i>Definición de indicador y sus características deseadas</i>	20
1.1.6 <i>Clasificación de indicadores de sostenibilidad</i>	21
1.2 Problemáticas	24
1.2.1 <i>Problemática con el desarrollo sostenible</i>	24
1.2.2 <i>Problemática con los métodos y técnicas utilizados para lograr el desarrollo sostenible</i>	27
1.2.3 <i>Problemática con los indicadores</i>	27
1.3 Objeto de estudio	28
1.4 Problema	28
1.4.1 <i>Causas</i>	30
1.4.2 <i>Efectos</i>	30

1.5 Preguntas de investigación	31
1.6 Hipótesis	31
1.7 Justificación	32
1.8 Objetivos	33
1.8.1 <i>Objetivo General</i>	33
1.8.2 Objetivos Particulares	33
2. Marco teórico.....	35
2.1 Clasificación.....	35
2.2 Antecedentes de la teoría de conjuntos clásica.....	37
2.3 Teoría de conjuntos difusos	41
2.3.1 <i>Conceptos básicos</i>	41
2.3.2 <i>Aclaraciones</i>	44
2.3.3 <i>Funciones de pertenencia más comunes</i>	44
2.3.4 <i>Relaciones entre conjuntos difusos</i>	52
2.3.5 <i>Operaciones sobre conjuntos difusos</i>	54
2.3.6 <i>Operaciones entre conjuntos difusos</i>	56
2.3.7 <i>Partición difusa</i>	59
2.3.8 <i>Relación difusa</i>	60
2.4 Centro de masas.....	61
2.4.1 <i>Centro de masas de un sistema de partículas sobre una línea recta</i>	61
2.4.2 <i>Centro de masas de un conjunto de partículas en un plano</i>	63
2.5 Estado del arte.....	64
3. Método propuesto	66
3.1 Instrumento de recolección de datos	66
3.1.1 <i>Estructura del instrumento</i>	66
3.1.2 <i>Área de medición específica</i>	66

3.1.3 Selección de los expertos	68
3.2 Ecuaciones para la codificación de los datos	68
3.2.1 Región de sostenibilidad.....	68
3.2.2 Relación respuesta - coordenada	71
3.2.3 Tendencia de opinión.....	73
3.3 Ecuaciones para la obtención de información	75
3.3.1 Funciones de pertenencia propuestas	75
3.3.2 Limitaciones.....	90
4. Aplicación y resultados	92
4.1 Aplicación	92
4.1.1 Indicadores elegidos para probar el método.....	92
4.1.2 Selección de expertos	92
4.1.3 Instrumento de recolección de datos	93
4.2 Resultados	94
Discusión y conclusiones.....	102
Discusión	102
Conclusiones.....	106
Anexos.....	108
Anexo 1. Notación con índices para conjuntos en general.....	108
Anexo 2. Otras operaciones sobre conjuntos difusos.....	110
Anexo 3. Funciones de pertenencia de tipo sigmoïdal y gamma.....	112
Anexo 4. Funciones de pertenencia con forma de campana.....	115
Anexo 5. Funciones de pertenencia para el ejemplo de Tiempo de exposición a una intensidad de sonido de 87 dB.....	119
Anexo 6. Operaciones entre conjuntos difusos. Unión de conjuntos difusos	124
Anexo 7. Breve biografía del Dr. Lotfi A. Zadeh	127

Anexo 8. Factores importantes para calcular el presupuesto de una encuesta	128
Anexo 9. Tablas comparativas entre indicadores GRI y CEMEFI-RSE.....	129
Anexo 10. Instrumento de recolección de datos	132
Bibliografía	149

Índice de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Barómetro de la sostenibilidad.	23
<i>Figura 2.</i> Los tres círculos de la sostenibilidad con sus regiones mezcladas.....	24
<i>Figura 3.</i> (a) Clasificación simple y (b) clasificación propuesta para los indicadores de sostenibilidad.	29
<i>Figura 4.</i> Gráfica de la función del conjunto nítido fiebre.	39
<i>Figura 5.</i> Imagen de un conjunto nítido particionado.	40
<i>Figura 6.</i> Gráfica de la función de pertenencia correspondiente al conjunto difuso de la fiebre	43
<i>Figura 7.</i> Gráfica de una función de pertenencia tipo trapezoidal.	45
<i>Figura 8.</i> Gráfica de una función de pertenencia triangular.	46
<i>Figura 9.</i> Gráfica de una función de pertenencia tipo sigmoideal.	47
<i>Figura 10.</i> Gráfica de una función de pertenencia de tipo L	48
<i>Figura 11.</i> Gráfica de una función de pertenencia γ	49
<i>Figura 12.</i> Gráfica de una función de pertenencia tipo π	50
<i>Figura 13.</i> Gráficas de las funciones de pertenencia utilizadas para medir el tiempo límite de exposición a una intensidad de sonido de 87 dB.	51
<i>Figura 14.</i> Gráfica de la igualdad entre dos conjuntos difusos.	53
<i>Figura 15.</i> Gráfica de la contención entre dos conjuntos difusos.....	54
<i>Figura 16.</i> Gráfica del complemento de la función de pertenencia de A	55
<i>Figura 17.</i> Gráfica de la función de pertenencia normalizada de A	56
<i>Figura 18.</i> Imagen de un conjunto difuso particionado.	60
<i>Figura 19.</i> Centro de masas de dos partículas en una dimensión.....	62
<i>Figura 20.</i> Centro de masas de tres partículas en dos dimensiones.	63
<i>Figura 21.</i> Desorden aleatorio de indicadores de sostenibilidad y creación de lista de preguntas.....	67
<i>Figura 22.</i> Funciones de pertenencia, $\mu(x)$, de los aspectos de la sostenibilidad definidas en una dimensión.	69

<i>Figura 23.</i> La región de sostenibilidad definida en el plano Cartesiano dentro de un triángulo equilátero.	70
<i>Figura 24.</i> Ejemplo de los valores de los datos obtenidos según el tipo de respuestas que proporcionan los expertos en donde el área de medición cuenta con 12 indicadores.....	73
<i>Figura 25.</i> Tabla para organizar las respuestas y calcular la tendencia de opinión.	74
<i>Figura 26.</i> Función de pertenencia para el aspecto económico.	76
<i>Figura 27.</i> Función de pertenencia para el pilar social.	77
<i>Figura 28.</i> Función de pertenencia para la dimensión ambiental de la sostenibilidad.	78
<i>Figura 29.</i> Funciones de pertenencia para los aspectos puros —económico, social y ambiental— de la sostenibilidad.	79
<i>Figura 30.</i> Función de pertenencia para el aspecto mezclado de la sostenibilidad, económico-social.	80
<i>Figura 31.</i> Función de pertenencia para el aspecto, mezclado, económico-ambiental de la sostenibilidad.	81
<i>Figura 32.</i> Función de pertenencia para el aspecto social-ambiental de la sostenibilidad.	82
<i>Figura 33.</i> Función de pertenencia para el aspecto mezclado económico-social-ambiental de la sostenibilidad.	83
<i>Figura 34.</i> Funciones de pertenencia de los aspectos mezclados de la sostenibilidad.	84
<i>Figura 35.</i> Función de pertenencia para el aspecto mezclado económico-social normalizado de la sostenibilidad.	85
<i>Figura 36.</i> Función de pertenencia para la dimensión mezclada económico-ambiental normalizada de la sostenibilidad.	86
<i>Figura 37.</i> Función de pertenencia para el aspecto mezclado social-ambiental normalizado de la sostenibilidad.	87
<i>Figura 38.</i> Función de pertenencia para la dimensión mezclada económica-social-ambiental normalizada de la sostenibilidad.....	88
<i>Figura 39.</i> Funciones de pertenencia normalizadas de los aspectos mezclados de la sostenibilidad.	88
<i>Figura 40.</i> Funciones de pertenencia de la sostenibilidad incluyendo a las funciones mezcladas y normalizadas.	89
<i>Figura 41.</i> Tabla para calcular los grados de pertenencia de los indicadores con base en la tendencia de opinión obtenida.	90

<i>Figura 42.</i> Características del método.....	91
<i>Figura 43.</i> Gráfica de la función de pertenencia concentrada de A	110
<i>Figura 44.</i> Gráfica de la dilatación de la función de pertenencia $\mu_A(x)$	111
<i>Figura 45.</i> Gráfica de una función de pertenencia tipo sigmoideal definida con base en una función exponencial.	113
<i>Figura 46.</i> Gráfica de una función de pertenencia γ definida con base en un cociente de polinomios. ..	113
<i>Figura 47.</i> Gráfica de una función de pertenencia γ definida con base en una exponencial.....	114
<i>Figura 48.</i> Gráfica de una función de pertenencia de tipo pseudo-exponencial.	116
<i>Figura 49.</i> Gráfica de una función de pertenencia Gaussiana.....	117
<i>Figura 50.</i> Gráfica de una función de pertenencia tipo singleton.....	118
<i>Figura 51.</i> Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición breve.	119
<i>Figura 52.</i> Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición moderado.....	120
<i>Figura 53.</i> Gráfica de la función de pertenencia del Tiempo de Exposición Máximo Recomendado.....	121
<i>Figura 54.</i> Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición excesivo.....	122
<i>Figura 55.</i> Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición demasiado.....	123

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Ejemplos de t – normas</i>	58
Tabla 2. <i>Tabla de codificación de la variable sostenibilidad según el tipo de respuestas obtenidas en el instrumento de recolección de datos para cada indicador.</i>	72
Tabla 3. <i>Indicadores I mezclados, con mayor grado de pertenencia al aspecto presentado en el documento original.</i>	95
Tabla 4. <i>Indicadores propuestos en II que se mezclan con un mayor grado de pertenencia al aspecto presentado en el documento original</i>	96
Tabla 5. <i>Indicadores I mezclados con menor grado de pertenencia al aspecto presentado en el documento original</i>	97
Tabla 6. <i>Indicadores propuestos por II que se mezclan con un grado menor de pertenencia al aspecto indicado en el documento original.</i>	98
Tabla 7. <i>Indicadores puros I que no pertenecen al aspecto presentado en el documento original.</i>	98
Tabla 8. <i>Indicadores puros propuestos por II que no pertenecen al aspecto presentado en el documento consultado.</i>	99
Tabla 9. <i>Clasificación propuesta, en los tres aspectos de la sostenibilidad, para los indicadores propuestos por III.</i>	100
Tabla 10. <i>Porcentajes de los indicadores I por aspecto.</i>	103
Tabla 11. <i>Porcentajes de los indicadores II por aspecto.</i>	103
Tabla 12. <i>Porcentajes de indicadores I clasificados por coincidencia, distinguiendo entre puros y mezclados.</i>	104
Tabla 13. <i>Porcentajes de indicadores II clasificados según su coincidencia, haciendo distinción entre indicadores puros y mezclados.</i>	105
Tabla 14. <i>Porcentaje de indicadores obtenidos para cada aspecto de la sostenibilidad en el paquete III.</i>	105
Tabla 15. <i>Ejemplos de t – conormas</i>	125

Resumen

En esta tesis, se diseña y propone un método cuantitativo para clasificar indicadores de producción sostenible en los aspectos económico, social, ambiental y sus posibles mezclas, aplicando una encuesta y utilizando relaciones difusas. La clasificación es importante ya que ayuda a mantener el balance entre los aspectos de la sostenibilidad, de tal forma que no se descuide alguno de ellos. Se aplicó el método a tres paquetes de indicadores de producción sostenible. Para dos de ellos se comparó la clasificación que se mostraba en los documentos que los presentan con la que se determinó con el método propuesto, y encontró que ambas diferían en una cantidad importante de indicadores. El paquete restante no presentaba una clasificación de sus indicadores en los aspectos de la sostenibilidad, así que se obtuvo una para éste. Además de esta aplicación, el método puede usarse en otros casos que necesiten corroborar o matizar cuantitativamente una clasificación dada en tres aspectos o dimensiones cualesquiera, incluyendo las mezclas o intersecciones entre ellas.

Abstract

In this thesis, a quantitative method was designed and proposed to classify sustainable production indicators on the economic, social and environmental aspects, and their possible mixes, applying a survey and using fuzzy relations. This is important because it helps to keep the balance between the sustainability aspects, so that way one of them is not neglected. The method was applied to three packages of sustainable production indicators. For two of them the classification that was shown in the documents that present them was compared with the one determined, with the proposed method, finding that both differed for a significant number of indicators. The remaining package did not present a classification on the three aspects, so one was obtained for this one. In addition to this application, the method can be used in other cases that need to corroborate or tinge quantitatively a classification given in any three aspects or dimensions what ever, including the mixes or intersections between them.

Introducción

La dificultad de clasificar un indicador en los tres aspectos de la sostenibilidad (económico, social, ambiental) radica en que éste podría contemplar dos o tres aspectos (económico-social, económico-ambiental, social-ambiental y económico-social-ambiental). Ya que el indicador que para un individuo puede ser económico para otro puede ser social o ambiental. El hecho de no cuantificar en que proporción el indicador comprende a cada aspecto puede tener como consecuencia que al elegir, los indicadores, en algún proyecto se descuide algún aspecto, surja desconfianza en las personas que los van a usar o haya inconformidad por parte de la gente involucrada.

De modo que el objetivo de este trabajo de tesis fue diseñar y proponer un método cuantitativo participativo para clasificar indicadores de sostenibilidad en sus tres aspectos y sus posibles mezclas. Para lograr esto fueron recabadas las opiniones de expertos utilizando encuestas y codificando esa información mediante relaciones difusas. En particular este método fue aplicado a tres paquetes de indicadores de producción sostenible. Dos de ellos contaban con una clasificación en los tres aspectos de la sostenibilidad y el paquete restante no, para este último se obtuvo una propia.

El presente párrafo tiene como objetivo describir brevemente el contenido de los capítulos que conforman esta tesis. En el capítulo 1, se presenta el marco de referencia el cual presentará, al lector, el concepto de sostenibilidad y los métodos que se utilizan para hacerlo operativo, profundizando más en el tema de los indicadores. El segundo capítulo expone las teorías que fueron utilizadas para crear el método. En el capítulo 3 se describe el método propuesto, presentando a detalle el modelo matemático que se construyó para llevar a cabo las mediciones y realizar la clasificación. En el cuarto capítulo 4, se presentan los casos que fueron estudiados y se muestran los resultados obtenidos al aplicar el método propuesto a estos casos. En la discusión y conclusiones se hace una pequeña síntesis y análisis de los resultados.

Este trabajo de tesis se enmarca adecuadamente en la maestría de sistemas con campo disciplinario en ingeniería industrial, ya que hace una crítica constructiva al concepto de desarrollo sostenible, y propone un método para cuantificar qué tanto pertenecen los indicadores de producción sostenible a los aspectos económico, social, ambiental y sus posibles mezclas. Los indicadores, en general, se utilizan para saber cual es el estado del sistema, en el caso de los indicadores a los cuales se les aplicó nuestro método, sirven para medir si la producción va en camino a la sostenibilidad y tomar decisiones para dirigirla hacia ésta. La producción es un tema de ingeniería industrial y los indicadores son un tópico de sistemas.

1. Antecedentes de los métodos y técnicas utilizados para hacer operativo el concepto de desarrollo sostenible y diseño metodológico

En la primera sección de este capítulo, se presentan como marco de referencia la definición de desarrollo sostenible, los principios de Bellagio para el desarrollo sostenible, los métodos y técnicas que se han elaborado para hacer que el desarrollo sostenible sea operativo y se pueda aplicar a distintas áreas, así como los indicadores de sostenibilidad y sus diferentes clasificaciones. En la segunda sección se exponen algunas problemáticas relacionadas con estos temas. En la tercera sección se delimita y determina el objeto de estudio y en la cuarta se describe el problema, con sus respectivas causas y efectos. A continuación, se plantean las preguntas de investigación y, finalmente, en las últimas tres secciones se presentan las hipótesis, la justificación y los objetivos.

1.1 Antecedentes del desarrollo sostenible

Los antecedentes que se presentan en esta sección nos ayudan a entender el contexto de los indicadores de producción sostenible y del método que se propone para clasificarlos y fomentar su utilización.

1.1.1 Eventos y hechos que llevaron a la creación del concepto de desarrollo sostenible

Cualquier actividad económica implica un consumo de materia y energía, y la generación de algún tipo de desecho. La degradación del medio ambiente se ha incrementado a causa del crecimiento de la población y el sistema económico centrado en fomentar el consumo y la obtención de comodidades, olvidando las necesidades básicas y la calidad de vida del ser humano (Díaz & Gómez, 2013, p. 7).

La revolución industrial, en el siglo XVIII, produjo un aumento en el consumo de energéticos y minerales, la emigración de las zonas rurales a las urbes, la escasez de recursos naturales, la concentración de sustancias contaminantes y el surgimiento de nuevas sustancias nocivas. Se propuso como solución colonizar otras naciones menos desarrolladas pero la tierra está muy poblada y no hay nuevos lugares a donde emigrar (Díaz & Gómez, 2013, p. 8).

En los inicios del siglo XIX Malthus trató el tópico referente a la alimentación humana en su "Ensayo sobre el principio de la población" en el cual plantea que en el futuro la demanda de los alimentos rebasará a la producción de estos. Estas predicciones no se cumplieron debido al desarrollo de las tecnologías agrícolas y los métodos de control natal, en donde los primeros ayudaron al aumento de la producción de alimentos y los segundos disminuyeron el crecimiento poblacional. Aún así la hambruna apareció en algunos lugares debido a que fueron rebasados sus recursos naturales y la organización social de los habitantes para enfrentarla (Díaz & Gómez, 2013, pp. 8-9).

A principios del siglo XX los avances tecnológicos trajeron consigo nuevos problemas: una gran cantidad de medios de transporte que consumen grandes cantidades de energéticos; ciudades con millones de habitantes que producen contaminación en la atmósfera, ruido, acumulación de desperdicios sólidos, instalaciones complejas de abastecimiento de agua potable y de evacuación de agua contaminada; agotamiento de energéticos y minerales; altas demandas de agua; generación de sustancias dañinas que afectan tanto a los países que las generaron como a otras naciones; el agujero en la capa de ozono y el calentamiento global (Díaz & Gómez, 2013, p. 10).

Algunos eventos entre los años 1945 y 1955 que dieron forma al concepto de desarrollo fueron (Gracia, 2015, p. 6):

- Al principio de la Segunda Guerra Mundial se veía al Tercer mundo como una región estratégica para obtener materias primas y se trató de incluirlo en la estructura política y económica del mundo.
- En 1945 fue fundada la ONU (Organización de las Naciones Unidas) y con la Guerra Fría entre Estados Unidos y la Unión Soviética las relaciones entre algunos países cambiaron.

- Se creía que, si los países del tercer mundo no eran rescatados de la pobreza, adoptarían el comunismo.
- El hallazgo de la pobreza en Asia, África y Latinoamérica, y la creación del concepto de país subdesarrollado.
- Las peleas frecuentes por la independencia Asia y África, y el incremento del nacionalismo en Latinoamérica.
- Las necesidades de los grandes mercados, la sobrepoblación y la confianza en la ciencia y la tecnología.

En octubre de 1948 fue fundada la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), ésta tiene como objetivos crear soluciones prácticas para los problemas del medio ambiente y del desarrollo en el mundo. En el coloquio que se llevó a cabo en Princeton, el año de 1955, titulado “El papel del hombre en el cambio de la superficie terrestre”, se estudió como el hombre participaba en la modificación de la tierra (Gracia-Rojas, 2015, p. 6).

En el año 1968 fue creado el Club de Roma, constituido por personas que destacaron en la ciencia, la economía, la política y otras áreas. Tres años después éste club preparó su primer informe que lleva como título “Los límites del crecimiento” y fue elaborado por D: H. Meadows y un grupo de investigadores del MIT. En este informe fueron presentados resultados que se obtuvieron por medio de simulaciones de la evolución de como nosotros los humanos explotábamos los recursos naturales hasta el año 2100, resaltando la disminución de la población debido a la contaminación, la erosión de tierras cultivables y la reducción de energéticos (Díaz & Gómez, 2013, pp. 12-13).

En el año de 1972 fue creado el Programa de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (PNUMA) y se celebró, en Estocolmo, la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano, que es vista como la Primera Cumbre de la Tierra. Ésta señaló el principio del Movimiento Ambiental Mundial, como resultado de iniciativas creadas en un principio en el ámbito académico y fue llevada gradualmente a la sociedad política, interesada en el destino de la raza humana. En esta Conferencia se admitió y aceptó la interrelación que existe entre las dimensiones económica, social y ambiental, resaltando que las componentes ambientales debían que incluirse en las estrategias hechas para el desarrollo de las

naciones. En la Resolución 2994 de diciembre del año 1972 se estableció el día 5 de junio como Día Mundial del Medio Ambiente (Díaz & Gómez, 2013, pp. 12-13).

En 1973 sobreviene la primera crisis del petróleo creada como represalia de los países que exportaban petróleo hacia los países que ayudaron a Israel, esto ocasionó que aumentaran los precios de este energético. Debido a que la industria tenía una gran dependencia al petróleo, la inflación produjo una recesión. Con el objetivo de resolver éste problema se sugirió implementar algunas medidas a principios del año 1975, basadas principalmente en la disminución de la producción industrial, el redireccionamiento de las actividades humanas con destino a los servicios educativos y sanitarios, el progreso en la producción de alimentos básicos y la promoción de una política de reciclado de los desechos (Gracia-Rojas, 2015, p. 6).

El consultor de las Naciones Unidas Ignacy Sachs propuso el término ecodesarrollo para tratar los temas de medio ambiente y desarrollo, y mediar el imparable aumento de la producción con las condiciones para la supervivencia de la humanidad. En 1974 las Naciones Unidas congregan a un seminario de alto nivel, con la colaboración de Sachs, en Cuernavaca, México, con sede en el Hotel Cocoyoc, en donde se presenta el término ecodesarrollo, el cual posteriormente fue rechazado por el Secretario de Estado de los Estados Unidos de América, Henry Kissinger (Díaz & Gómez, 2013, p. 13).

En 1979 acontece la segunda crisis energética. En el año de 1983 se constituye en la Asamblea General de la ONU, la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development), con el objetivo de crear una agenda que posibilite concebir un futuro más próspero, justo y seguro para la humanidad (Díaz & Gómez, 2013, p. 13).

1.1.2 Definición de desarrollo sostenible

La definición de desarrollo sostenible que fue publicada por la comisión Brundtland en 1987 en el reporte "Nuestro futuro común", es: "...el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" (Brundtland, 1987, p. 41).

La definición de desarrollo sostenible ha tenido una gran aceptación, pero a pesar de esto no se ha alcanzado un acuerdo en su interpretación de modo que existen distintos enfoques (Ramírez & Sánchez, 2009):

- El enfoque ecológico plantea que el crecimiento económico debe limitarse según el tiempo de recuperación del medio ambiente creando un flujo estacionario.
- El enfoque económico propone que mediante el desarrollo económico se puede obtener los recursos para invertir en cuidar y reparar el medio ambiente.
- En el enfoque sectorial la sostenibilidad es únicamente uno de los criterios utilizados para medir el desempeño de la actividad de un sector productivo particular de tal forma que ésta no afecte al medio ambiente y al mismo tiempo sea económicamente redituable.
- La sostenibilidad como gestión sugiere que, con una buena administración, el desarrollo tecnológico, el planteamiento, concentración y gestión de un nuevo tipo de políticas (en donde las inversiones públicas y privadas se enfoquen en la reproducción y regeneración de los capitales humano, natural, económico, financiero e institucional) ayudará a alcanzar un desarrollo sostenible y resolver los problemas ambientales.

En el año de 1992, en Río de Janeiro, Brasil, en la Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible organizada por Naciones Unidas, se creó la Agenda 21, en donde se establecen las dimensiones de la sostenibilidad, identificadas como los aspectos económico, social y ambiental (United Nations [UN], 1992, p. 66). Esto ayudó, en parte, a hacer operativa la definición de desarrollo sostenible.

1.1.3 Principios de Bellagio para el desarrollo sostenible

Para hacer operativas las bases de la sostenibilidad, se necesita examinar el entorno particular de cada caso, las escalas adecuadas y crear o adaptar los métodos que apoyen al objetivo práctico de la actividad que se quiera realizar. En este sentido, se crearon los Principios de Bellagio para el Desarrollo Sostenible, en Bellagio, Italia, en el año de 1996. A continuación, se presenta una síntesis de estos diez principios (V. López, 2008, pp. 54, 55; Srinivas, 2016):

1. Se debe delimitar el concepto de sostenibilidad para cada situación. Guiarse por una visión clara y objetivos que definan esa visión.
2. Se recomienda enfocar holísticamente a la sostenibilidad. Analizar todo el sistema y sus partes. Considerar el bienestar social, económico y ecológico de los subsistemas, sus estados, así como la dirección y razón de cambio de ese estado junto con sus partes y la interacción entre estas últimas. Tener en cuenta los efectos de la actividad humana sobre los sistemas ecológicos, de tal manera que se visualicen en términos monetarios y no monetarios.
3. Es conveniente integrar el concepto de equidad entre las generaciones presentes y futuras respecto al uso de recursos, el consumo excesivo de productos, la pobreza, los derechos humanos y el acceso a servicios, en los proyectos que se llevarán a cabo. Tomar en cuenta las condiciones ecológicas que hacen posible la vida. Considerar el desarrollo económico y otras actividades no mercantiles que contribuyan al bienestar humano social.
4. El límite de tiempo de los proyectos debe incorporar escalas de seres humanos y de ecosistemas para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras y presentes, así como tomar decisiones a corto plazo. La dimensión espacial integrará tanto los impactos locales como los de mayor escala, sobre personas y ecosistemas. Es necesario construir sobre las condiciones actuales e históricas para predecir las condiciones futuras: dónde se quiere y se puede ir.
5. El avance de la sostenibilidad debe evaluarse por medio de una cantidad moderada de indicadores.

6. La información y los métodos utilizados para estimar la evolución de la sostenibilidad deben ser públicos y alcanzables para cualquier persona. Todos los juicios, hipótesis e incertidumbres en los datos y las interpretaciones deben ser explícitos.
7. El progreso debe ser notificado a todos los individuos involucrados en el proyecto. El informe del progreso debe tener una estructura sencilla y utilizar lenguaje claro y plano.
8. Será necesaria la colaboración de la sociedad en la gestión de los proyectos de sostenibilidad.
9. La evaluación continua de los proyectos debe interactuar, adaptarse y responder al cambio y la incertidumbre, ya que los sistemas son complejos y cambian frecuentemente. También es necesario ajustar objetivos, marcos e indicadores, conforme se obtengan nuevas perspectivas. Tienen que realimentarse los métodos utilizados para identificar las tendencias respecto a la sostenibilidad e incluir resultados de la experiencia.
10. Es necesario que las instituciones tengan la capacidad necesaria para recabar, mantener y registrar datos, para ratificar el seguimiento del avance en dirección de la sostenibilidad.

1.1.4 Métodos y técnicas utilizados para hacer operativo el concepto de desarrollo sostenible

Con base en los principios de Bellagio, se conciben métodos para solucionar problemas relacionados con el medio ambiente utilizando la perspectiva de la sostenibilidad. Algunos de estos métodos coinciden entre sí en cuanto a la información y la metodología que usan. A continuación, se explica brevemente cada uno de ellos (V. López, 2008, pp. 55-57, 60, 61, 64, 67, 69, 70, 72, 73):

- Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Es un proceso sistemático y administrativo, que tiene como objetivo reconocer, prever y entender los impactos ambientales que ocasionará un proyecto u acción que se realizará.
- Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Análisis de la cuna hasta la tumba. Valoración de las cargas ambientales relacionadas con la elaboración de un producto o con la realización de un procedimiento o una actividad, al reconocer y cuantificar la utilización de recursos naturales y

vertido de desechos al medio ambiente, para precisar su impacto y reconocer y valorar las opciones para mitigar dicho impacto. Este análisis contempla la extracción y el procesamiento de materias primas, el transporte, repartición, utilización, mantenimiento, reutilización y reciclado del producto y la disposición de residuos.

- Normas ISO 14000 (por sus siglas en inglés de International Standard Organization). En español se refieren a ellas como Organización Internacional de Normalización, OIN. Es un grupo de normas internacionales hechas para gestionar el cuidado del ambiente y prevenir la contaminación. Tienen el objetivo de que compañías, dependencias y administraciones internacionales incorporen por voluntad propia sus procedimientos y artículos a un esquema de gestión medio ambiental. La gestión ambiental es la estrategia por medio de la cual se organizan las acciones antropogénicas que modifican el ambiente, para obtener una adecuada calidad de vida, previniendo o disminuyendo los problemas ambientales (Universidad Autónoma de Madrid [UAM], 2013).
- Decisión multicriterio (DMC). Esta metodología es una componente de la teoría de decisiones y el análisis de sistemas y se usa para resolver problemas de optimización de varios objetivos simultáneos que interfieren entre sí. Es importante señalar que, en el caso de la sostenibilidad, cuando se trata de aumentar el desempeño de los procesos económicos, se crea presión sobre los criterios para la preservación ambiental, la repartición de beneficios sociales y la disminución de impactos negativos. En general los procedimientos de toma de decisiones siguen las fases secuenciales que se presentan a continuación:
 - i. Formulación del problema.
 - ii. Propósitos a realizar.
 - iii. Opciones para realizar los propósitos.
 - iv. Valoración de las opciones y sus efectos.
 - v. Elección de la opción más conveniente.
 - vi. Predicción de los efectos de la decisión.
- Análisis del ciclo de vida económica de los materiales. Este ciclo inicia con la instalación y finaliza con la duración establecida en el estudio de costo del ciclo de vida, obtenida con la utilidad del

material y el límite de la expectativa de duración que tiene el inversionista sobre el material, i. e., qué tan rentable es el material y cuánto tiempo espera el inversionista que sirva el material. El método de costo de ciclo de vida (CCV) intenta asignar un valor monetario a distintas opciones de materiales en un lapso de tiempo determinado. Para esto, considera aspectos como la inversión inicial, la reposición, el uso, el mantenimiento, la compostura y el desecho.

- Indicadores de sostenibilidad (IS). Instrumentos metodológicos que proveen información acerca de la sociedad, sus actividades y los impactos que causan en el entorno. Esto puede ayudar al planteamiento de políticas, a la toma de decisiones y a la divulgación de la información a las personas interesadas en el tópico. Proveen evaluaciones cuantitativas y cualitativas del estado del sistema, que auxilian a los sujetos, organismos, asociaciones y la sociedad a que tomen decisiones basadas en información objetiva.

1.1.5 Definición de indicador y sus características deseadas

Un indicador es una medida para determinar alguna condición o algún problema en un sistema y exponer su funcionamiento, de modo que esto ayude a tomar decisiones. Los indicadores proveen información que colabora en la prevención o resolución de problemas, antes de que éstos aparezcan o se hagan más grandes (Mihelcic & Zimmerman, 2012, pp. 300-301).

Para que el indicador sea efectivo debe ser (Mihelcic & Zimmerman, 2012, p. 300; Van Hoof et al, 2008, pp. 147-148):

- Relevante. Presenta algo del sistema que es necesario saber.
- Transparente. Puede verificarse por terceros.
- Cuantificable. Es posible medir con números la información que requiere el indicador.
- Fácil de entender. Debe ser claro y tener solamente una interpretación, ser comprensible también para personas que no son expertas.

- Confiable. Se puede tener confianza en la información que el indicador proporciona.
- Fundamentado en datos accesibles. La información está disponible o puede ser encontrada mientras aún se pueda actuar.

1.1.6 Clasificación de indicadores de sostenibilidad

Los indicadores de sostenibilidad se pueden clasificar (Camacho, Carrillo, Rioja & Espinoza, 2016, pp.159-160):

- Considerando su alcance temático; es decir, según el aspecto de la sostenibilidad al que pertenecen: económico, social o ambiental. En la actualidad algunos agregan el aspecto institucional. Este último, se refiere a la habilidad que tiene un organismo para determinar y alcanzar efectivamente las metas que lo dirigen, su misión y visión (Instituto Nacional de las Mujeres [INM], 2012, p. 12).
- Según el sentido teórico y la adquisición de datos en:
 - a) Indicadores objetivos (o duros): son de tipo cuantitativo y en ellos se utiliza información objetiva, independiente de la persona que nos proporciona la información (Ibáñez, 2012, p. 106), ésta se consigue por medio de distintos métodos de captación y procesamiento.
 - b) Indicadores subjetivos (o alternos): son de tipo cualitativo. En éstos se utiliza información que describe lo que opina o percibe una población o individuo respecto a una situación que le afecta.
- Dependiendo del modelo en el cual se basen:
 - a) Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER): Fue desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) para tener información que le ayudara a organizar su labor referente a políticas ambientales (Ibáñez, 2012, p. 107). El modelo PER parte del hecho de que las actividades que hacemos a diario los seres humanos realizan una presión en el medio ambiente, lo cual induce cambios en su estado. Debido a esto, la sociedad responde tomando medidas que intentan preservar el equilibrio ecológico.

- b) Modelo Fuerzas Motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR): A diferencia de PER, propone indicadores de impacto para detallar alteraciones en las condiciones del medio ambiente y agrega las “fuerzas motrices” como las causas de la presión sobre el medio ambiente.
 - c) Modelo fundamentado en el barómetro de la sostenibilidad. Éste fue propuesto por Prescott-Allen en 1996, para tratar de representar gráficamente la presión sobre un ecosistema explotado. Tiene como objetivos: I) Proporcionar un panorama general del sistema completo a estudiar. II) Dar la misma importancia al bienestar humano y al del ecosistema. III) Hacer más fácil el avance hacia la sostenibilidad (García S., 1996). Los indicadores utilizados en el barómetro de la sostenibilidad están combinados: se componen de una parte que se relaciona con el bienestar de las personas (ésta se toma de algún indicador que se refiera a los aspectos económico, social e institucional) y otra parte que trata el bienestar del ecosistema (el cual se obtiene de un indicador vinculado con el aspecto ambiental). El barómetro de sostenibilidad es una gráfica dividida en 5 regiones que representan las categorías de sostenibilidad: mala, pobre, media, aceptable y buena, como se presenta en la figura 1.
- Por el enfoque en el que se fundamenten en:
 - a) Monetarios: Trata de asignar un valor en términos de dinero a la amortización de recursos naturales, servicios ambientales y su impacto sobre el nivel de vida de las personas. Por amortización de recursos naturales se refiere a la pérdida del valor monetario de éstos debido al paso del tiempo o al agotamiento del recurso. Por ejemplo, las minas o los pozos petroleros pierden valor debido a que se extrae de éstos el mineral o el petróleo, respectivamente (AlphaNouvelles, 2015).
 - b) Biofísicos: Miden los recursos utilizados en la producción de bienes y servicios económicos, tomando en cuenta su vida útil, los niveles de consumo y el impacto ambiental, por medio de información científica y metodológica.

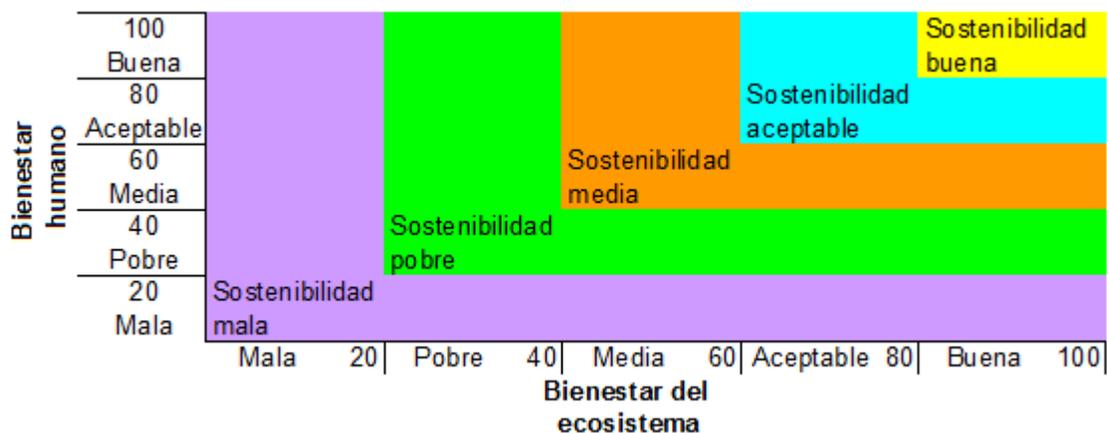


Figura 1. Barómetro de la sostenibilidad.

Fuente: Ibañez (2012) p. 108

En la figura 1 se presenta el barómetro de sostenibilidad en donde se identifican las cinco zonas que representan los niveles de sostenibilidad del indicador (mala, pobre, media, aceptable y buena) junto con sus escalas (que van del 1 al 100) sobre los ejes de bienestar humano y bienestar del ecosistema, que se miden mediante un indicador combinado o dos simples.

La clasificación o ponderación de indicadores puede llevarse a cabo basándose en propuestas hechas por expertos, en consensos, en opiniones conseguidas en foros de participación o usando criterios ya establecidos en la literatura (Camacho et al., 2016, p. 160).

Cabe mencionar que algunos autores (en otros: Barber 2009, Tanguay 2010, pp. 410-411 y Hysa 2013, p. 708) se refieren a los indicadores que tratan dos aspectos de la sostenibilidad: económicos-ambientales, sociales-ambientales y económicos-sociales como viables, soportables y equitativos, respectivamente. Pero esto se presta a confusión, ya que en la Carta del Turismo Sostenible (aprovada en la Conferencia Mundial de Turismo Sostenible que se llevó acabo en Lanzarote, Islas Canarias, España, en abril de 1995). El primer adjetivo se refiere únicamente al aspecto económico, el segundo alude solamente a la dimensión social y el último trata exclusivamente el pilar ambiental (Acerenza, 2006, p. 13). Por tal motivo, se hace referencia a los indicadores mezclados mencionando explícitamente los aspectos de la sostenibilidad que abarcan. En la figura 2 se muestra una representación gráfica de los pilares de la sostenibilidad con las regiones en donde se mezclan.

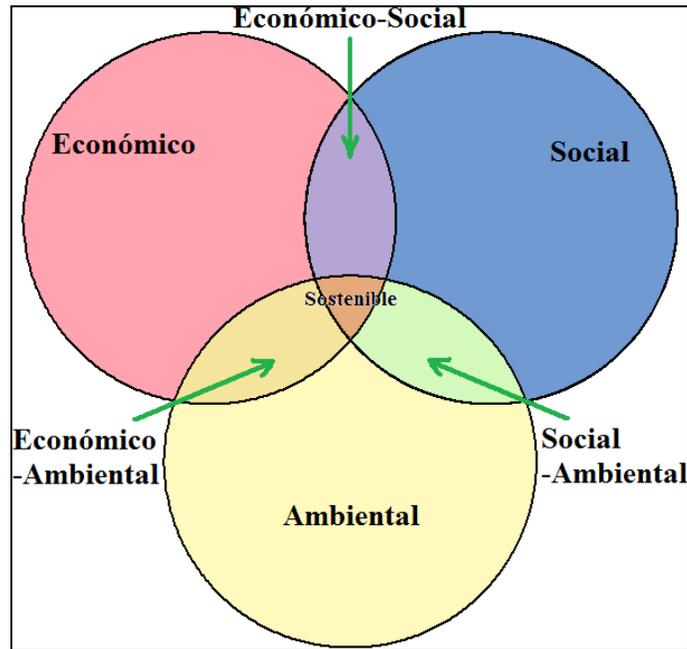


Figura 2. Los tres círculos de la sostenibilidad con sus regiones mezcladas.

Fuente: Elaboración propia con base en Brook (2013) y Howart (2012) p. 33

En la figura 2 se presentan los aspectos de la sostenibilidad con sus áreas de intersección. El área económica-ambiental, la región social-ambiental y la zona económico-social. Por último, la región que contempla a estas tres dimensiones es sostenible.

1.2 Problemáticas

En la presente sección se exponen las problemáticas del desarrollo sostenible, de los métodos y técnicas que se utilizan para aplicar este concepto y en particular de los indicadores.

1.2.1 Problemática con el desarrollo sostenible

El concepto de desarrollo sostenible, ampliamente utilizado e invocado, presenta varios problemas desde su definición ya que requiere satisfacer las necesidades de las personas del presente, algo que no

se ha logrado a la fecha, sin afectar la facultad de las generaciones futuras de saciar sus necesidades, para lo cual primero habría que saber cuáles serán éstas (Piccinelli & Sunyer, 2007, p. 40).

Algunos autores que estaban a favor del desarrollo sostenible crearon la idea de separar totalmente los conceptos de crecimiento, como un incremento físico cuantitativo, y desarrollo, como una mejora cualitativa (Naredo, 1996, p. 9; Daly, 1991, p. 19). Esto hizo creer a muchos que el desarrollo podía ser indefinido (Piccinelli & Sunyer, 2007, p. 40), i. e., que en un sistema con recursos finitos puede haber un desarrollo infinito.

En un tiempo, algunos administradores públicos y profesionistas aceptaron esta definición sin cuestionarla, lo cual tenía como consecuencia que cualquier proyecto que incluyera la palabra sostenible se aceptara. El poder de persuasión que tiene el concepto de desarrollo sostenible hace que las personas dejen de preocuparse por el deterioro ambiental y que creen que el problema ya está solucionado (Piccinelli & Sunyer, 2007, p. 38, 41). En el planteamiento de este concepto también se antepone el desarrollo económico a los otros dos pilares, argumentado que los problemas ambientales se resolverán hasta que los beneficios económicos sean suficientes para reparar el daño ambiental y social (Brundtland, 1987, p. 184-185; Estevan, 1997; Piccinelli & Sunyer, 2007, pp. 43, 47). En el mejor de los casos, en el cual se obtuviera el presupuesto suficiente para hacerlo, se tendría que afectar otro lugar para reparar el que ya se había dañado, i. e., no puede haber una restauración global. Además de que los procesos que se realicen para reparar el daño también generarán daños en el ecosistema y agotamiento de recursos (Estevan, 1997; Piccinelli & Sunyer, 2007, p. 47).

La definición de desarrollo sostenible, al hablar de necesidades, se refiere principalmente a las necesidades de las personas pobres del mundo quienes, acorraladas por la pobreza, no tienen otra opción que sobreexplotar su ambiente inmediato (Brundtland, 1987, p. 28, p. 41,66).

Otro problema es que en el informe Brundtland se plantea determinar si un país es subdesarrollado o no con base en el PIB (Piccinelli & Sunyer, 2007, p. 39), anteponiendo la riqueza económica a la riqueza

en recursos naturales, y dar una mayor permisividad para aprovechar estos recursos a los países subdesarrollados, pero esto instaura un círculo vicioso: implica mayor contaminación y agotamiento de recursos naturales con el fin de mejorar su situación económica. Aunado a esto, la globalización, es decir, “El aumento del comercio alrededor del mundo, efectuado principalmente por grandes compañías produciendo y comerciando bienes en muchos países distintos” (Colin (Ed.), 2013, p. 659), ayuda a las empresas de países desarrollados a llevar su producción a los países subdesarrollados en busca de recursos naturales y mano de obra barata para disminuir sus costos (Estevan, 1997), a pesar de que el producto se tenga que transportar de un país a otro, lo cual implica un gasto de energía y de recursos. Esto provocaría que los países subdesarrollados deterioraran sus recursos ambientales hasta el punto de que ya no fueran atractivos para los países desarrollados, de modo que éstos llevarán su industria a otras naciones, lo que provocaría a los países subdesarrollados un estado de pobreza (Estevan, 1997) peor del que ya tenían, porque estarían sin industrias y sin recursos naturales.

Finalmente, la traducción al español presenta cierta ambigüedad. En la Real Academia Española, sostenible se define como un adjetivo: “que se puede sostener”, o en un contexto ecológico-económico “que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente” (RAE, 2014a), y sustentable “que se puede sustentar o defender con razones” (RAE, 2014b); siendo que en Latinoamérica los dos conceptos se tratan de manera indistinta, correspondiendo principalmente a la primera acepción (V. López, 2008, p. 28). En este trabajo de tesis se usará la palabra sostenibilidad.

Los puntos importantes de los párrafos anteriores son que: 1. En la actualidad no se ha podido cumplir el primer objetivo de la definición de desarrollo sostenible (“satisfacer las necesidades del presente”) y si se quiere llevar a cabo el segundo punto, habría que hacer una predicción para saber cuáles serán las necesidades de las generaciones futuras. 2. En el contexto de la sostenibilidad se separa totalmente el concepto de crecimiento y desarrollo. 3. El concepto es tan convincente que evita la crítica y da la sensación de que todos los problemas están resueltos. 4. Trata de presentar al desarrollo económico como la solución al problema ambiental. 5. Hace ver a las personas pobres como una causa considerable del deterioro ambiental. 6. Crea una permisividad en los países subdesarrollados para deteriorar su medio ambiente y, con la globalización, permitir que entren países desarrollados a

aprovecharse de esta situación. 7. Existe confusión en el idioma español entre las palabras sostenible y sustentable.

1.2.2 Problemática con los métodos y técnicas utilizados para lograr el desarrollo sostenible

Los métodos y técnicas usados para lograr el desarrollo sostenible presentan algunos problemas. Por ejemplo, la evaluación de impactos ambientales y los indicadores de sostenibilidad tienen un problema de subjetividad por parte de las personas que los crean. Las Normas ISO 14000 no aseguran la calidad ni el cuidado ambiental, ya que no tienen el objetivo de establecer compromisos legales o impedimentos comerciales a los organismos a los que están dirigidos. Sus objetivos, como se vio en la sección 1.1.3, son: gestionar el cuidado del ambiente y prevenir la contaminación. En la decisión multicriterio, el decisor tiene la última palabra. El ciclo de vida económico se enfoca principalmente en la cuestión económica. (V. López, 2008, p.68, 69, 75). En resumen, los métodos y técnicas para hacer operativa a la sostenibilidad tienen problemas de subjetividad, falta de compromiso, sesgo en la decisión y tendencia al aspecto económico. Y, como se vio, éste último problema también se presenta en la problemática del concepto de desarrollo sostenible.

1.2.3 Problemática con los indicadores

La problemática con la elaboración de indicadores es amplia pues se tienen que determinar los conceptos, mecanismos, métodos y técnicas que permitan recabar datos sintetizados, válidos y confiables. Aunado a esto, existen problemas inherentes al hecho de aproximar o medir y crear escalas e instrumentos relacionados con este último proceso. El problema metodológico de la conceptualización del indicador surge cuando se quiere medir una propiedad latente, que no se puede medir directamente, partiendo de propiedades manifiestas y observables, que se relacionan con la propiedad latente a través de un marco referencial desde una perspectiva vaga, hasta que se logra identificar las variables que abarca el concepto. La solución de este problema se logra según la capacidad que se tenga para categorizar y hacer operativo al indicador (Cisneros, 1983, p. 46-48). También se puede considerar como

problema que un indicador no cumpla las características presentadas en la sección 1.1.4 (relevante, transparente, cuantificable, fácil de entender, confiable y fundamentado en datos accesibles). En particular se centra en el proceso de categorización de indicadores, este proceso es complicado porque éstos son descritos con palabras, de modo que surge el problema de cuantificar qué tanto pertenece un indicador a cierta categoría. Los indicadores de sostenibilidad se categorizan en los aspectos económico, social y ambiental, y es importante clasificarlos correctamente para mantener el equilibrio entre ellos.

1.3 Objeto de estudio

Este estudio se centra en los indicadores de producción sostenible, donde, por producción, se hace referencia tanto a la creación de bienes como a la prestación de servicios. Estos indicadores son métricas estratégicas que sirven para evaluar el grado de sostenibilidad de una empresa y reconocer las opciones más sostenibles en el futuro (Krajnc & Glavič, 2003, p. 279). Por métrica se entiende un estándar de medida que evalúa un proceso o sistema (American Heritage® Dictionary of the English Language, 2011).

El objeto de estudio de este trabajo de tesis es la definición de categorías que contemplen uno, dos o tres aspectos de la sostenibilidad (económico, social y ambiental) de los indicadores de producción sostenible en los aspectos para poder obtener una clasificación con base cuantitativa.

1.4 Problema

El problema que se ha encontrado es que cuando las instituciones presentan sus indicadores de producción sostenible, éstos parecen estar incorrectamente distribuidos en los pilares de la sostenibilidad o no se informa explícitamente que un mismo indicador puede estar involucrado con más de un aspecto, ni en qué proporción. Por ejemplo, en el grupo de indicadores que nos presentan como ambientales, además de éstos, puede haber indicadores económicos, sociales o, económicos-sociales, económicos-ambientales y ambientales-sociales-económicos. Para ilustrar esta situación se presenta una imagen en la figura 3.

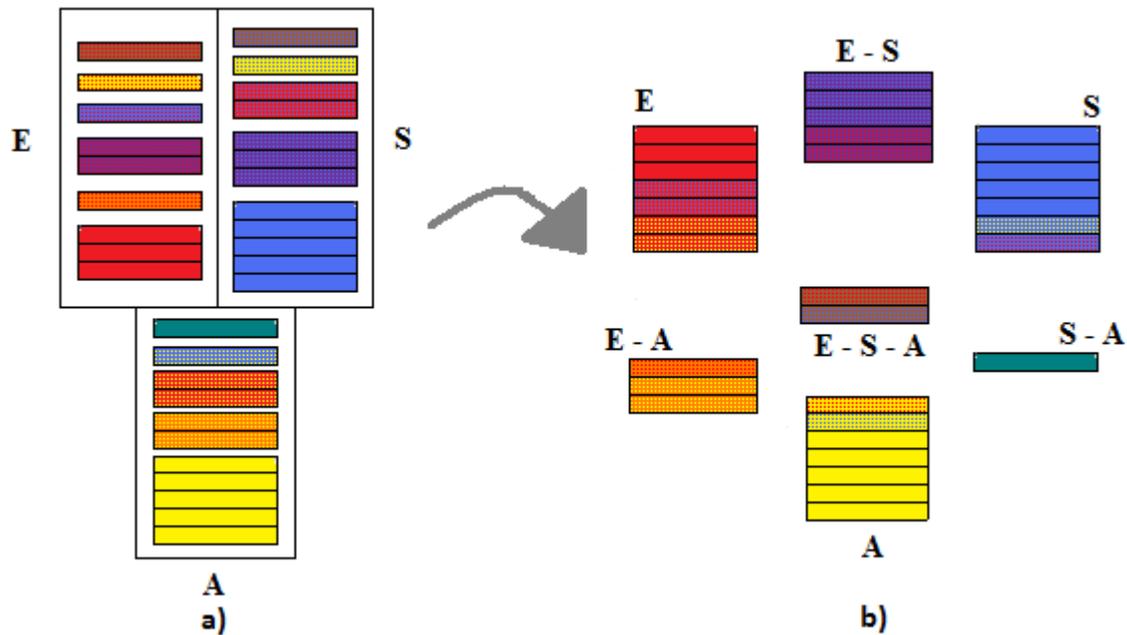


Figura 3. (a) Clasificación simple y (b) clasificación propuesta para los indicadores de sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2015)

En la figura 3 los indicadores se representan por medio de barras horizontales, de diferentes colores para los diferentes aspectos y sus mezclas: rojo → económico, azul → social, amarillo → ambiental, morado → económico-social, anaranjado → económico-ambiental, verde → social-ambiental y café → económico-social-ambiental. En (a) se muestra la manera en que se organizan los indicadores en las baterías propuestas por algunas instituciones, y en (b) se ilustra cómo se organizarían los indicadores considerando los aspectos mezclados y matices.

Cabe aclarar que el problema no es que los indicadores puedan tener dos o tres aspectos, el problema es que, al no identificar esta combinación de aspectos o no cuantificar su proporción en cada indicador, se clasifique un indicador en un aspecto de la sostenibilidad al cual no pertenece. Esto podría provocar que, al elegir los indicadores, sólo se contemplaran dos o, en el peor de los casos, un aspecto de la sostenibilidad.

En particular, en la revisión de la literatura, se encontraron algunos indicadores que parecían estar mezclados o no pertenecer al aspecto de la sostenibilidad que se indicaba en el documento en donde se

consultaron, como en los indicadores GRI versión G3.1 (por sus siglas en inglés Global Reporting Initiative o, en español, Iniciativa de Reporte Global, IRG) (Centro Mexicano para la Filantropía [CEMEFI] & Empresa Socialmente Responsable [ESR], 2011) o los indicadores propuestos por Krajnc y Glavič (Krajnc & Glavič, 2003, p. 279), y otros indicadores, los propuestos por Veleva y Ellenbecker, no presentaban una clasificación en los tres aspectos de la sostenibilidad ya que propone seis aspectos para que su aplicación sea más operativa en el contexto de las corporaciones (Veleva & Ellenbecker, 2001, p. 520). Por ejemplo el indicador GRI: “Valor total de las aportaciones financieras y en especie a partidos políticos o a instituciones relacionadas, por países” es presentado como social cuando parece ser económico.

1.4.1 Causas

Como se describe en las problemáticas, una de las causas puede ser el contexto que rodea a la definición de desarrollo sostenible, el cual antepone el pilar económico a los otros pilares. Debido a la credibilidad acrítica que la definición de desarrollo sostenible produce, cuando las organizaciones eligen los indicadores propuestos por alguna institución, asumen que todos los indicadores pertenecen al aspecto que se indica, sin cuestionar. Por otro lado, cuando la empresa crea sus propios indicadores, es difícil saber si éstos están bien distribuidos en las dimensiones de la sostenibilidad, ya que la empresa es juez y parte en este caso. Lo anterior se suma a que no existe un proceso estándar para la creación de indicadores que se puedan aplicar en distintos contextos, según las prioridades de las organizaciones. Sólo algunas veces se siguen propuestas metodológicas de agencias internacionales (V. López, 2008, p. 62).

1.4.2 Efectos

Al no tener información sobre los aspectos que se pueden mezclar en un indicador, ni en las proporciones que éste se encuentra, se corre el riesgo de omitir alguno de los tres aspectos de la sostenibilidad en algún proyecto y por lo tanto de disminuir la duración de éste, entendiendo que si es sostenible, se puede mantener por más tiempo. Al mismo tiempo, no se tomaría debidamente en cuenta los riesgos ambientales, consumiendo los recursos que corresponden a las generaciones futuras.

Si sólo se eligieran indicadores económicos y sociales, se corre el riesgo de agotar los recursos y crear un proyecto poco eficiente; por otro lado, un proyecto no generará empleos ni riqueza si solamente se usan indicadores que contemplan aspectos sociales y ambientales, y, finalmente, cuando sólo se usan indicadores con contenidos económicos y ambientales —omitiendo la dimensión social—, se puede afectar a los trabajadores y a las personas que viven en los alrededores (Barber, 2009).

1.5 Preguntas de investigación

¿Pueden las relaciones difusas ayudarnos a determinar qué tanto pertenece un indicador a cada pilar de la sostenibilidad?

¿Nuestra clasificación coincidirá con la presentada en los dos paquetes que clasifican a sus indicadores en los aspectos de la sostenibilidad?

¿Existen indicadores clasificados en un aspecto de la sostenibilidad al cual no pertenecen?

1.6 Hipótesis

Al utilizar relaciones difusas con este método se cuantifica qué tanto pertenece un indicador de producción sostenible a cada uno de los aspectos de la sostenibilidad que contempla y, de esta manera, se identifica qué aspecto es el predominante en cada indicador.

Algunos indicadores de producción sostenible pertenecen a un aspecto distinto al que se presenta en los documentos en donde se proponen.

En particular, se cree que los indicadores de producción sostenible tienen una tendencia a la dimensión económica, lo cual disminuye el grado de atención sobre los otros aspectos.

Las hipótesis de trabajo son:

- Se supuso una visión de interrelaciones sectoriales entre los aspectos de la sostenibilidad o aspectos de la sostenibilidad no están totalmente contenidos uno en otro, i. e., el aspecto social no está totalmente contenido en el económico ni el económico en el ambiental.
- Puede suceder que un indicador contemple dos o tres aspectos de la sostenibilidad.
- En este caso como analizamos los paquetes enteros de indicadores de producción sostenible requerimos de tres tipos de expertos, en aspectos: económicos, sociales y ambientales.
- Supusimos que los profesores eran autoridades epistémicas (Krugalski, 1989, p.53).

1.7 Justificación

Una de las bases de las medidas que se propusieron en 1975 para evitar una recesión era la disminución de la producción industrial (Gracia-Rojas, 2015, p. 6), por eso es importante estudiar los indicadores de producción sostenible. Un método cuantitativo para clasificar los indicadores de sostenibilidad en los tres aspectos y sus posibles mezclas:

- Proporciona información cuantitativa sobre la distribución de los indicadores de producción sostenible en los aspectos económico, social y ambiental, lo cual mejora la clasificación y facilita la toma de decisiones que nos guíen a un desarrollo sostenible.
- Ayuda a disminuir la desconfianza respecto a indicadores de la sostenibilidad y, como consecuencia, propicia que estos indicadores se utilicen más en los proyectos.
- Permite reclasificar los indicadores en el caso de un sesgo en la clasificación propuesta por los organismos o personas que los crean. En este caso se puede complementar con otro paquete de

indicadores de producción sostenible o crearlos para contemplar equilibradamente los tres aspectos.

- Para el caso de un proyecto en particular, previene el riesgo de escoger indicadores que contemplen sólo dos o, en el peor de los casos, un aspecto de la sostenibilidad.
- También se puede aplicar este método para otros estudios donde una variable latente se mide por medio de tres variables observables, para saber cuál de las variables observables, o sus posibles mezclas, influyen más en la variable latente. Un ejemplo en psicología podría ser un conjunto de ítems que midan el clima social escolar, variable latente que se mide con las dimensiones o variables observables implicación, ayuda del profesor y afiliación. Se podría determinar a qué dimensión se inclina más un ítem.

1.8 Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos particulares de este estudio.

1.8.1 Objetivo General

Diseñar y proponer un método cuantitativo participativo, utilizando relaciones difusas, para determinar qué tanto pertenece un indicador de producción sostenible a los aspectos económico, social, ambiental o sus posibles mezclas.

1.8.2 Objetivos Particulares

- Elegir los paquetes de indicadores de producción sostenible que se estudiarán para aplicar el método.

- Crear un instrumento de recolección de datos: encuesta para recabar datos.
- Seleccionar a los expertos para asegurar que nuestra información es confiable.
- Aplicar la encuesta a expertos para obtener datos.
- Crear ecuaciones de las relaciones difusas para cuantificar la pertenencia de cada indicador a los diferentes aspectos de la sostenibilidad.
- Implementar un programa que calcule los valores numéricos de las respuestas obtenidas utilizando las ecuaciones propuestas para automatizar el proceso de cálculo y no hacerlo a mano, ya que son demasiados.
- Correr el programa con los datos recabados en las encuestas para obtener información.
- Para los dos paquetes de indicadores que están clasificados respecto a los aspectos de la sostenibilidad: a) Señalar si en los indicadores de esos paquetes hay una tendencia hacia algún otro pilar respecto al que estaban clasificados, i. e., que estén mezclados. b) Identificar qué indicadores tienen una clasificación diferente a la que se obtuvo. Todo esto para comparar la clasificación presentada en los documentos con la clasificación propuesta.
- Para el paquete de indicadores que no tiene una clasificación respecto a los pilares de la sostenibilidad: Clasificar los indicadores en los tres aspectos de la sostenibilidad y sus posibles mezclas para a que aspecto de la sostenibilidad pertenece cada indicador.

Ahora que ya se expuso el problema que se tratara en este trabajo de tesis y su contexto, en el siguiente capítulo se revisa la teoría necesaria para entender el método propuesto de resolución del problema.

2. Marco teórico

En este capítulo se presentan las bases teóricas que permitirán comprender el método cuantitativo que se elaboró en este trabajo de investigación, el cual sirve para saber qué tanto pertenece un indicador de producción sostenible a los pilares económico, social y ambiental.

2.1 Clasificación

En esta sección se presentarán algunas definiciones para entender el concepto de clasificación.

Un modelo es el instrumento racional que nos permite representar las propiedades de un objeto para estudiarlo (Zhilin, 2010, p. 41). La adecuación, en este contexto, es la característica que tienen los modelos de describir fielmente las propiedades del objeto que representan, i. e., mientras más adecuado es el modelo, éste se comporta más parecidamente al objeto que se quiere representar en la realidad. La eficiencia, en esta situación, es la característica que tienen los modelos de poder describir a un objeto con el uso mínimo de recursos (Zhilin, 2010, p. 43). La región de aplicación es la colección de objetos y propiedades que son descritos adecuadamente por un modelo (Zhilin, 2010, p. 45).

La base de la clasificación se establece en el segundo principio del conocimiento, el cual afirma que las propiedades de los objetos pueden estar relacionadas (Zhilin, 2010, p. 39). La clasificación es la división de un grupo de objetos en grupos más pequeños de objetos que tienen propiedades similares. Éstos últimos son denominados como clases. A cada clase se le asigna un nombre llamado concepto. Se denota como propiedades de clase a las propiedades que tienen en común los objetos de una misma clase. Existen dos tipos: las propiedades características son las propiedades que cuando cambian en el objeto, también lo cambian de clase y las propiedades no características son las que cuando son modificadas en el objeto, no provocan que éste cambie de clase (Zhilin, 2010, p. 48). Cuando se determina que un objeto pertenece a alguna clase evoca sus propiedades características. Lo cual da pie a

la creación de su modelo. De tal manera que todos los objetos de una clase se pueden describir con el mismo modelo. Por esto, todos los modelos se basan en la clasificación (Zhilin, 2010, p. 49).

Es posible crear una jerarquía de clases dividiendo a una clase en subclases. Todos los objetos de una subclase tienen las propiedades correspondientes a su clase y todas las propiedades particulares de su subclase. La clase será más pequeña mientras sea menor el número de objetos que la componen, lo que implica que el número de propiedades será mayor por lo que aumentará la adecuación del modelo que describe a los objetos de la clase, pero disminuirá su eficiencia y su región de aplicación. Si se dividieran las subclases en otras subclases y se llegara a un punto en donde las subclases se compongan de un solo objeto, clases unitarias, la clasificación deja de tener sentido porque no se pueden describir las propiedades de un objeto con base en las propiedades de otros objetos (Zhilin, 2010, p. 50).

Objetos que pertenecen a clases distintas pueden tener algunas propiedades en común, lo cual permite unirlos en superclases, i. e., clases que se refieren a un concepto más general. La desventaja es que se pierden de vista las propiedades particulares de cada clase y disminuye el número de propiedades que se pueden predecir. Esto merma la adecuación de los modelos, pero aumenta su eficiencia y sus fronteras de aplicación. Si se unieran sucesivamente las clases hasta llegar a una clase general que contempla a todos los objetos, la clasificación pierde sentido porque no se puede predecir propiedad alguna de un objeto (Zhilin, 2010, p. 51).

La situación presentada en los dos párrafos anteriores muestra que no existe una clasificación precisa, ya que todo depende del contexto y el problema que se quiera resolver, y de un equilibrio entre la adecuación y la eficiencia (Zhilin, 2010, p. 51).

En la clasificación, se pueden presentar muchas situaciones. Dos clases distintas pueden tener objetos en común, a la clase compuesta por estos objetos se le llama clase definida. Es posible dividir una clase en dos subclases disjuntas, a esta división, o dicotomía, se le llama clasificación absoluta y a las subclases formadas se les llaman clases opuestas, como sus propiedades, o por ausencia de una

propiedad. La clasificación condicional es otro tipo de clasificación que depende del contexto del problema y para aplicarla se necesita que las características de cada clase condicional tengan consecuencias distintas a las de las otras clases condicionales (Zhilin, 2010, p. 51-52).

La mayoría de las veces es difícil enlistar a todos los objetos de una clase, cuando sucede esto se dice que se tienen una clase abierta. La clase que contempla a todos los objetos que la componen se dice que es cerrada. La clasificación parte de la premisa de que, si algunos objetos poseen propiedades en común, deben tener otras propiedades en común. Para determinar si un objeto se contempla en una clase, se selecciona uno o más indicios, que son propiedades que están relacionadas con otras propiedades. A la colección de indicios correspondientes a una clase que son suficientes para determinar si un objeto pertenece a tal clase se le llama definición de clase (Zhilin, 2010, p. 54).

2.2 Antecedentes de la teoría de conjuntos clásica

En la presente sección se exponen los conceptos básicos utilizados en la teoría de conjuntos clásica.

Primero se define un conjunto clásico que, para fines de este estudio, también llamado nítido (también se le llama conjunto normal, ordinario o simple) como “una colección de objetos definida por medio de alguna o algunas propiedades en común” (Gutiérrez & Larios, 1998, p. 79). El universo de discurso (conjunto universal o universo local) es la colección de todos los elementos que componen a los conjuntos sobre los cuales se trabaja. Éste no está definido de manera única y depende de la situación particular a tratar (Kleiman & de Kleiman, 1991, p.25). El universo de discurso nos proporciona un marco de referencia en el cual se puede trabajar (Amor, 1997, p.14).

Un conjunto importante es el conjunto vacío, denotado por la letra griega, ϕ , el cual se define como el conjunto que no tiene elementos (Lascurain, 2012, p. 2). Utilizando notación de teoría de conjuntos éste se define como $\{x \mid x \neq x\}$ (Gómez, 2014, p.21).

Las dos operaciones básicas entre conjuntos nítidos son la unión y la intersección. Sean A y B dos conjuntos, la unión de estos dos conjuntos se define como: $A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ ó } x \in B\}$. Y la intersección se representa de la forma: $A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ y } x \in B\}$.

Los objetos dentro del universo de discurso pueden pertenecer o no, tajantemente, a un conjunto nítido (Martín y Sanz, 2007, p. 250). Para describir esta situación, en el contexto de la lógica booleana, se define una función indicador lógica o característica que le asigna el valor de 1 (verdadero) a los elementos que pertenecen al conjunto nítido y 0 (falso) a los que no pertenecen (García, 2012, p.177; Ponce, 2010, p. 38; Ross, 2004, p. 14):

$$\mu_{\substack{A \\ \text{nítido}}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \notin A \\ 1 & \text{si } x \in A. \end{cases} \quad (2.1)$$

Un ejemplo de un conjunto nítido puede ser la fiebre definida como una temperatura mayor a los 37°C, que tiene como universo de discurso el intervalo de temperaturas de 35 a 41°C, de modo que la función queda definida como (García, 2012, p. 177):

$$\mu_{\substack{\text{fiebre} \\ \text{nítido}}}(T) = \begin{cases} 0 & \text{si } T < 37 \\ 1 & \text{si } 37 \leq T. \end{cases} \quad (2.2)$$

En la figura 4 se presenta la gráfica de ésta función.

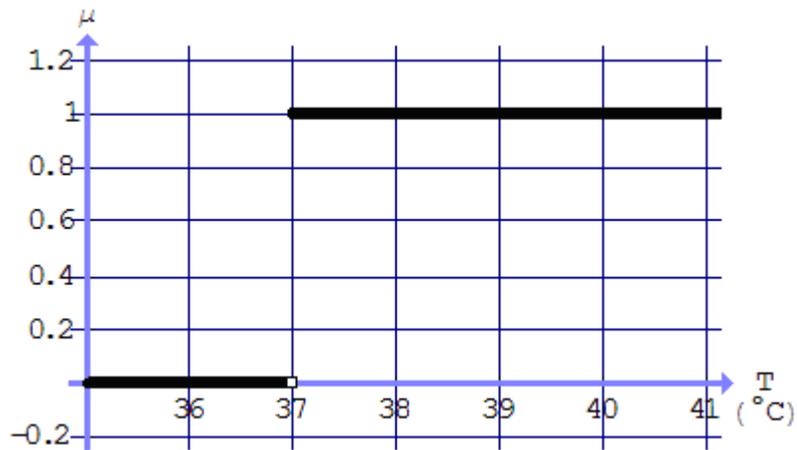


Figura 4. Gráfica de la función del conjunto nítido fiebre.

Fuente: Elaboración propia con base en García (2012) p. 177

En la gráfica de la figura 4 se puede apreciar que para temperaturas menores a los 37°C la función vale 0 y para valores de 37°C o vale 1.

A continuación, se presentan una serie de definiciones. La partición de un conjunto, es una colección de subconjuntos del conjunto que no tiene elementos en común y, al unirlos, forman otra vez ese mismo conjunto (Maza & Arce, 1991, p. 16).

Definición 2.1. Sea A un conjunto, el conjunto potencia de A , o partes de A , se define como

$$\wp(A) = \{C \mid C \subseteq A\}, \quad (2.3)$$

en donde C es un conjunto (Gómez, 2007, p. 6).

Definición 2.2. Dado un conjunto $A \neq \emptyset$ y $P = \{A_i\}_{i \in I} \subseteq \wp(A)$ una familia de subconjuntos de A . P es una partición de A si cumple las condiciones siguientes:

- i. $A_i \neq \emptyset, \forall i \in I$ (los subconjuntos, o partes, de A son no vacíos).
- ii. $\forall i, j \in I, A_i \cap A_j = \emptyset$ si $A_i \neq A_j$ (si dos subconjuntos, o partes, de A son distintos, entonces su intersección es vacía).

- iii. $\bigcup_{i \in I} A_i = A$ (todo elemento de A pertenece a un elemento de la familia de P), en donde \cup es la operación unión entre conjuntos.

(Bravo, Rincón M., & Rincón O., 2006, p. 121; Gómez, 2014, p. 67). Si se tiene alguna duda con la notación de índices para conjuntos, se puede consultar el Anexo 1.

La figura 5 muestra un conjunto particionado en un diagrama de Venn-Euler.

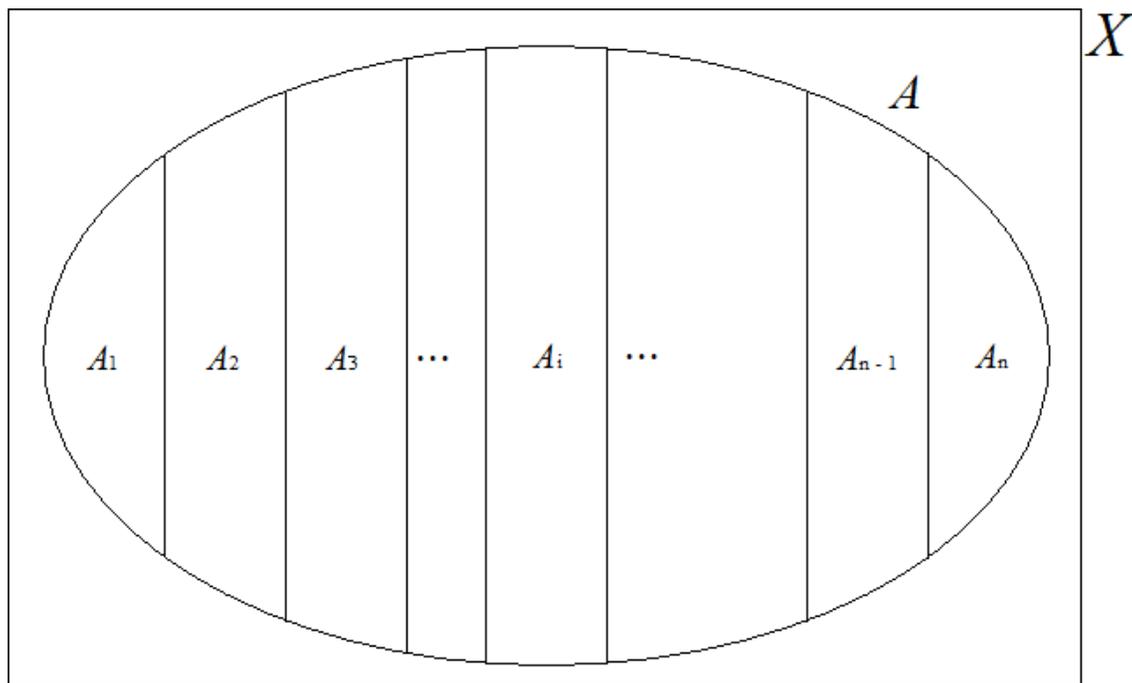


Figura 5. Imagen de un conjunto nítido particionado.

Fuente: Elaboración propia con base en Bravo et al. (2006) & Gómez (2014)

En la figura 5 se ilustra un conjunto particionado, en la cual se puede observar que no se interceptan si son distintos, son no vacíos y la unión de todos ellos vuelve a formar al conjunto A .

Para clasificar los elementos de un conjunto, se tiene que hacer una partición sobre éste, utilizando un criterio determinado, e identificar a cada subconjunto de la partición con una letra o un nombre (Cuadras, 2014, p. 187).

2.3 Teoría de conjuntos difusos

Esta sección presenta los conceptos básicos de los conjuntos difusos, también llamados borrosos, con el propósito de comprender las ecuaciones que nos permitirán calcular qué tanto pertenece un indicador a cada pilar de la sostenibilidad, en el siguiente capítulo. Los conjuntos difusos fueron propuestos por el Dr. Lotfi A. Zadeh en el año de 1965 (Zadeh, 1965). Si se quiere ver una breve biografía de este distinguido científico, puede revisar el Anexo 7 de esta tesis.

2.3.1 Conceptos básicos

Se define la variable lingüística como una variable a la que se le asigna como valores palabras o enunciados del lenguaje común (Barragán, 2009, p. 43). La variable lingüística es el nombre que se le da al universo de discurso. Casi siempre es un sustantivo. Los valores lingüísticos son los valores que se le asignan a la variable lingüística (García, 2012, p. 184). Son las palabras que representan a las etiquetas o nombres que se les otorgan a los conjuntos difusos, los cuales se encuentran contenidos en el universo de discurso (Martín & Sanz, 2007, p. 270). La mayoría de las veces son adjetivos calificativos.

Vale la pena mencionar que en la teoría de conjuntos difusos se le da una importancia considerable al nombre del universo de discurso y a las etiquetas de los conjuntos difusos, ya que en los conjuntos clásicos sólo interesaba su definición y la mayoría de las veces se les asignaba una letra, en vez de un nombre o etiqueta.

Un conjunto difuso es un conjunto nítido en donde se le asigna el valor de 0 a los elementos que no pertenecen a éste y valores en el intervalo (0,1] a los elementos que sí, para indicar cuantitativamente qué tanto coincide el elemento con la definición de un concepto, es decir, su grado de pertenencia. A la función que asigna valores numéricos a todos los elementos del universo de discurso se le llama función de inclusión, membresía o pertenencia (Martín & Sanz, 2007, pp. 250-1). La idea es matizar cuantitativamente el grado de pertenencia de los elementos del universo de discurso a un concepto que define al conjunto.

Definición 2.3. Dado un conjunto no vacío X , llamado universo de discurso, se define el conjunto difuso A como el conjunto de pares ordenados

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}, \quad (2.4)$$

donde

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1] \quad (2.5)$$

es la función de pertenencia de un conjunto difuso A . Esta función asigna a cada elemento $x \in X$ su grado de pertenencia respecto al conjunto difuso A . Los tres casos que se distinguen son (Scherer, 2012, p. 7):

1. $\mu_A(x) = 1$ si el elemento x pertenece completamente al conjunto difuso A .
2. $\mu_A(x) = 0$ si el elemento x no pertenece a A .
3. $0 < \mu_A(x) < 1$ si el elemento x pertenece parcialmente al conjunto difuso A .

Es conveniente darnos cuenta que el universo de discurso funge como dominio de las funciones de pertenencia y es el conjunto de valores numéricos o elementos que representan a la variable lingüística en los conjuntos difusos.

Haciendo una analogía con el ejemplo del conjunto nítido de la fiebre, se puede construir un conjunto difuso de la fiebre, valor lingüístico, en donde la variable lingüística es la Temperatura que tiene como universo de discurso el intervalo de 35 a 41 °C y como función de pertenencia (García, 2012, p. 178)

$$\mu_{\text{fiebre difuso}}(T) = \begin{cases} 0 & \text{si } T < 37 \\ \frac{T-37}{40-37} & \text{si } 37 \leq T < 40 \\ 1 & \text{si } 40 \leq T. \end{cases} \quad (2.6)$$

La gráfica de esta función se muestra en la figura 6.



Figura 6. Gráfica de la función de pertenencia correspondiente al conjunto difuso de la fiebre

Fuente: Elaboración propia con base en García (2012) p. 178

En la gráfica de la figura 6 se puede ver que para temperaturas menores a los 37 °C o mayores a 40 °C la función de pertenencia se comporta de manera similar que la función lógica. Pero para las temperaturas entre 37 y 40 °C la función es lineal, creciente y adquiere valores en el intervalo [0,1).

El hecho de que cambien los valores de forma creciente y lineal en el intervalo de temperaturas de 37 a 40 °C matiza el concepto en la frontera del conjunto y ayuda a darle más sentido a la función de pertenencia. Lo último sucede debido a que indica cuáles valores tienen consecuencias distintas y cuáles no, por ejemplo, no se va a tratar igual a una persona con 37.5 °C de temperatura que a otra con 39.5 °C,

o se tratará casi igual a una persona que tenga 36.9 °C y a otra persona con 37.1 °C de temperatura, lo cual no sucedía con la función lógica para los conjuntos nítidos (García, 2012, p. 177).

2.3.2 Aclaraciones

El concepto de grado de pertenencia no es un concepto probabilístico (Vasantha, 2003, p.9). No se debe confundir la función de pertenencia de un conjunto borroso con una función de densidad de probabilidad. Debido a que la primera representa cuantitativamente qué tanto un objeto coincide con la definición de un concepto y no cuantifica qué tan posible es obtener un resultado o evento, al realizar varias veces un experimento (Martín & Sanz, 2007, p. 270).

Cabe aclarar que los conjuntos difusos se relacionan con el concepto de vaguedad, el cual se refiere a la falta de exactitud en la definición de los términos que se utilizan para describir la realidad; y no con el de incertidumbre, que alude a la escasez de conocimiento sobre el comportamiento del mundo real y sus cambios; ni con la imprecisión, la cual trata sobre el déficit en la capacidad de hacer medidas exactas (Peñalva, 2000, p. 98).

2.3.3 Funciones de pertenencia más comunes

Existen distintos tipos de funciones de pertenencia, éstas son elegidas por el investigador para representar el conjunto difuso según el problema a resolver o el contexto a tratar (Galindo, 2013, p.8). A continuación, se presentan las seis funciones de pertenencia más comunes.

Ahora se comenzará por la función de pertenencia tipo trapezoidal, ésta tiene cinco ramas y se define de la siguiente manera

$$T(x;a,b,c,d)=\begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a < x \leq b \\ 1 & \text{si } b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{si } c < x \leq d \\ 0 & \text{si } d < x \end{cases} \quad (2.7)$$

Sus cuatro puntos principales a , b , c y d son los vértices del trapecio. Para valores menores al límite inferior, a , o mayores al límite superior, d , la función vale cero. Su valor es 1 entre b y c y, entre los valores a y b , y c y d , la función puede adquirir valores en los intervalos $(0,1]$ y $[0,1)$ respectivamente. Entre a y b , es un segmento de recta con pendiente positiva y, entre c y d , la función decrece linealmente, como se puede ver en la figura 7. Se usa en sistemas borrosos sencillos porque utiliza pocos datos para definir un conjunto borroso y es fácil de calcular el grado de pertenencia de sus elementos (Martín & Sanz, 2007, p. 252).

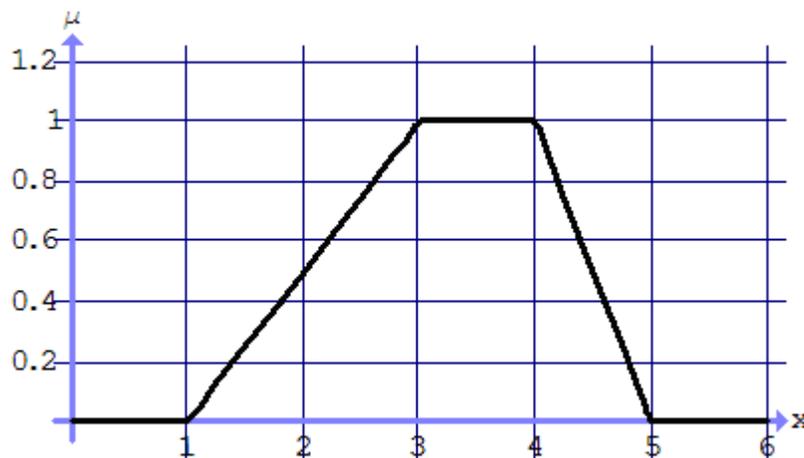


Figura 7. Gráfica de una función de pertenencia tipo trapezoidal.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007)

En la figura 7 se presenta el ejemplo de una gráfica de una función trapezoidal que tiene como límite inferior $x = a = 1$ y superior $x = d = 5$. Entre $x = a = 1$ y $x = b = 3$ la gráfica es creciente. En $x = b = 3$ y $x = c = 4$, la función es constante y vale 1. Entre $x = c = 4$ y $x = d = 5$ la función decrece.

La función de pertenencia triangular se representa por la siguiente ecuación con cuatro ramas

$$t(x; a, m, d) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{si } a < x \leq m \\ \frac{d-x}{d-m} & \text{si } m < x \leq d \\ 0 & \text{si } d < x \end{cases} \quad (2.8)$$

Para valores menores a su límite inferior y mayores a su límite superior, a y d respectivamente, esta función vale cero. Entre a y m la función crece linealmente, y entre m y d decrece, también de forma lineal, en ambos intervalos toma valores entre 0 y 1. En algunos textos, la relacionan con una función trapezoidal en el caso particular cuando $b = c = m$ (Martín & Sanz, 2007, p. 252). Esta función evaluada en el valor modal m alcanza su único valor máximo (Hidalgo, Batista & Robles, 2015, p. 56). Para ilustrar el comportamiento de esta función, en la figura 8 se puede ver la gráfica de un ejemplo.

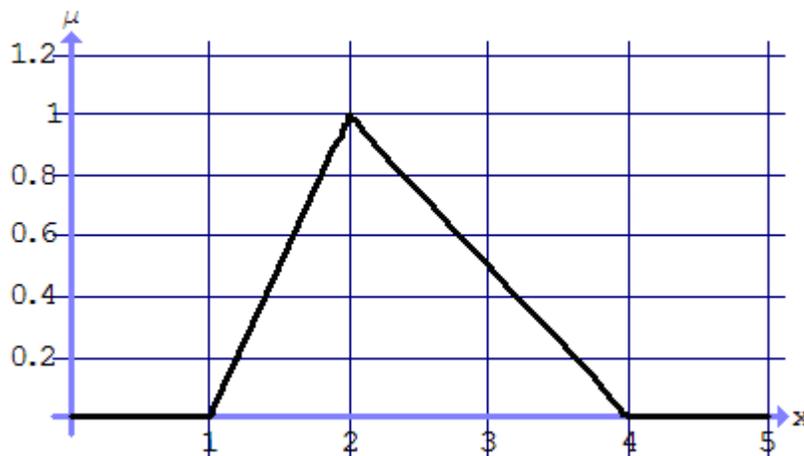


Figura 8. Gráfica de una función de pertenencia triangular.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín & Sanz (2007)

La figura 8 muestra un ejemplo de una gráfica de una función triangular que tiene como límites inferior y superior a $x = a = 1$ y $x = d = 4$, respectivamente, y el valor modal $x = m = 2$, en donde la función alcanza su valor máximo 1.

La siguiente función de pertenencia, con forma de s o sigmoideal, con cuatro ramas, tiene la forma

$$s(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < a \\ 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2 & \text{si } a \leq x < b \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{c-a} \right)^2 & \text{si } b \leq x < c \\ 1 & \text{si } c \leq x \end{cases} \quad (2.9)$$

donde $b = \frac{a+c}{2}$ y la función evaluada en b adquiere el valor de 0.5 (Scherer, 2012, p. 10). Para valores menores al límite inferior, a , la función vale 0 y para valores mayores o iguales a su límite superior, c , la función toma el valor de 1. Entre a y b se comporta como un segmento de parábola convexa, y entre b y c es un pequeño segmento de parábola cóncava (Martín & Sanz, 2007, p. 254) figura 9.

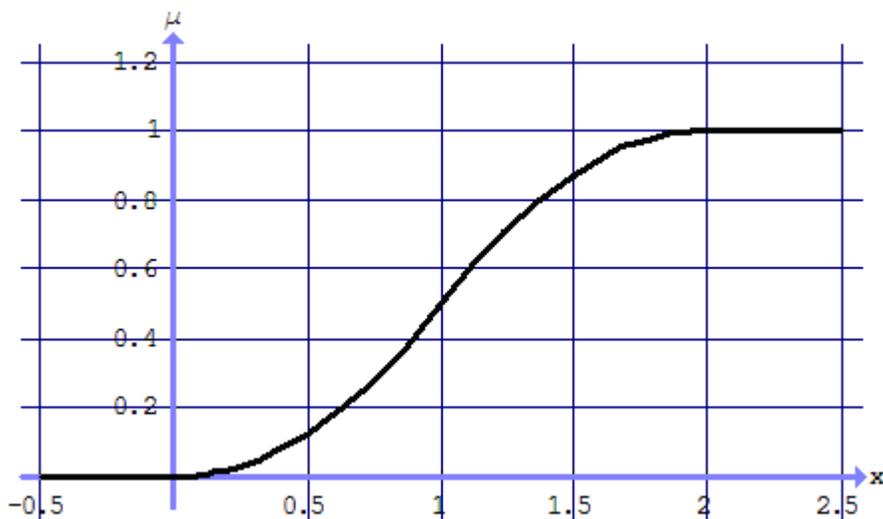


Figura 9. Gráfica de una función de pertenencia tipo sigmoideal.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín & Sanz (2007), & Scherer (2012)

En la figura 9 se aprecia el ejemplo de una gráfica de una función con forma de s en la cual su límite inferior es $x = a = 0$ y el superior es $x = c = 2$ y en este caso $x = b = 1$, en donde la función vale 0.5.

Si desea ver otra función de tipo s , en el Anexo 3 se presenta otro ejemplo, con su parametrización y gráfica.

La función de pertenencia con forma de L tiene la ecuación con tres ramas

$$L(x; a, b) = \begin{cases} 1 & \text{si } x < a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{si } a \leq x < b \\ 0 & \text{si } b \leq x \end{cases} \quad (2.10)$$

Para valores menores al límite inferior, a , la función vale 1. En medio de a y b se comporta como un segmento de recta con pendiente negativa. Si los valores son mayores a su límite superior, c , la función toma el valor de 0 (Scherer, 2012, p. 10). El comportamiento de esta función se puede ver en el ejemplo de la figura 10.

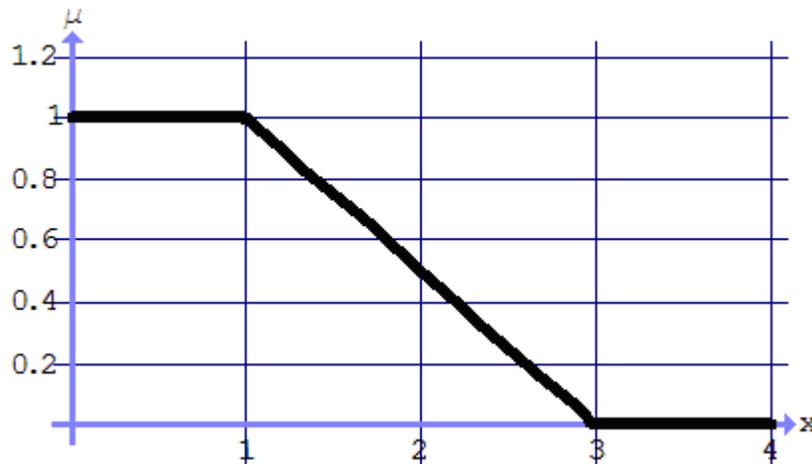


Figura 10. Gráfica de una función de pertenencia de tipo L .

Fuente: Elaboración propia con base en Scherer (2012)

En la figura 10 se puede ver un ejemplo de una gráfica de una función con forma de L en donde su límite inferior es $x = a = 1$ y el superior es $x = c = 3$ entre estos valores la función decrece.

A la siguiente función de pertenencia se le llama gamma minúscula, complemento de L , o sigmooidal plana. Se parametriza con una ecuación de tres ramas tipo

$$\gamma(x; a, b) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x < b \\ 1 & \text{si } b \leq x \end{cases} \quad (2.11)$$

si los valores son menores a a , la función adquiere el valor de 0. Entre a y b se comporta como una función lineal creciente. Para valores mayores a c , la función vale 1 (Scherer, 2012, p. 10). En la figura 11 se puede ver un ejemplo del comportamiento de γ .

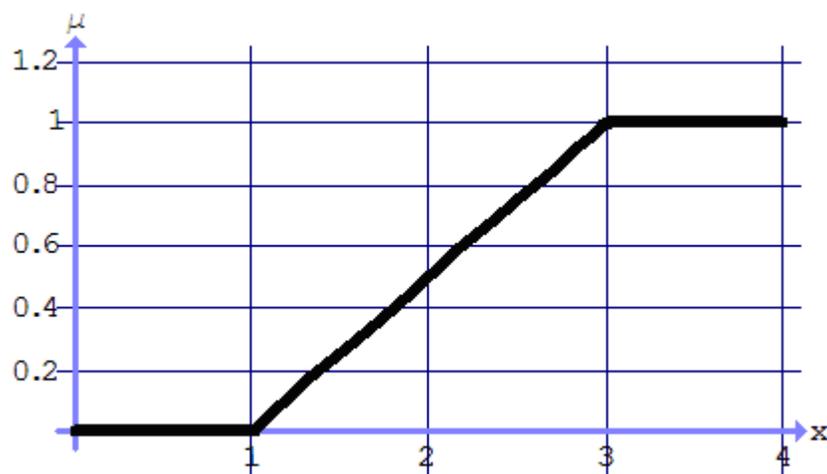


Figura 11. Gráfica de una función de pertenencia γ .

Fuente: Elaboración propia con base en Scherer (2012)

En la figura 11 se puede apreciar un ejemplo de una gráfica de una función con forma de L al revés en donde su límite inferior es $x = a = 1$ y el superior es $x = c = 3$, entre estos valores la función crece.

En el Anexo 3 se muestran otros dos tipos de funciones γ de pertenencia, con sus respectivas parametrizaciones, y gráficas de ejemplo.

Y por último la función de pertenencia tipo π la cual tiene dos ramas y se parametriza utilizando la función s y el complemento de s , como se muestra en la siguiente ecuación

$$\pi(x; b, c) = \begin{cases} s\left(x; c-b, c-\frac{b}{2}, c\right) & \text{si } x \leq c \\ 1-s\left(x; c, c+\frac{b}{2}, c+b\right) & \text{si } c < x \end{cases} \quad (2.12)$$

Para valores menores al límite inferior y mayores al límite superior, $c - b$ y $c + b$ respectivamente, la función vale 0. En los valores $c - \frac{b}{2}$ y $c + \frac{b}{2}$ la función vale 0.5 y alcanza su valor máximo en c . Crece como una función sigmoideal entre los valores $c - b$ y c , y es decreciente entre c y $c + b$, como si se reflejara en la recta vertical que pasa por c (Scherer, 2012, p. 10). En el Anexo 4 se escribe desarrolladamente la parametrización de la función π , además de otras funciones con forma de campana. La figura 12 presenta un ejemplo de una gráfica de la función π .

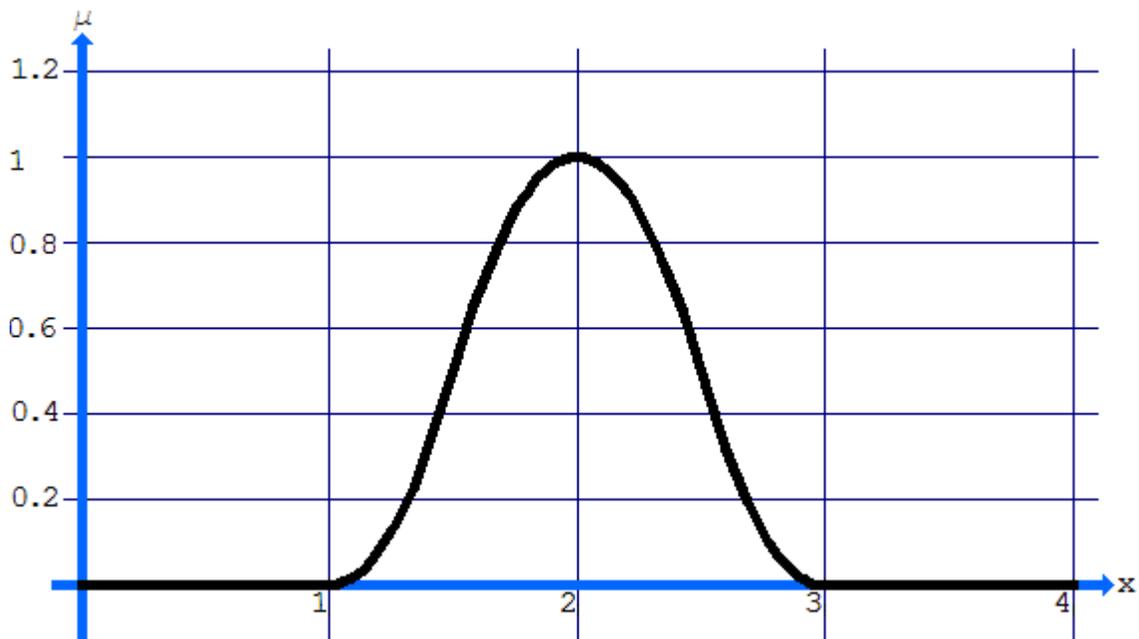


Figura 12. Gráfica de una función de pertenencia tipo π .

Fuente: Elaboración propia con base en Scherer (2012)

Como se puede ver en la figura 12, $x = b = 1$ y $x = c = 2$, el ancho de la gráfica en 0.5 y el valor máximo respectivamente. De modo que para valores menores a $x = c - b = 1$ y mayores $x = c + b = 3$, π

adquiere el valor de 0. Para $x = c - \frac{b}{2} = 1.5$ y $x = c - \frac{b}{2} = 2.5$ la función de pertenencia tiene el valor de 0.5. Crece entre $x = c - b = 1$ y $x = c = 2$, y decrece entre los valores $x = c = 2$ y $x = c + b = 3$.

Un ejemplo en el que se ilustra el uso de las funciones de pertenencia puede ser el tiempo de exposición a una intensidad de sonido de 87 dB como variable lingüística. Siendo 8 horas el tiempo máximo recomendado (Instituto Navarro de Salud Laboral [INSL], 2008, p. 33), el intervalo de 0 a 16 horas sería el universo de discurso y los valores lingüísticos serían breve, moderado, recomendado, considerable y demasiado. Para visualizar esta situación utilizando conjuntos difusos, se muestran las gráficas de las funciones de pertenencia de los valores lingüísticos en la figura 13.

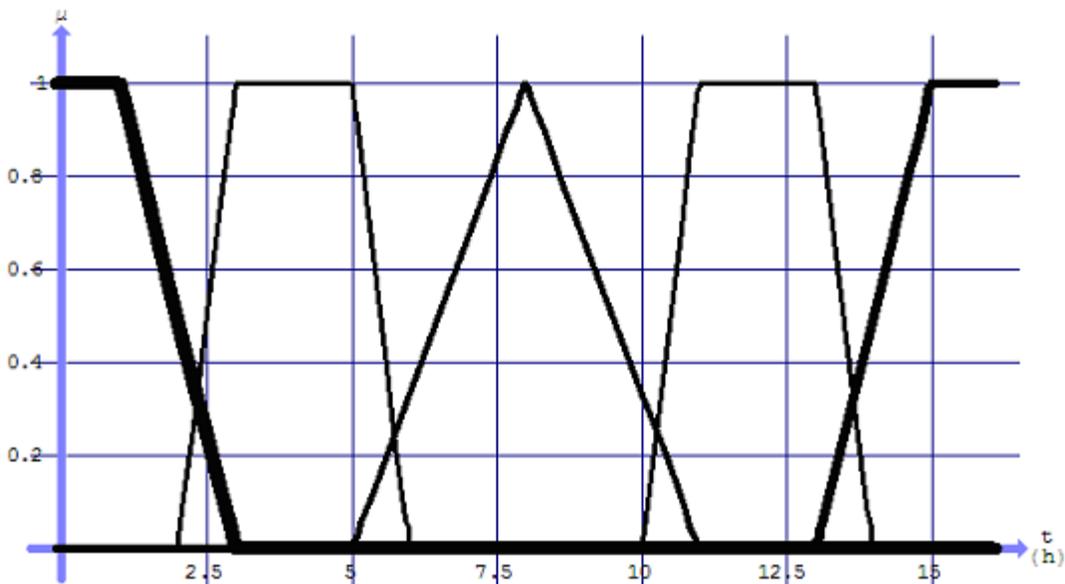


Figura 13. Gráficas de las funciones de pertenencia utilizadas para medir el tiempo límite de exposición a una intensidad de sonido de 87 dB.

Fuente: Elaboración propia con base en Solsona (1997)

En la esquina izquierda de la figura 13, con forma de L , se puede ver la función de pertenencia del valor lingüístico breve, $\mu_{Breve}(t)$; la siguiente función con forma de trapecio corresponde al valor moderado, $\mu_{Moderado}(t)$; la función de en medio con forma triangular está asociada al valor lingüístico máximo recomendado, $\mu_{MáxRecomendado}(t)$; la función de pertenencia de forma trapezoidal se relaciona con el valor excesivo, $\mu_{Excesivo}(t)$, y por último la función tipo γ se utiliza para representar al valor lingüístico demasiado, $\mu_{Demasiado}(t)$.

Las funciones de pertenencia tipo L y γ se utilizan cuando se va a representar un valor lingüístico en el extremo inferior y superior, y se pueden prolongar a menos y más infinito, respectivamente. La función de pertenencia triangular se utiliza cuando existe únicamente un valor representativo en el conjunto difuso y la trapezoidal en el caso en cual existe un intervalo de tolerancia alrededor del valor representativo (Solsona P. J., 1997).

2.3.4 Relaciones entre conjuntos difusos

En esta parte se presentan las definiciones de algunas relaciones entre conjuntos difusos.

Definición 2.4. El conjunto vacío difuso, denotado como $A = \emptyset$, es aquel cuya función de pertenencia es igual a cero, $\mu_A = 0$, para todo valor en el universo de discurso X (Zadeh, 1965, p. 340; Scherer, 2012, p. 12).

Definición 2.5. El conjunto difuso A es igual al conjunto difuso B , escrito como $A = B$, si y sólo si $\mu_A = \mu_B$ para todo valor $x \in X$ (Martín & Sanz, 2007, pp. 259; p. 12; Zadeh, 1965, p. 340). La figura 14 ilustra esta definición.

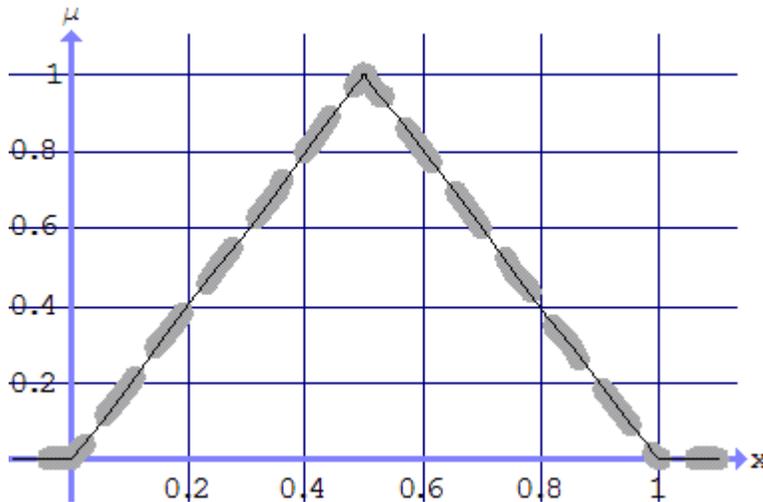


Figura 14. Gráfica de la igualdad entre dos conjuntos difusos.

Fuente: Elaboración propia con base en Scherer (2012)

La gráfica, de la figura 14, con línea continua, delgada y negra corresponde $\mu_A(x)$ y la que tiene una línea discontinua, gruesa y gris representa a $\mu_B(x)$. En esta figura se aprecia que las dos funciones de pertenencia coinciden en todos los puntos.

Definición 2.6. El conjunto difuso A está contenido en el conjunto difuso B , lo cual debe ser denotado por $A \subseteq B$, si y sólo si

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (2.13)$$

para toda $x \in X$ (Beg y Ashraf, 2010, p.6; Zadeh, 1965, p. 340). La figura 15 ilustra esta definición.

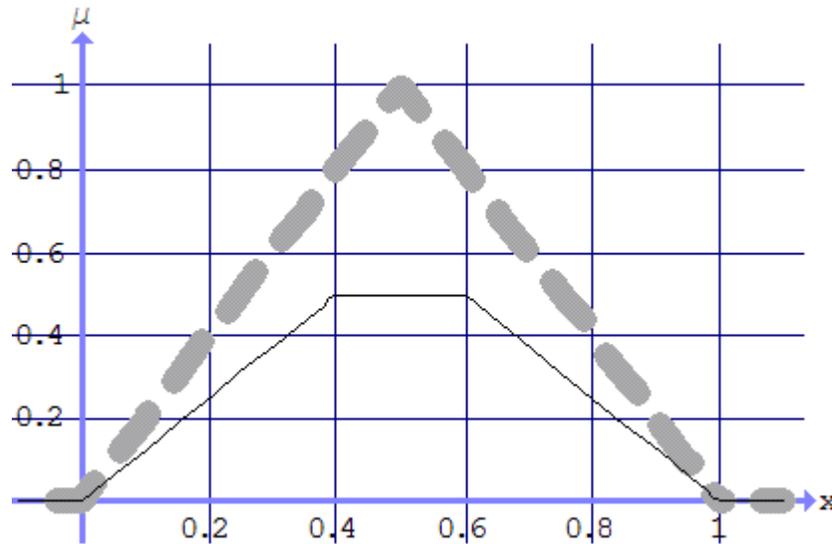


Figura 15. Gráfica de la contención entre dos conjuntos difusos.

Fuente: Elaboración propia con base en Zadeh (1965)

La gráfica, presentada en la figura 15, de $\mu_A(x)$ está elaborada con la línea continua, delgada y negra, y la de $\mu_B(x)$ con la línea discontinua, gruesa y gris. En figura se observa que la gráfica de $\mu_A(x)$ es menor o igual que la gráfica de $\mu_B(x)$ por lo tanto A es subconjunto difuso de B .

2.3.5 Operaciones sobre conjuntos difusos

Las operaciones sobre conjuntos difusos se aplican a sus funciones de pertenencia.

La función de pertenencia de A' , el complemento del conjunto difuso A , se obtiene con la siguiente ecuación

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.14)$$

(Scherer, 2012, p. 13; Zadeh, 1965, p. 340). También se puede denotar como A^c , \bar{A} ó \hat{A} . La figura 16 ayuda a visualizar como es $\mu_{A'}(x)$ respecto de $\mu_A(x)$.

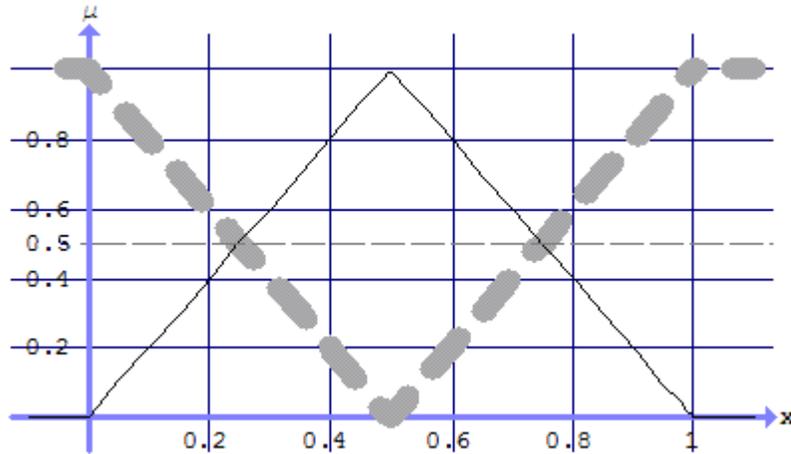


Figura 16. Gráfica del complemento de la función de pertenencia de A.

Fuente: Elaboración propia con base en Zadeh (1965) & Scherer (2012)

La gráfica de la función de pertenencia $\mu_A(x)$, en la figura 16, se representa con la línea continua delgada y negra, y la función de pertenencia del complemento, $\mu_{A^c}(x)$ con la línea discontinua, gruesa y gris. También se aprecia que $\mu_{A^c}(x)$ tiene valores opuestos a $\mu_A(x)$, como si se reflejara en la recta o función constante $\mu = 0.5$.

Para normalizar una función de pertenencia de un conjunto difuso A se tiene que dividir la función de pertenencia entre su valor máximo.

$$\mu_{Norma(A)}(x) = \frac{\mu_A(x)}{MÁX[\mu_A(x)]} \quad (2.15)$$

(Martín & Sanz, 2007, p. 259; Galindo, 2013, p. 13). En la figura 17 se puede ver cómo afecta la operación normalización a una función $\mu_A(x)$.

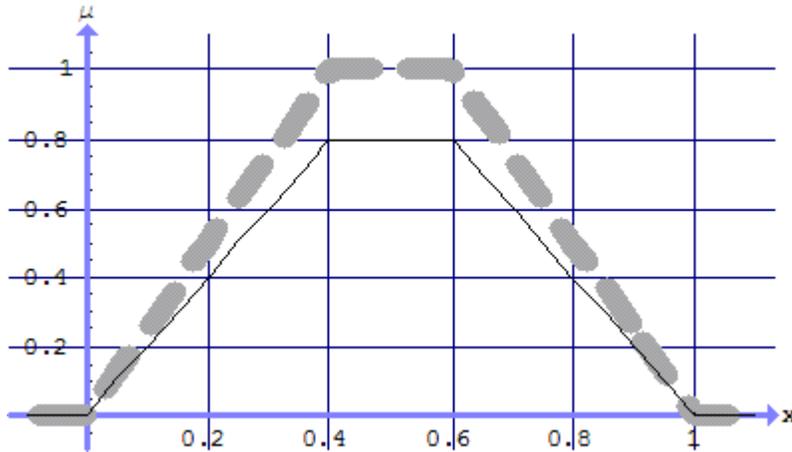


Figura 17. Gráfica de la función de pertenencia normalizada de A.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín & Sanz (2007) y Galindo (2013)

La gráfica, de la figura 17, hecha con la línea continua delgada y negra corresponde a $\mu_A(x)$, y la función de pertenencia normalizada, $\mu_{Norm(A)}(x)$, se trazó con la línea discontinua, gruesa y gris. En esta figura se puede ver que el máximo de $\mu_A(x)$ está en 0.8 y al normalizar la función llega hasta 1.

En el Anexo 2 se presentan otros dos tipos de operaciones sobre conjuntos difusos.

2.3.6 Operaciones entre conjuntos difusos

Se definen las mismas operaciones para los conjuntos difusos que para los nítidos, pero éstas se aplican a sus respectivas funciones de pertenencia.

Para definir la intersección entre conjuntos difusos se utiliza la función T llamada t-norma

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.16)$$

, también se llega a denotar como $\mu_A(x) \overset{T}{*} \mu_B(x)$, la cual se define como la función de dos variables

$$T: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1] \quad (2.17)$$

que cumple las propiedades de un monoide abeliano parcialmente ordenado en el intervalo $[0,1]$ (Ponce, 2010, p. 40):

i) es no decreciente respecto a sus dos argumentos

$$T(a,c) \leq T(b,d) \text{ para } a \leq b \text{ y } c \leq d \quad (2.18)$$

ii) satisface la conmutatividad

$$T(a,b) = T(b,a) \quad (2.19)$$

iii) cumple con la asociatividad

$$T(T(a,b),c) = T(a,T(b,c)) \quad (2.20)$$

iv) satisface la condición en la frontera

$$T(a,1) = a \quad (2.21)$$

donde $a, b, c, d \in [0,1]$.

Una propiedad que se deduce de las condiciones anteriores es

$$T(a,0) = 0 \quad (2.22)$$

(Scherer, 2012, pp. 14-15). La información que aporta la condición en la frontera, iv), y la última propiedad es que el valor más pequeño es el que toma la función en los límites superior e inferior de la segunda componente. En la tabla 2.1 se pueden ver algunos ejemplos de operaciones que cumplen las propiedades de t – norma. En la columna izquierda se presentan las ecuaciones de las operaciones, y en la derecha las gráficas para visualizar el efecto de la operación en las funciones de pertenencia. $\mu_A(x)$ es la función triangular del lado izquierdo y $\mu_B(x)$ la del lado derecho.

Tabla 1. Ejemplos de t – normas.

Parametrización	Gráfica
<p>Mínima</p> $\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ <p>(2.23)</p>	
<p>Producto</p> $\mu_A(x) \mu_B(x)$ <p>(2.24)</p>	
<p>Diferencia limitada</p> $\mu_A(x) * \mu_B(x)$ $= \text{MÁX}(0, \mu_A + \mu_B - 1)$ <p>(2.25)</p>	

Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007) p. 258, y Morrillas (2006) pp. 11, 15

También se define la operación unión para conjuntos difusos, pero esta será desarrollada en el Anexo 6, debido a que no será utilizada en este estudio.

2.3.7 Partición difusa

Se denomina partición a un conjunto de subconjuntos borrosos de X que se han definido para una cierta variable lingüística. Estos subconjuntos se crean con base en los valores lingüísticos (Martín & Sanz, 2007, p. 256).

Vale la pena recordar que los subconjuntos del conjunto universo X son los conjuntos a estudiar.

Una partición es completa si para cualquier valor de X existe en la partición un conjunto con función de pertenencia no nula. Es decir, los conjuntos definidos abarcan todo X , para que no haya espacios en donde coincidan los 0 de todas las funciones de pertenencia. La completitud es el porcentaje del universo de discusión en donde la función es no nula respecto al total de éste (Martín & Sanz, 2007, p. 256).

Dos conjuntos difusos están solapados si su intersección es distinta del vacío. El solapamiento de un conjunto difuso es el número de elementos compartidos en relación con el total número de sus elementos (Martín & Sanz, 2007, p. 256). Por estas definiciones se puede ver que los conjuntos difusos admiten particiones en donde dos conjuntos distintos pueden tener intersecciones no nulas, lo cual se ilustra en la figura 18.

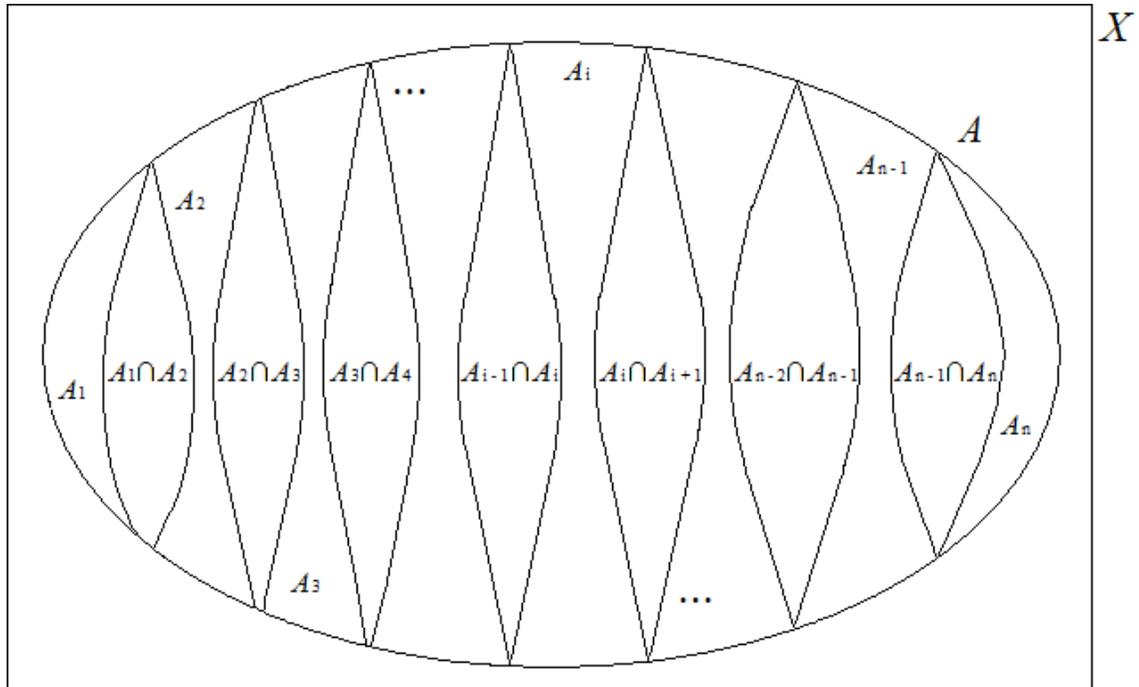


Figura 18. Imagen de un conjunto difuso particionado.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín & Sanz (2007)

En la figura 18 se aprecia cómo en un conjunto difuso la partición permite la intersección entre conjuntos.

2.3.8 Relación difusa

Una relación difusa es un conjunto difuso sobre un producto cartesiano o un subconjunto de este producto:

$$R = \{((x,y), \mu_R(x)) \mid (x,y) \in X \times Y \}. \quad (2.26)$$

En donde

$$\mu_R: X \times Y \rightarrow [0,1] \quad (2.27)$$

es la función de pertenencia (Zimmermann, 2010, pp. 322).

2.4 Centro de masas

En esta sección se expone el concepto llamado centro de masas de un conjunto de partículas, proveniente de la física. Este concepto se puede encontrar en cualquier libro de física, en particular se consultó Resnick y Halliday, 1984, pp. 173-175, para concebir la presente sección. Esta exposición ayudará a comprender mejor el concepto de tendencia de opinión, el cual se define en el capítulo de método y sirve para determinar el punto del universo de discurso, que le corresponde a un indicador.

El centro de masas de un sistema de partículas es el punto que se mueve de la misma forma que lo haría una partícula a la cual se le aplican las mismas fuerzas externas, sin importar que éstas giren o vibren.

2.4.1 Centro de masas de un sistema de partículas sobre una línea recta

Para un sistema compuesto por dos partículas m_1 y m_2 con sus respectivas distancias x_1 y x_2 , medidas desde el origen. Se define el centro de masas, C , por medio de la distancia x_{cm} al origen como

$$x_{cm} = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} \right) x_1 + \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right) x_2 = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}, \quad (2.28)$$

ver figura 19, la cual cumple la propiedad de que al multiplicarla por la masa total del conjunto de partículas $M (= m_1 + m_2)$ es igual a la suma del producto de las masas de cada partícula por sus respectivas distancias al origen

$$M x_{cm} = m_1 x_1 + m_2 x_2 \quad (2.29)$$

en conclusión x_{cm} es el promedio de la distancia pesada por la masa de cada una de las partículas del sistema.

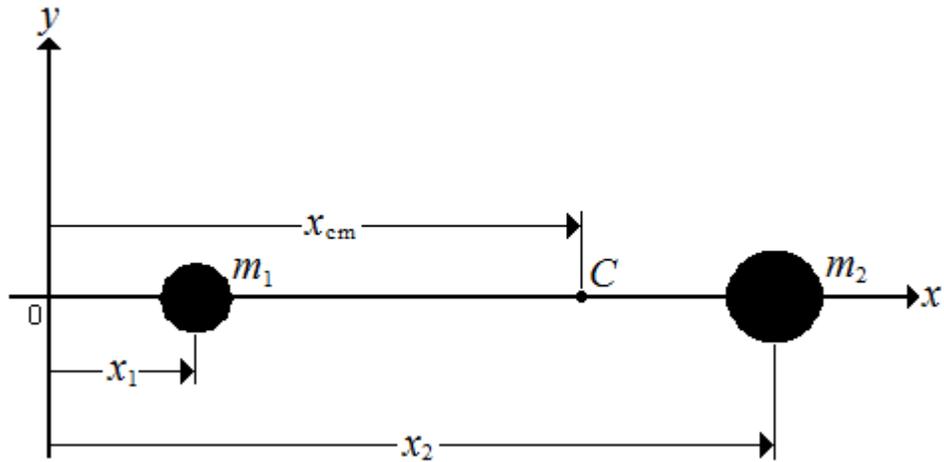


Figura 19. Centro de masas de dos partículas en una dimensión.

Fuente: Resnick & Halliday (1984)

En la figura 19 se muestran dos partículas, con masas m_1 y m_2 respectivamente, sobre el eje x y su centro de masas C , a una distancia x_{cm} del origen.

En el caso de n partículas con masas m_1, m_2, \dots, m_n distribuidas sobre una línea recta, el centro de masas se obtiene con la ecuación

$$x_{cm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{M}, \quad (2.30)$$

en donde la masa total de las partículas $M = \sum_{i=1}^n m_i$ se representa con la letra M (Resnick & Halliday, 1984).

2.4.2 Centro de masas de un conjunto de partículas en un plano

Si se tienen tres partículas que se encuentran en un plano, como se muestra en la figura 20, se define el centro de masas C , por las coordenadas x_{cm} y y_{cm} , que tienen las ecuaciones

$$x_{cm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{M} \quad (2.31)$$

$$y_{cm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{M} \quad (2.32)$$

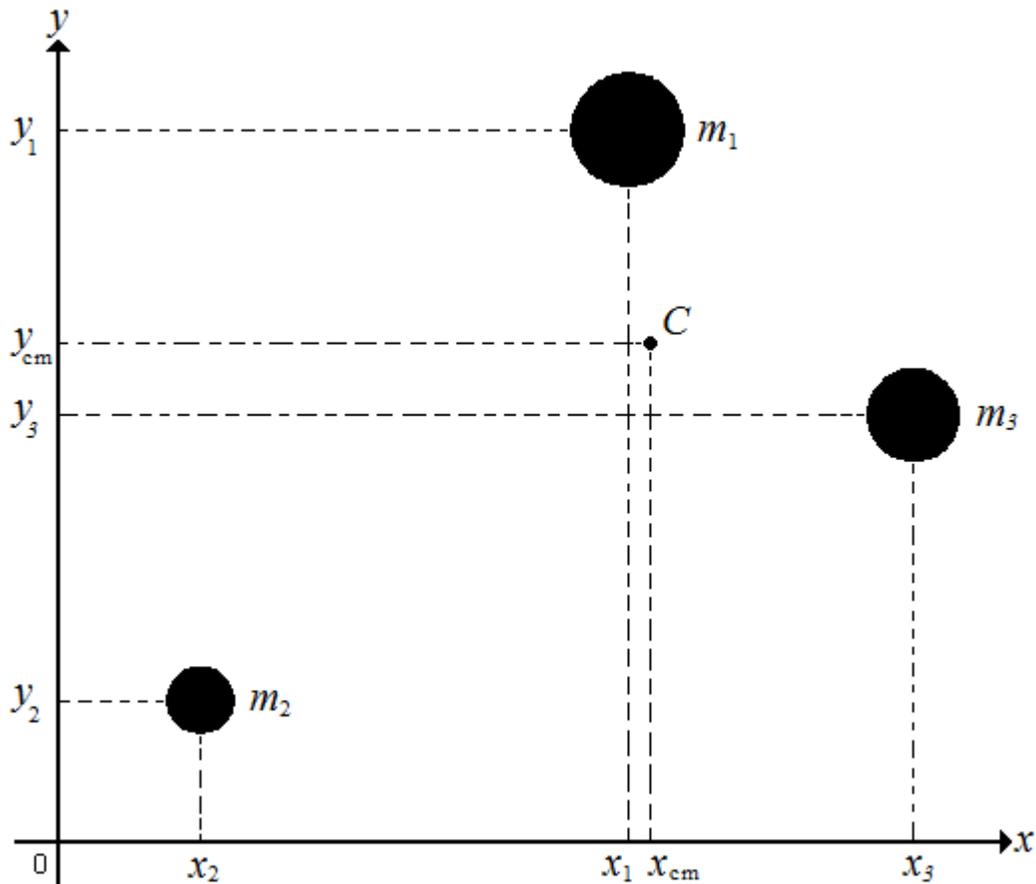


Figura 20. Centro de masas de tres partículas en dos dimensiones.

Fuente: Resnick & Halliday (1984)

En la figura 20 se muestran tres partículas, con masas m_1 , m_2 y m_3 en el plano cartesiano, y su centro de masas C , con coordenadas x_{cm} y y_{cm} .

Para el caso de n partículas en un plano, las componentes del centro de masas C se determinan por las ecuaciones siguientes

$$x_{cm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad (2.33)$$

$$y_{cm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i y_i . \quad (2.34)$$

2.5 Estado del arte

En esta sección se presenta un poco de la teoría general que se utiliza para hacer clasificaciones o diagnósticos utilizando conjuntos difusos y cómo se codifican comúnmente las respuestas de una encuesta.

Los conjuntos difusos se pueden utilizar para clasificar patrones, procesar información (Zadeh, 1965) y al unirlos con sistemas expertos también se puede controlar dispositivos, hacer diagnósticos, tomar decisiones o determinar alguna situación. Estos sistemas expertos utilizan reglas de la forma Si...ENTONCES... con un conjunto de variables lingüísticas en el antecedente y el consecuente. Lo que hacen los conjuntos difusos es matizar estas variables dividiéndolas en dos o más valores lingüísticos, los cuales tienen sus respectivas funciones de pertenencia. Para la variable lingüística del consecuente se tiene que determinar un valor en su universo de discurso utilizando una expresión de nitidización:

$$\sum_{i=1}^n y_i \mu_i (y_i) / \sum_{i=1}^n \mu_i (y_i) , \text{ donde las } \mu_i (y_i) \text{ son las funciones de pertenencia del consecuente}$$

truncadas por los mínimos de las funciones de pertenencia del antecedente, evaluadas en los datos de entrada del sistema experto y los y_i son los puntos del universo de discurso que coinciden con los vértices de las funciones de pertenencia del consecuente (Martín y Sanz, 2007).

Es difícil y poco preciso definir un conjunto de variables cuantitativas para clasificar indicadores, ya que éstos se describen con palabras. Por esta razón nosotros se decidió que, en vez de proponer un conjunto de variables en el antecedente, se consultaría a expertos para poder determinar una situación en el consecuente que clasificará al indicador. De esta manera, sólo se trabajó sobre la variable lingüística del consecuente, la sostenibilidad, y sus valores lingüísticos, los aspectos económico, social y ambiental.

En la literatura, comúnmente se codifican las respuestas de una encuesta utilizando una escala Lickert, la cual es lineal, de modo que se le asigna un número a cada opción de respuesta para distinguir entre dos variables cualitativas distintas u opuestas (Briones, 2012).

Se utilizaron puntos en el plano para asignar valores a cada una de las opciones de respuesta en la encuesta. Esto tiene como ventaja que se puede contemplar la intersección entre 2 y 3 aspectos, ya que, si utilizáramos puntos en una recta, sólo se podrían contemplar las intersecciones entre dos aspectos. Después de obtener las opiniones de los expertos, se evaluaron los promedios pesados de las coordenadas correspondientes a las respuestas en las funciones de pertenencia para obtener el grado de pertenencia del indicador a cada uno de los aspectos de la sostenibilidad y sus posibles mezclas. Éste estará representado por la altura de la función de pertenencia. Aunque en algunos artículos ya se manejaba la idea de que un mismo indicador podía contemplar dos o tres aspectos de la sostenibilidad, por ejemplo (Tanguay, 2009), no se utilizaban relaciones difusas para saber qué tanto pertenecía el indicador a cada aspecto.

Ahora que ya se vio la teoría que se utilizó para crear nuestro método se describe cómo se construyó en el capítulo tres.

3. Método propuesto

En este capítulo se describe el método propuesto para clasificar cuantitativamente indicadores de producción sostenible, en donde el universo de discurso es la sostenibilidad y las variables lingüísticas, interrelacionadas, son los pilares económico, social y ambiental.

3.1 Instrumento de recolección de datos

3.1.1 Estructura del instrumento

Como todo instrumento de recolección de datos, éste debe llevar una presentación, mediante la cual se solicita apoyo de las personas que proporcionarán los datos y se explica lo que se pretende lograr con el trabajo de investigación; las instrucciones, las cuales nos indican la manera correcta de contestar los reactivos y se caracterizan por ser claras y precisas; el área de información general, en donde se ubican los datos particulares de las personas que contestarán la encuesta; y las áreas específicas de medición, que consiste en el conjunto de reactivos o preguntas que se utilizarán para realizar las mediciones sobre el fenómeno que se va a estudiar (Martínez L. P., 2011, pp. 47, 64, 66). En particular en este caso se tiene que contextualizar la sostenibilidad y sus pilares antes de pasar al área de información general, para que la persona que va a contestar la encuesta se identifique con alguno de los tres tipos de expertos requeridos.

3.1.2 Área de medición específica

Para crear la encuesta se eligió que las preguntas fueran cerradas tricotómicas, es decir que solamente tienen tres opciones de respuesta (Muñoz R. C., 2011, p. 228), ya que los indicadores de producción sostenible comúnmente están agrupados en los aspectos económico, social y ambiental. Se quiere que los expertos identifiquen a qué dimensión de la sostenibilidad tiene mayor tendencia cada indicador y

posteriormente se cuantifica esta tendencia utilizando relaciones difusas. Además, se presentan con una numeración así que hay que desordenar aleatoriamente los indicadores, de tal manera que no se vea un patrón de respuesta respecto a los pilares. Ya que si se presentan muy juntos se agruparán y se inferirá que todos pertenecen al mismo aspecto, según la segunda ley de organización perceptual de la Gestalt (ley de la proximidad) (Bower & Hilgard, 2014, pp. 379-380), de la sostenibilidad. Luego se colocan en lista para presentarse en la encuesta, figura 21.

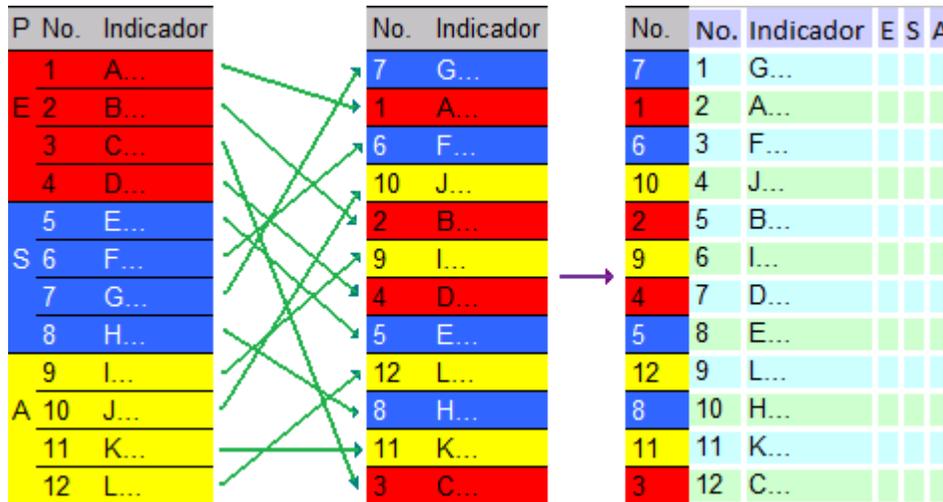


Figura 21. Desorden aleatorio de indicadores de sostenibilidad y creación de lista de preguntas.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la primer tabla, la de la izquierda, en la figura 21 se muestra el orden, a grandes rasgos, en el que se presentan los indicadores de producción sostenible en el documento de donde se obtienen; en la segunda, la de en medio, se muestra cómo podrían quedar los indicadores, si se desordenan aleatoriamente; y en la tercer tabla se puede ver el orden original de los indicadores en la primer columna (esta columna no se mostrará en la encuesta solamente se presenta para ilustrar que los indicadores están desordenados) en la segunda columna se puede ver la numeración ascendente asignada a los indicadores que tienen un orden distinto al original, y las tres últimas columnas tienen los espacios para indicar si el indicador es económico (E) social (S) o ambiental (A).

3.1.3 Selección de los expertos

Los expertos deben de ser personas especialistas en alguno de los temas ambiental, social y económico, pero no deben conocer los indicadores que se presentan en la encuesta, debido a que si los conocieran entonces estarían prejuiciados, porque ya los vieron, y al contestar, inconscientemente, recordarían como estaban ordenados los indicadores en vez de dar su opinión pura. Pueden conocer otros indicadores de sostenibilidad. Tiene que elegirse la misma cantidad de expertos para cada pilar de la sostenibilidad. Por ejemplo, si en total son 30 expertos entonces se encuestarán a 10 especialistas de las ciencias ambientales, 10 conocedores del campo de la sociología y 10 expertos en economía. Cabe mencionar que no fueron requeridos “stakeholders”, es decir, personas que afectan o son afectadas (Sánchez, 2003) en este caso por los indicadores, sino que se solicitará ayuda a expertos, ya que nuestro objetivo no es tomar una decisión acerca de qué indicadores usar, sino saber qué tan bien clasificados están los indicadores. Pueden participar stakeholders sólo en el caso de que haya inconformidad cuando se seleccionan cierto tipo de indicadores.

3.2 Ecuaciones para la codificación de los datos

3.2.1 Región de sostenibilidad

Si se intentara definir la sostenibilidad como variable lingüística, con universo de discurso en una dimensión espacial, los pilares económico, social y ambiental como valores lingüísticos, figura 22, y se promediara la opinión de los expertos para determinar cuál es el valor de sostenibilidad de un indicador y de esta forma saber en qué pilar o pilares se ubicaría, se obtendrían ciertas incongruencias. Por ejemplo, si se hiciera la encuesta para un indicador con treinta expertos en donde quince opinaran que el indicador es económico, al cual le corresponde un valor de 0.5 en el universo de discurso, y los otros quince que es ambiental, 2.5, el promedio ponderado daría un valor de 1.5, al cual le corresponde un valor de pertenencia 1 para el valor lingüístico social, mientras que debería dar una mezcla de aspectos económico y ambiental. Además, no hay una región que considere la triple intersección $E \cap S \cap A$.

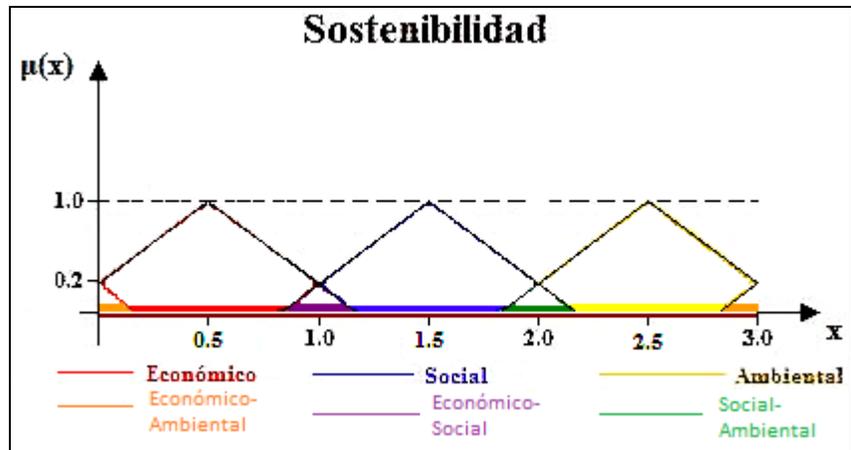


Figura 22. Funciones de pertenencia, $\mu(x)$, de los aspectos de la sostenibilidad definidas en una dimensión.

Fuente: Elaboración propia (2015)

En la figura 22 la gráfica de la función de pertenencia para la dimensión económica se encuentra a la izquierda, en medio está la correspondiente al pilar social y a la derecha está la función asignada al aspecto ambiental. Éstas alcanzan su máximo, 1, para los valores 0.5, 1.5 y 2.5, respectivamente, del universo de discurso. Sólo se contempla la intersección entre dos aspectos.

El concepto de sostenibilidad tiene como componentes los aspectos económico, social y ambiental, y aunque son áreas distintas del conocimiento humano, cada indicador puede contener algo de estas tres dimensiones, de dos de ellas o sólo de una. Por esto es importante cuantificar el grado de pertenencia del indicador a cada una de ellas.

Para procesar la información obtenida de las encuestas se define el universo de discurso, que tiene como variable lingüística la sostenibilidad, en un triángulo sobre el plano Cartesiano. Para eso, se utiliza un triángulo equilátero, ver figura 23. Se definen las ecuaciones de las desigualdades que delimitan la región de sostenibilidad en el plano como:

$$y \leq 2 \tag{3.1}$$

$$-\sqrt{3}x - 4 \leq y \tag{3.2}$$

y

$$\sqrt{3}x - 4 \leq y \tag{3.3}$$

La región que delimita el aspecto económico está dada por las ecuaciones (3.1), (3.2) y

$$(x + 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2 \leq 21; \tag{3.4}$$

el área que representa al aspecto social está acotada por las ecuaciones (3.1), (3.3) y

$$(x - 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2 \leq 21; \tag{3.5}$$

y, por último, la zona del aspecto ambiental está definida por (3.2), (3.3) y

$$x^2 + (y + 4)^2 \leq 21. \tag{3.6}$$

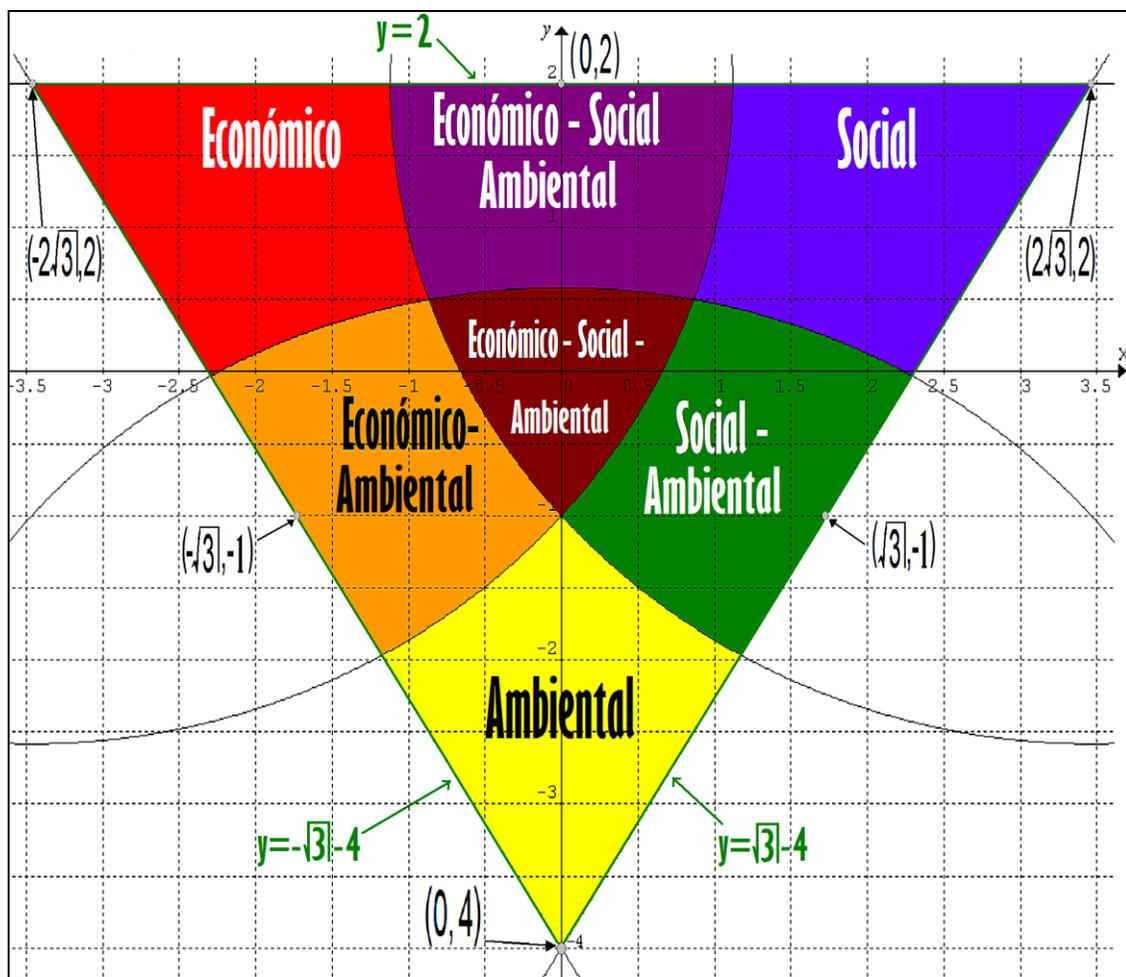


Figura 23. La región de sostenibilidad definida en el plano Cartesiano dentro de un triángulo equilátero.

Fuente: Elaboración propia (2015)

En la figura 23, la región del universo de discurso que pertenece al aspecto económico está en la esquina superior izquierda, de color rojo, en la esquina derecha está el área que corresponde al aspecto social, de azul, y en la esquina inferior está el ambiental, de amarillo. Entre estas zonas se encuentran las áreas económica-social, de púrpura, económica- ambiental, de color anaranjado y la social-ambiental, de verde, y por último en el centro la zona económica-social-ambiental de café.

Los radios de estos círculos fueron asignados de tal manera que si 66.66% de los expertos está de acuerdo que el indicador pertenece a un aspecto puro y el otro 33.33% piensa que pertenece a otro, el modelo da preferencia al 66.66%, sin colocar al indicador en un aspecto mezclado. Las regiones así definidas dividen en siete partes la superficie de sostenibilidad, la cual será el dominio de todas las funciones de pertenencia que serán definidas.

3.2.2 Relación respuesta - coordenada

La selección de un aspecto, en la respuesta de la encuesta, será representada en el universo de discurso por un punto que se ubicará en un vértice de un triángulo equilátero. El aspecto económico puro será representado por $e = (e_x, e_y)$, el social por $s = (s_x, s_y)$ y el ambiental por $a = (a_x, a_y)$. Estos puntos son los vértices de un triángulo equilátero. Debido a que algunos de los expertos encuestados eligieron más de una respuesta, se consideraron los siguientes puntos para su codificación: se asignará el punto $es = (es_x, es_y)$ al escoger los aspectos económico y social; si se eligen los aspectos económico y ambiental, le corresponderán las coordenadas $ea = (ea_x, ea_y)$; si se escogen los aspectos social y ambiental, el punto $sa = (sa_x, sa_y)$ representará a la respuesta y si se escogen los 3 aspectos, el punto correspondiente será $esa = (esa_x, esa_y)$. A todos los puntos mencionados les corresponde el máximo de su función de pertenencia, la cual será definida en la sección 3.3.1. Para darle valores fijos a estas coordenadas, se creó la tabla 3.1. En la figura 24 se muestra un ejemplo de cómo se codifican las respuestas dadas por los expertos en el área de medición de un instrumento de recolección de datos con 12 indicadores. En el Anexo 8 presentamos algunos criterios para calcular el presupuesto para realizar una encuesta.

Tabla 2. *Tabla de codificación de la variable sostenibilidad según el tipo de respuestas obtenidas en el instrumento de recolección de datos para cada indicador.*

Variable Lingüística		
Sostenibilidad		
Número de aspectos elegidos	Aspectos (Valores Lingüísticos) elegidos	Codificación
1	Económico	$e = (-2\sqrt{3}, 2)$
1	Social	$s = (2\sqrt{3}, 2)$
1	Ambiental	$a = (0, -4)$
2	Económico - Social	$es = \frac{1}{2}e + \frac{1}{2}s = (0, 2)$
2	Económico - Ambiental	$ea = \frac{1}{2}e + \frac{1}{2}a = (-\sqrt{3}, -1)$
2	Social - Ambiental	$sa = \frac{1}{2}s + \frac{1}{2}a = (\sqrt{3}, -1)$
3	Económico - Social - Ambiental	$esa = \frac{1}{3}e + \frac{1}{3}s + \frac{1}{3}a = (0, 0)$

Fuente: Elaboración propia (2016)

No.	Indicador	E	S	A
1	G...	x		
2	A...	x		x
3	F...		x	
4	J...	x	x	x
5	B...			x
6	I...		x	
7	D...	x	x	
8	E...			x
9	L...		x	
10	H...		x	
11	K...	x	x	x
12	C...		x	x



No.	Indicador	E	S	A
1	G...	1		
2	A...	1/2		1/2
3	F...		1	
4	J...	1/3	1/3	1/3
5	B...			1
6	I...		1	
7	D...	1/2	1/2	
8	E...			1
9	L...		1	
10	H...		1	
11	K...	1/3	1/3	1/3
12	C...		1/2	1/2

Figura 24. Ejemplo de los valores de los datos obtenidos según el tipo de respuestas que proporcionan los expertos en donde el área de medición cuenta con 12 indicadores.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la tabla de la izquierda de la figura 24 se presenta la forma en que se llena el cuestionario y en la de la derecha los valores que se le asignan dependiendo del número de respuestas que elijan.

3.2.3 Tendencia de opinión

Para cada indicador b , se define la tendencia de opinión $t_b = (t_{bx}, t_{by})$ como un centro de masa o promedio pesado en dos dimensiones. La componente x , t_{bx} , de la tendencia de opinión del b -ésimo indicador se define como:

$$t_{bx} = \frac{n_{b_e}e_x + n_{b_s}s_x + n_{b_a}a_x + n_{b_{es}}es_x + n_{b_{ea}}ea_x + n_{b_{sa}}sa_x + n_{b_{esa}}esa_x}{3n}, \quad (3.7)$$

donde, para el b -ésimo indicador, n_{b_e} , n_{b_s} y n_{b_a} son los números de expertos que seleccionaron únicamente el aspecto económico, social o ambiental, respectivamente. $n_{b_{es}}$, $n_{b_{ea}}$, $n_{b_{sa}}$ y $n_{b_{esa}}$ son los números de expertos que seleccionaron dos o más respuestas. n es el número de expertos para cada aspecto de la sostenibilidad, de modo que $3n$ es el número total de expertos. La componente t_{by} se define de manera análoga, reemplazando x por y :

$$t_{by} = \frac{n_{b_e}e_y + n_{b_s}s_y + n_{b_a}a_y + n_{b_{es}}es_y + n_{b_{ea}}ea_y + n_{b_{sa}}sa_y + n_{b_{esa}}esa_y}{3n}. \quad (3.8)$$

Es pertinente mencionar que al definir la tendencia de opinión como un promedio pesado se están considerando las opiniones de todos los expertos, y por lo tanto no necesariamente tienen que caer en alguno de los 7 puntos presentados en la tabla 3.1, i. e., el punto puede estar en cualquier región de la sostenibilidad según el número de expertos y sus respuestas. De modo que la tendencia de opinión para el *b*-ésimo indicador, es

$$t_b = (t_{bx}, t_{by}). \quad (3.9)$$

Después de que son contestadas las encuestas, se organizan los indicadores como lo estaban en el documento original, con sus respectivas respuestas y se calcula la tendencia de opinión, figura 25.

No.	Experto 1						Experto 2						Experto 3n						Tendencia de opinión	
	ex	ey	sx	sy	ax	ay	ex	ey	sx	sy	ax	Ay	ex	ey	sx	sy	ax	ay	tx	ty
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				

↑ ↑
(3.7) (3.8)

Figura 25. Tabla para organizar las respuestas y calcular la tendencia de opinión.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la primera columna de la figura 25 se encuentra el número del indicador, las siguientes se van separando por grupos de seis de modo que a cada grupo se le asigna un experto y a cada dos columnas de este grupo se les asigna la componente x y y de un aspecto de la sostenibilidad, las cuales serán determinadas según la respuesta dada por el experto. En la penúltima y última columna se utilizaron las ecuaciones (3.7) y (3.8) para calcular la tendencia de opinión.

3.3 Ecuaciones para la obtención de información

3.3.1 Funciones de pertenencia propuestas

Ahora que se obtuvieron las ecuaciones para determinar el punto en la región del universo de discurso, la sostenibilidad, en donde se encuentran nuestros indicadores se tiene que calcular qué tanto pertenece el indicador a cada uno de los pilares de la sostenibilidad. Para eso, se proponen funciones de pertenencia cónicas, para el universo de discurso que se encuentra en una región del plano, lo cual es equivalente a la función de pertenencia triangular que se utiliza cuando el universo de discurso está en un segmento de recta. Estas funciones le darán un peso a cada punto del universo de discurso para saber en qué región del aspecto de la sostenibilidad se encuentra el indicador y qué tanto pertenece a esta, según la opinión de los expertos.

Cabe aclarar que no se utilizarán los conjuntos difusos para matizar los conceptos para tomar decisiones como en un sistema experto, sino que se van a usar para cuantificar qué tanto pertenece un indicador a cada una de las dimensiones de la sostenibilidad o a alguna de sus mezclas.

También es pertinente mencionar que las funciones de pertenencia no tomarán valores fuera de la región de sostenibilidad, debido a la convexidad de ésta y la forma como se calcula la tendencia de opinión, como centro de masa en dos dimensiones; siendo que el centro de masas de un polígono convexo siempre está dentro de la región de éste (Caviness, Atwood & Wagon, 2010).

Se presenta a continuación la ecuación de la función de pertenencia para el aspecto económico de la sostenibilidad:

$$\mu_E(x, y) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{(x + 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2} & \text{si } (x + 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2 \leq 21 \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases} \quad (3.10)$$

La gráfica de esta función se muestra en la figura 26.

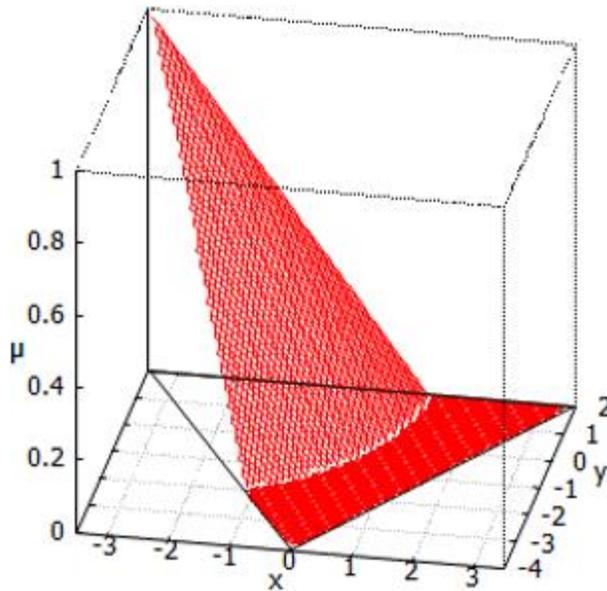


Figura 26. Función de pertenencia para el aspecto económico.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 26 la región triangular en la base de la gráfica representa gráficamente al universo de discurso, de la variable lingüística sostenibilidad. También se presenta de color rojo la gráfica de la superficie semicónica que es la función de pertenencia para el pilar económico. Ésta presenta su valor máximo, 1, al evaluarla en el punto $e = (-2\sqrt{3}, 2)$ del universo de discurso. Conforme se acerca al centro o a los otros vértices del triángulo disminuye su valor hasta llegar a 0, en los límites de la región presentada en la primera rama de la función de pertenencia, ecuación 3.10.

La ecuación de la función de pertenencia para el pilar social de la sostenibilidad es:

$$\mu_s(x, y) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{(x - 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2} & \text{si } (x - 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2 \leq 21 \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases} \quad (3.11)$$

En la figura 27 se presenta la gráfica de esta función.

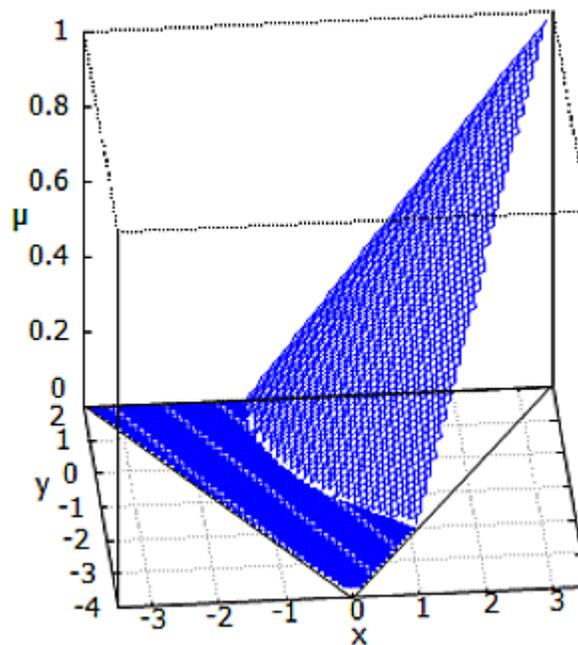


Figura 27. Función de pertenencia para el pilar social.

Fuente: Elaboración propia (2016)

La zona delimitada por un triángulo en la base de la gráfica de la figura 27 es el universo de discurso, que tiene como variable lingüística la sostenibilidad. Además, se muestra de color azul la gráfica de la superficie con forma de segmento de cono la cual representa la función de pertenencia para el aspecto social. Ésta tiene su valor más grande, 1, al ser evaluada en el punto $s = (2\sqrt{3}, 2)$, de la región de sostenibilidad. Mientras más se acerca a los otros vértices o al centro del triángulo de sostenibilidad

su valor va disminuyendo hasta 0, en la frontera de la zona definida en la primera condición de la función de pertenencia, μ_s , ecuación 3.11.

La ecuación que define la función de pertenencia para la dimensión ambiental es:

$$\mu_A(x, y) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{x^2 + (y+4)^2} & \text{si } x^2 + (y+4)^2 \leq 21 \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases} \quad (3.12)$$

y su gráfica se muestra en la figura 28.

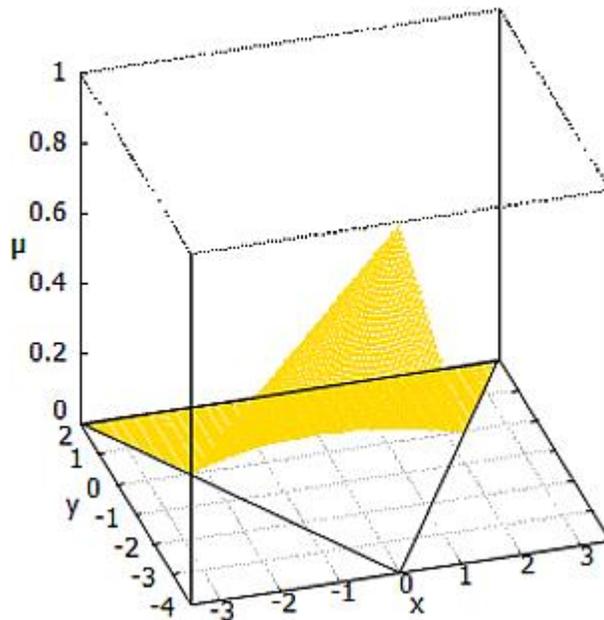


Figura 28. Función de pertenencia para la dimensión ambiental de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

La superficie triangular bajo la gráfica, en la figura 28, es el universo de discurso correspondiente a la variable lingüística sostenibilidad. Y de color amarillo se presenta la gráfica de la superficie semicónica que es la función de pertenencia para el pilar ambiental. Ésta presenta su valor máximo, 1, en el punto $a = (0, -4)$ del universo de discurso. Conforme se acerca al centro o a los vértices de las otras funciones de pertenencia disminuye su valor hasta llegar a 0, en los límites de la región presentada en la primera rama de la función de pertenencia, ecuación 3.10.

En la figura 29 se presenta la gráfica de las tres funciones de pertenencia para los aspectos puros, rotadas en dos distintos ángulos para poner en evidencia diferentes perspectivas de la misma figura.

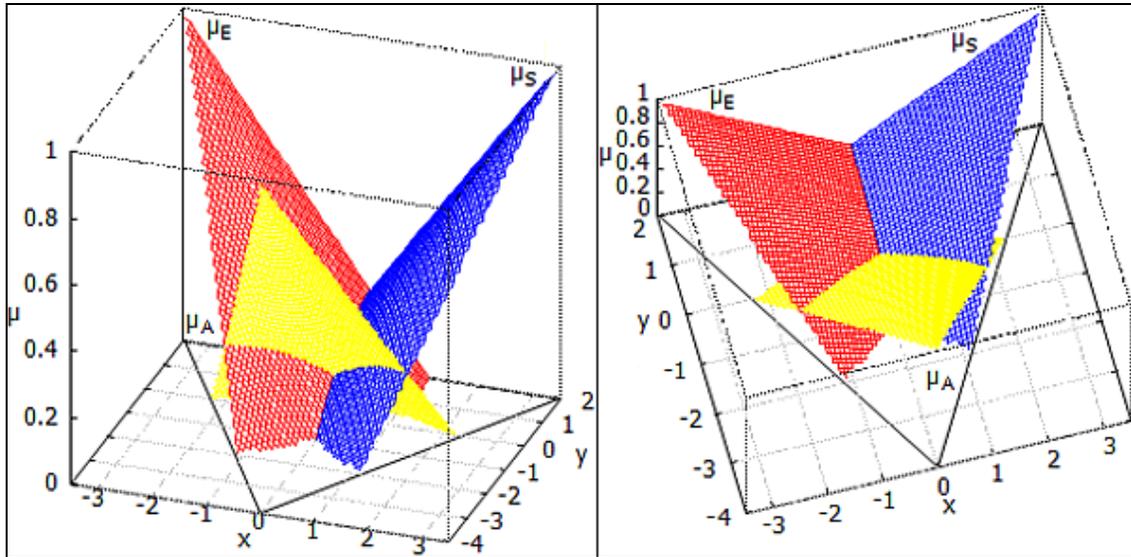


Figura 29. Funciones de pertenencia para los aspectos puros —económico, social y ambiental— de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

La figura 29 presenta en la esquina superior izquierda, de color rojo, la función de pertenencia del aspecto económico de la sostenibilidad, en el lado derecho se observa la función de pertenencia del aspecto social, en azul, y finalmente, inclinada hacia nuestra derecha se encuentra la función de pertenencia del aspecto ambiental, de amarillo. Abajo de las funciones de pertenencia está la región de sostenibilidad delimitada por un triángulo rectángulo.

Se presenta a continuación la ecuación de la función de pertenencia para la intersección de los aspectos económico y social de la sostenibilidad:

$$\mu_{E \cap S}(x, y) = \begin{cases} \min\left(1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{(x+2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2}, 1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{(x-2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2}\right) & \text{si } (x+2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2 \leq 21 \quad \text{y} \quad (x-2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2 \leq 21 \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases} \quad (3.13)$$

La gráfica de esta función se muestra en la figura 30.

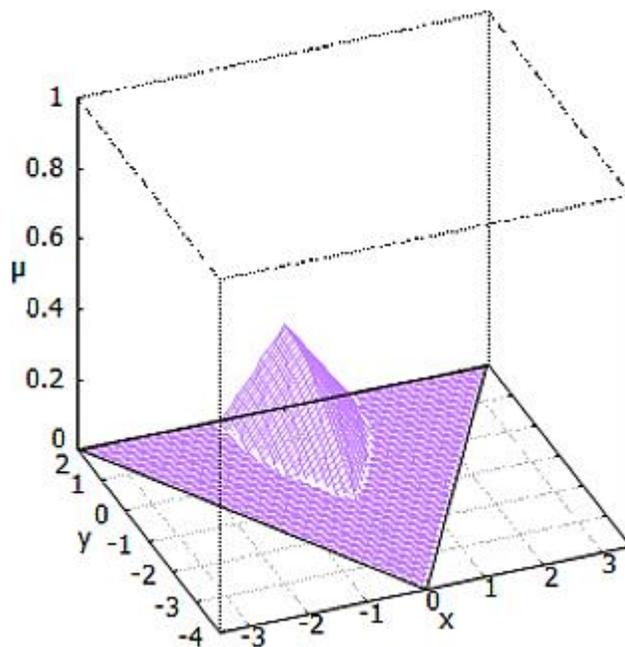


Figura 30. Función de pertenencia para el aspecto mezclado de la sostenibilidad, económico-social.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 30, se presenta, de color púrpura, la gráfica de la superficie que es la función de pertenencia para el pilar económico-social, ésta presenta su valor máximo, $1 - \frac{\sqrt{12}}{\sqrt{21}} \approx 0.2441$, en el punto $es = (0,2)$, en el universo de discurso. Conforme se acerca a los otros vértices disminuye su valor hasta llegar a 0.

La ecuación de la función de pertenencia para el pilar económico- ambiental de la sostenibilidad es:

$$\mu_{E \cap A}(x, y) = \begin{cases} \min \left(1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{(x+2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2}, 1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{x^2 + (y+4)^2} \right) & \text{si } (x+2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2 \leq 21 \quad \text{y} \quad x^2 + (y+4)^2 \leq 21 \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases} \quad (3.14)$$

En la figura 31 se presenta la gráfica de esta función.

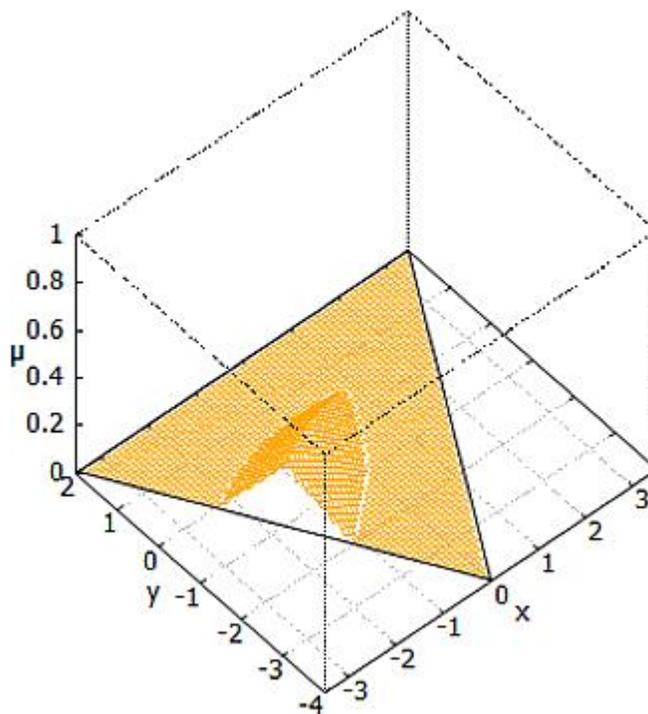


Figura 31. Función de pertenencia para el aspecto, mezclado, económico-ambiental de la sostenibilidad.
Fuente: Elaboración propia (2016)

Se muestra de color anaranjado la gráfica de la superficie que representa la función de pertenencia para el aspecto económico-ambiental, en la figura 31, ésta tiene su valor más grande, $1 - \frac{\sqrt{12}}{\sqrt{21}} \approx 0.2441$, en el punto $ea = (-\sqrt{3}, -1)$. Mientras más se acerca a los otros vértices o al centro del triángulo de sostenibilidad su valor va disminuyendo hasta llegar a 0.

La ecuación que define la función de pertenencia para la dimensión mezclada social ambiental es:

$$\mu_{S \cap A}(x, y) = \begin{cases} \min\left(1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{(x + 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2}, 1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{x^2 + (y + 4)^2}\right) & \text{si } (x + 2\sqrt{3})^2 + (y - 2)^2 \leq 21 \quad \text{y} \quad x^2 + (y + 4)^2 \leq 21 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (3.15)$$

y su gráfica se muestra en la figura 32.

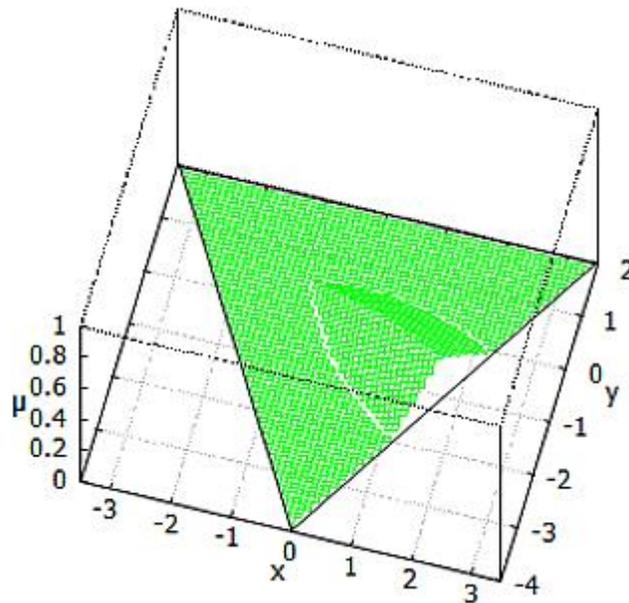


Figura 32. Función de pertenencia para el aspecto social-ambiental de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 32, de color verde se presenta la gráfica de la superficie que es la función de pertenencia para el pilar social-ambiental, ésta presenta su valor máximo, $1 - \frac{\sqrt{12}}{\sqrt{21}} \approx 0.2441$, en el punto $sa = (\sqrt{3}, -1)$. Conforme se acerca al centro o a los vértices disminuye su valor hasta llegar a 0.

La expresión de la función de pertenencia que contempla los tres aspectos de la sostenibilidad es:

$$\mu_{E \cap S \cap A}(x, y) = \begin{cases} \min \left(1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{(x+2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2}, 1 - \frac{1}{\sqrt{21}} \sqrt{x^2 + (y+4)^2} \right) \\ \quad \text{si } (x-2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2 \leq 21, \quad x^2 + (y+4)^2 \leq 21 \\ \quad \text{y } (x+2\sqrt{3})^2 + (y-2)^2 \leq 21 \\ 0 \quad \text{en caso contrario.} \end{cases} \quad (3.16)$$

La gráfica de esta función se muestra en la figura 33.

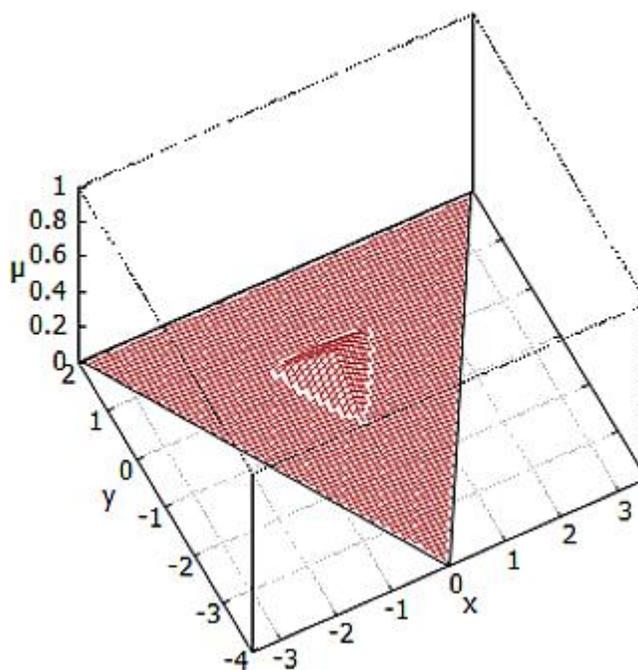


Figura 33. Función de pertenencia para el aspecto mezclado económico-social-ambiental de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

La figura 33 presenta, en el centro del triángulo de color café, la función de pertenencia que contempla los tres aspectos de la sostenibilidad. Esta función alcanza su valor máximo, $1 - \sqrt{\frac{16}{21}} \approx 0.1271$, en el punto $esa = (0,0)$.

En la figura 34 se aprecian dos perspectivas de las funciones de pertenencia para las intersecciones de los aspectos.

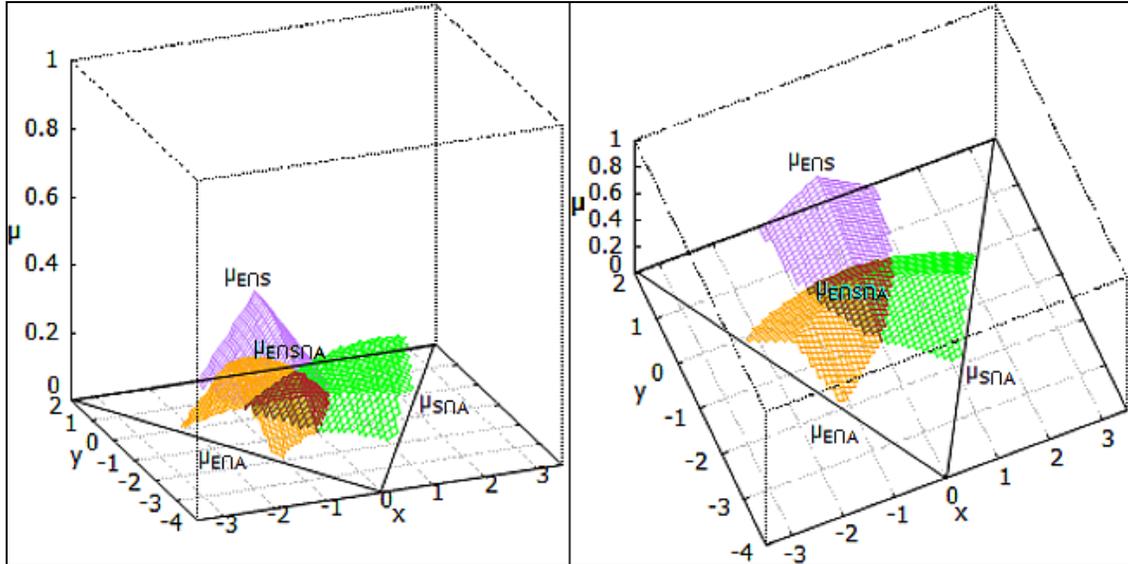


Figura 34. Funciones de pertenencia de los aspectos mezclados de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

Se puede ver en la figura 34 que en el centro del lado superior del triángulo se aprecia, de color púrpura, la función de pertenencia del aspecto económico social de la sostenibilidad, en el centro del lado derecho se observa la función de pertenencia del aspecto social ambiental, en verde, y finalmente, inclinada hacia nuestra izquierda, se encuentra la función de pertenencia del aspecto económico ambiental, de anaranjado. Y por último en el centro de color café la función de pertenencia que abarca los tres aspectos de la sostenibilidad.

Las funciones de pertenencia mezcladas así definidas no nos proporcionan información clara del indicador ya que $MÁX\left(\mu_{E \cap S}(x, y)\right) = MÁX\left(\mu_{E \cap A}(x, y)\right) = MÁX\left(\mu_{S \cap A}(x, y)\right) = 1 - \sqrt{\frac{12}{21}} \approx 0.2441$ y $MÁX\left(\mu_{E \cap S \cap A}(x, y)\right) = 1 - \sqrt{\frac{16}{21}} \approx 0.1271$. Para que las funciones de pertenencia

combinadas nos den más información se normalizarán de manera tal que se obtenga el valor de 1 si el indicador tiene pertenencia únicamente a dos aspectos o el mismo grado de pertenencia en los tres aspectos. Si está mezclado, pero tiene tendencia a alguno de los pilares, dará valores menores o iguales a uno.

A continuación, se presentan las funciones de pertenencia normalizadas para los aspectos mezclados de la sostenibilidad, con sus respectivas gráficas.

$$\mu_{N(E \cap S)}(x, y) = \frac{\mu_{E \cap S}(x, y)}{\text{MÁX} \left(\mu_{E \cap S}(x, y) \right)} \quad (3.17)$$

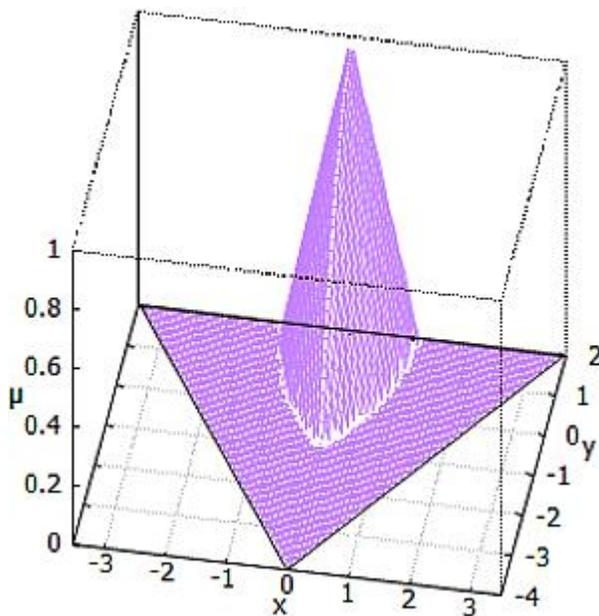


Figura 35. Función de pertenencia para el aspecto mezclado económico-social normalizado de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 35 se muestra, de color púrpura, la gráfica de la superficie semicónica que es la función de pertenencia normalizada para el pilar económico-social, a diferencia de la no normalizada ésta

presenta su valor máximo, 1, en el punto $es = (0,2)$. Y, como la no normalizada, al acercarse a los otros vértices disminuye su valor hasta llegar a 0.

$$\mu_{N(E \cap A)}(x, y) = \frac{\mu_{E \cap A}(x, y)}{\text{MÁX} \left(\mu_{E \cap A}(x, y) \right)} \quad (3.18)$$

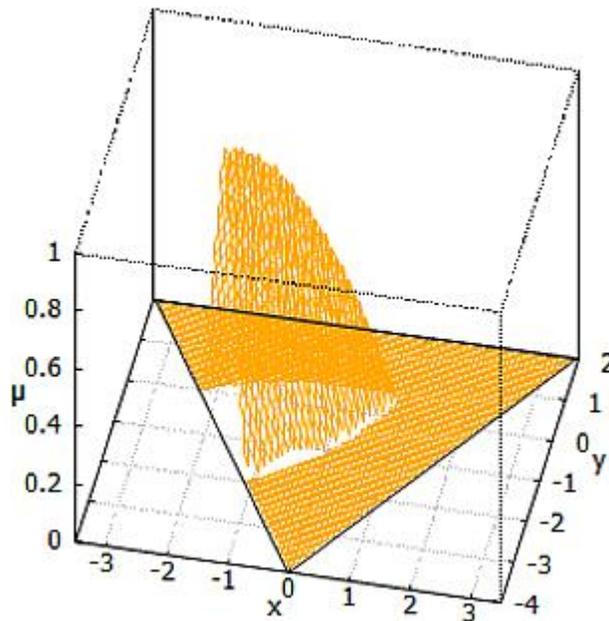


Figura 36. Función de pertenencia para la dimensión mezclada económico-ambiental normalizada de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 36 se aprecia de color anaranjado la gráfica de la superficie con forma de segmento de cono la cual representa la función de pertenencia normalizada para el aspecto económico-ambiental, a diferencia de la no normalizada, ésta tiene su valor más grande, 1, evaluada en el punto $ea = (-\sqrt{3}, -1)$. Y como la versión no normalizada, mientras más se acerca a los otros vértices o al centro del triángulo de sostenibilidad su valor va disminuyendo hasta llegar a 0.

$$\mu_{N(S \cap A)}(x, y) = \frac{\mu_{S \cap A}(x, y)}{\text{MÁX} \left(\mu_{S \cap A}(x, y) \right)} \quad (3.19)$$

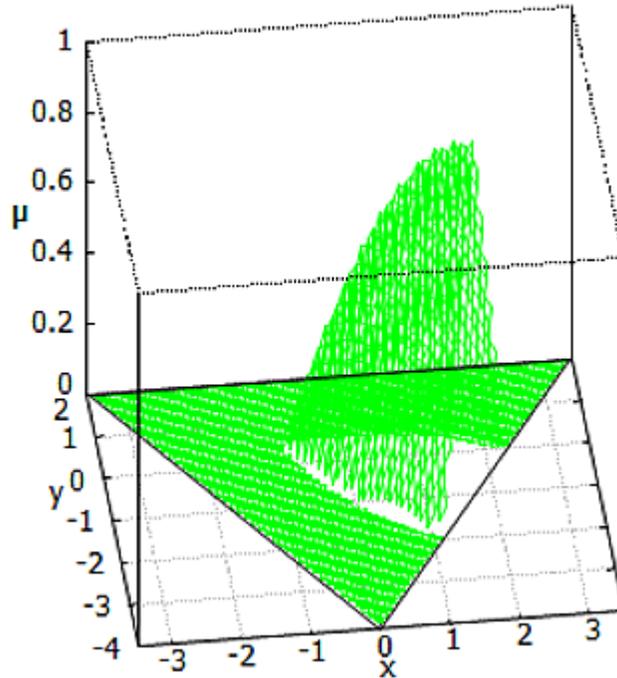


Figura 37. Función de pertenencia para el aspecto mezclado social-ambiental normalizado de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 37, de color verde, se presenta la gráfica de la superficie semicónica que es la función de pertenencia normalizada para el pilar social-ambiental, ésta presenta su valor máximo en 1 sobre el punto $sa = (\sqrt{3}, -1)$. Análogamente a la no normalizada, conforme se acerca al centro o a los vértices disminuye su valor hasta llegar a 0.

$$\mu_{N(E \cap S \cap A)}(x, y) = \frac{\mu_{E \cap S \cap A}(x, y)}{\text{MÁX} \left(\mu_{E \cap S \cap A}(x, y) \right)} \quad (3.20)$$

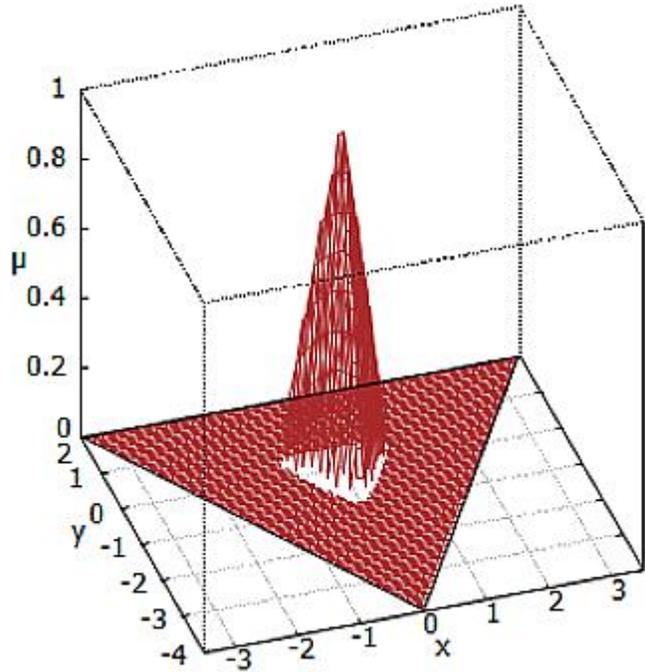


Figura 38. Función de pertenencia para la dimensión mezclada económica-social-ambiental normalizada de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

La figura 38 muestra, en el centro del triángulo de color café, la función de pertenencia que contempla los tres aspectos de la sostenibilidad. Esta función alcanza su valor máximo,1, en el punto $esa = (0,0)$.

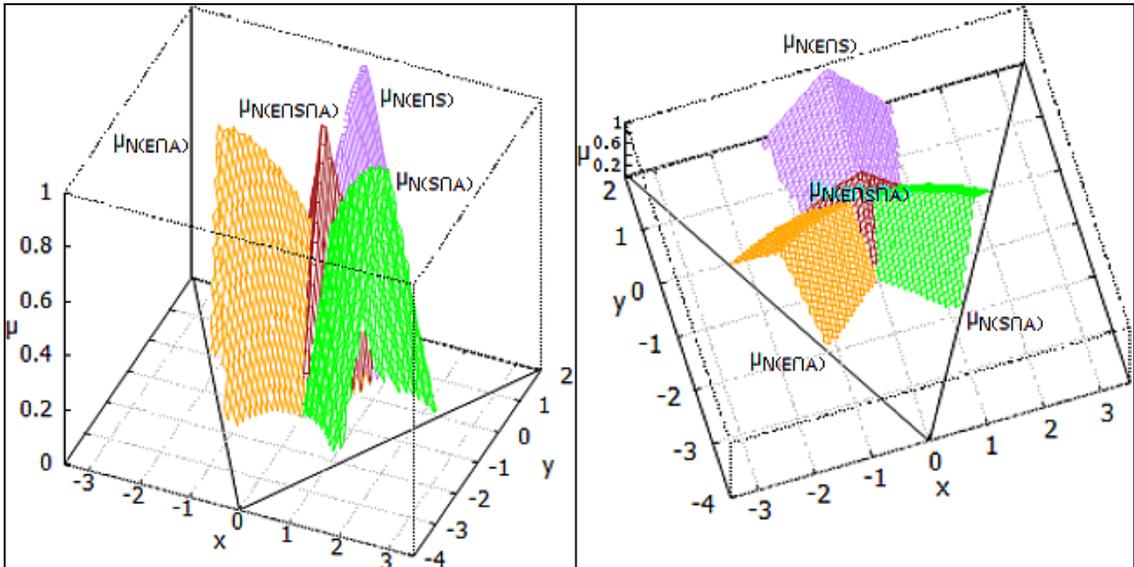


Figura 39. Funciones de pertenencia normalizadas de los aspectos mezclados de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 39 se puede, ver hasta el fondo de púrpura, la función de pertenencia normalizada para el aspecto económico-social, en medio, de color café, la función de pertenencia que contempla los tres aspectos, en la esquina inferior izquierda, de anaranjado, la función de pertenencia para el aspecto económico-ambiental y a la derecha, de color verde, la función correspondiente al social- ambiental.

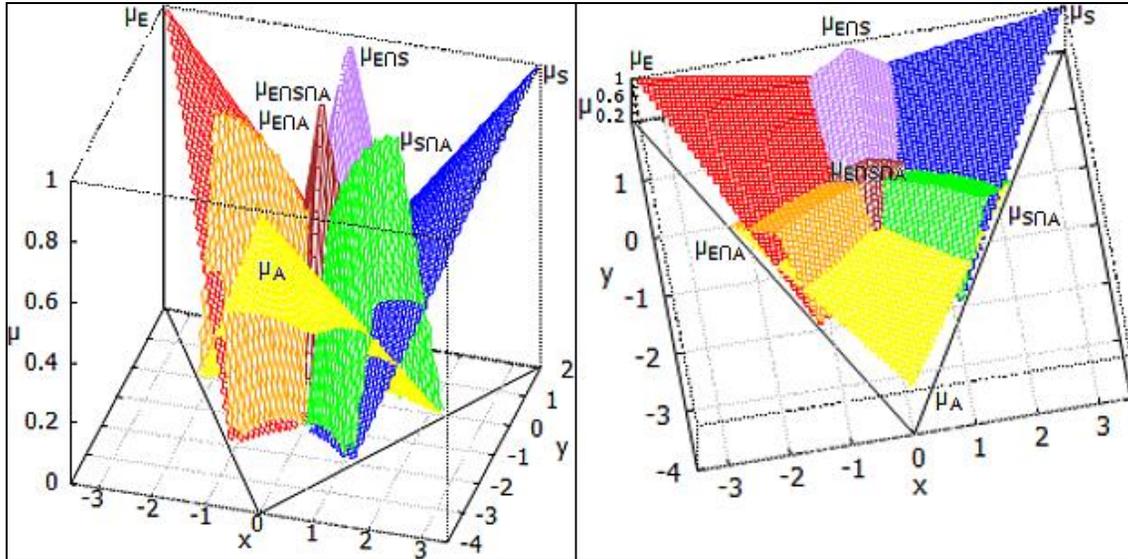


Figura 40. Funciones de pertenencia de la sostenibilidad incluyendo a las funciones mezcladas y normalizadas.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En figura 40, situada en la esquina superior izquierda se aprecia, de color rojo, la función de pertenencia del aspecto económico de la sostenibilidad, en el lado derecho se observa la función de pertenencia del aspecto social, en azul, y finalmente, inclinada hacia nuestra derecha, en la esquina inferior, se encuentra la función de pertenencia del aspecto ambiental, de amarillo. Hasta el fondo, de púrpura, el aspecto económico-social, en medio, de color café, los tres aspectos, en la esquina inferior izquierda, de anaranjado, económico-ambiental y a la derecha, de color verde, social- ambiental. Abajo de las funciones de pertenencia está la región de sostenibilidad delimitada por un triángulo rectángulo.

Como último paso, después de obtener estos valores para cada indicador, deben presentarse en una tabla para compararlos con la clasificación presentada en los documentos de donde se obtuvieron los indicadores.

Grados de pertenencia para aspectos							
Aspectos				Normalizadas			
No.	μ_E	μ_S	μ_A	$\mu_{N(ENS)}$	$\mu_{N(ENA)}$	$\mu_{N(SNA)}$	$\mu_{N(ENSNA)}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

↑ (3.10)	↑ (3.11)	↑ (3.12)	↑ (3.17)	↑ (3.18)	↑ (3.19)	↑ (3.20)
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Figura 41. Tabla para calcular los grados de pertenencia de los indicadores con base en la tendencia de opinión obtenida.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la primera columna de la tabla de la figura 41 está el número del indicador, en las siguientes tres están los grados de pertenencia de los aspectos puros de la sostenibilidad: económico, social y ambiental, los cuáles serán calculados por las ecuaciones (3.10), (3.11) y (3.12) respectivamente. Las cuatro últimas columnas corresponden a los grados de pertenencia de los aspectos mezclados de la sostenibilidad: económico-social, económico-ambiental, social-ambiental y económico-social-ambiental. Estos serán calculados con las funciones (3.17), (3.18), (3.19) y (3.20) respectivamente.

3.3.2 Limitaciones

Este método se puede aplicar para clasificar un ítem únicamente en tres aspectos. En el caso que presentamos en este trabajo requerimos de un mismo número de expertos por cada aspecto para contestar la encuesta. En la figura 42 presentamos un esquema con las características más sobresalientes del método.

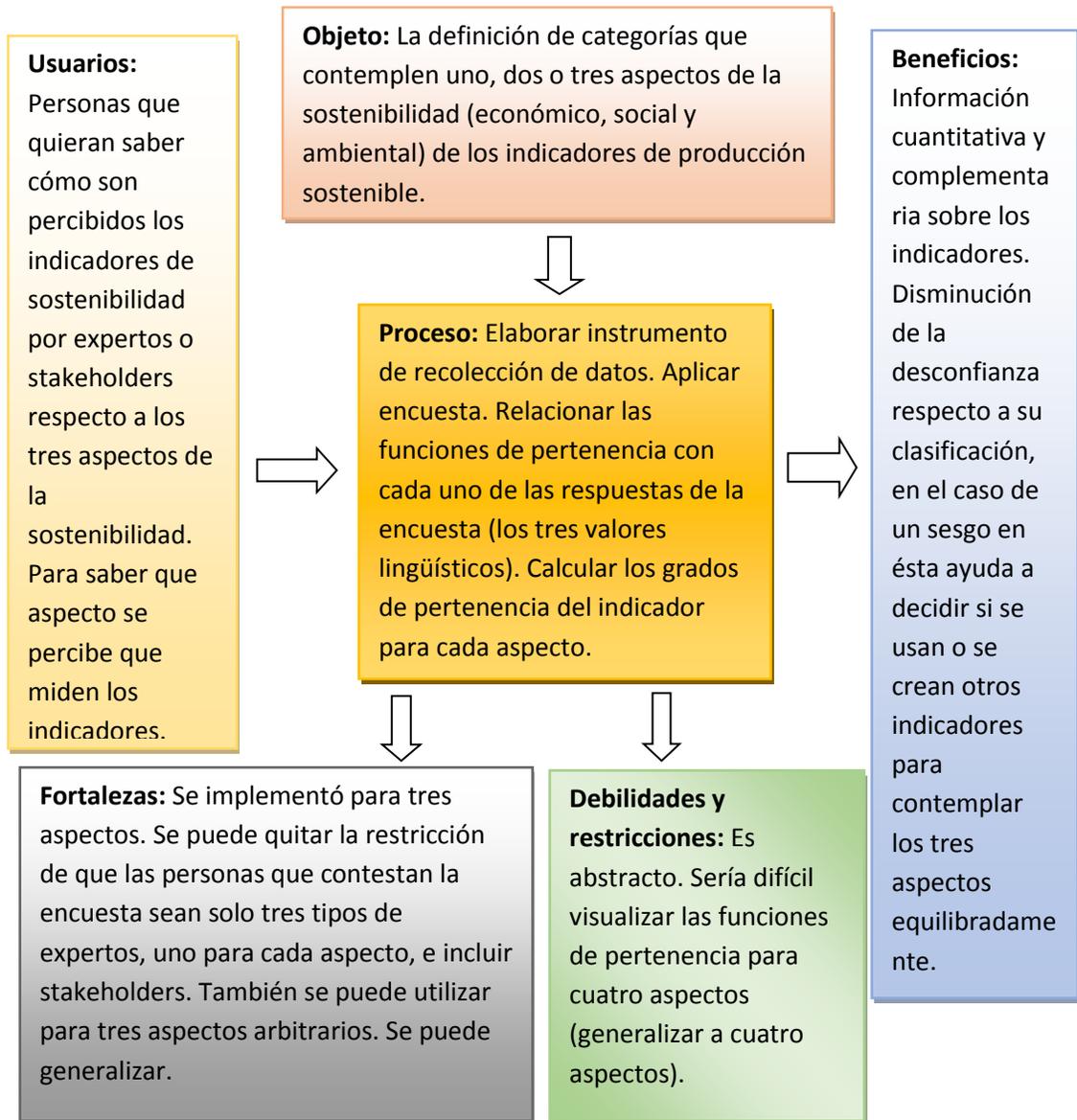


Figura 42. Características del método.

Fuente: Elaboración propia (2018)

4. Aplicación y resultados

En este último capítulo se describe como fue aplicado el método propuesto a tres paquetes de indicadores de producción sostenible y se muestran los resultados obtenidos.

4.1 Aplicación

En esta sección fueron indicados los paquetes que se utilizaron para probar nuestro método, se describió el perfil de los expertos que fueron seleccionados y ayudaron a contestar la encuesta, y el instrumento de recolección de datos que se utilizó para recabar las opiniones.

4.1.1 Indicadores elegidos para probar el método

Para probar nuestro método, se aplicó a los indicadores GRI versión G3.1 (por sus siglas en inglés Global Reporting Initiative o, en español, Iniciativa de Reporte Global, IRG) (Centro Mexicano para la Filantropía [CEMEFI] & Empresa Socialmente Responsable [ESR], 2011) y a los indicadores propuestos por Krajnc & Glavič (2003) y Veleva & Ellenbecker (2001). De aquí en adelante no se hará referencia a estos paquetes de indicadores con los números romanos I, II y III, respectivamente. En el Anexo 9 presentamos algunas tablas que comparan características entre indicadores GRI y CEMEFI-RSE

4.1.2 Selección de expertos

Fue requerida la ayuda de 39 expertos, todos profesores de la UNAM, procedentes de las Facultades de Ciencias, Economía, Estudios Superiores Aragón e Ingeniería. Trece de ellos eran expertos en el aspecto económico, trece en el aspecto social y trece en el ambiental. Se eligieron profesores universitarios porque éstos son considerados autoridades epistémicas, debido a que poseen amplios conocimientos y

tienen el compromiso de ser objetivos (Kruglanski, 2005). Además, el sector académico es el que más se preocupa por la precisión en las definiciones de los conceptos.

4.1.3 Instrumento de recolección de datos

La encuesta mostraba en la primera página la presentación, con los escudos de la UNAM y la FES Aragón (sede del posgrado), y otra información de modo que se ubicara el lugar en donde se estaba realizando el trabajo de investigación. En esta encuesta se solicitaba apoyo de los profesores, expertos que nos ayudaron a contestarla, y se exponía el propósito del trabajo: identificar a qué pilar o pilares de la sostenibilidad pertenece cada indicador de producción sostenible. A continuación, se mostraban las instrucciones, donde se explicaba que se tenía que indicar con una cruz a qué aspecto de la sostenibilidad se creía que pertenecía cada indicador. Es pertinente mencionar que algunos expertos indicaron más de un aspecto debido a que les parecía que el indicador no podía pertenecer únicamente a uno. En el área de información general, se preguntaba la ocupación del experto, su lugar de adscripción, su nivel de estudios y el aspecto de la sostenibilidad de su especialidad. Finalmente, el área específica de medición, constaba de los indicadores y sus opciones: económico, social y ambiental. Para los indicadores II y III se utilizaron dos campos para formar el ítem: el campo indicador, que describe al indicador, y el campo cantidad, que provee las unidades o cantidades usadas para medir el indicador, (Anexo 10), porque así se presentan en los documentos originales.

Con el objetivo de encontrar expertos que no hubieran utilizado antes los indicadores de producción sostenible que fueron presentados en las encuestas, de modo que expresaran su opinión sin tratar de recordar cómo estaban clasificados los indicadores, se aplicaron preguntas filtro, (Anexo 8), las cuales fueron: 1. “¿Ha utilizado indicadores de producción sostenible?”. En caso afirmativo, 2. “¿Qué indicadores de producción sostenible ha usado?”. Si los indicadores que habían usado eran distintos a los que se propusieron en el instrumento, entonces el experto era candidato a contestar la encuesta.

Por último, se codificaron las respuestas con la tabla presentada en el capítulo anterior.

4.2 Resultados

En esta sección se muestra la información obtenida después de codificar las opiniones recabadas de los expertos.

De toda la información obtenida, al aplicar el método propuesto en este trabajo de tesis, solamente se presenta la que se distingue más en los indicadores que: 1) Pertenecen a al menos dos aspectos de la sostenibilidad y coinciden con la clasificación presentada (tablas 3 y 4 para los indicadores I y II respectivamente); 2) Se mezclan en al menos dos aspectos de la sostenibilidad y no coinciden con la clasificación original (tablas 5 y 6 que corresponden a los indicadores I y II) y 3) Pertenecen a un aspecto de la sostenibilidad que no coincide con la clasificación original (tablas 7 y 8 relacionadas con los indicadores I y II respectivamente). En la primera columna de las tablas, se presenta el número del indicador; en la segunda el indicador mismo; en las siguientes dos columnas la tendencia de opinión (la cual tiene dos componentes, como se indica en la sección 3.2.3); después los grados de pertenencia de los aspectos puros y mezclados de la sostenibilidad. En las dos últimas columnas se muestran la clasificación obtenida (con el acrónimo C. O.) y la clasificación presentada en el documento original, C.P. Por último, se obtuvo una clasificación en los tres aspectos de la sostenibilidad para los indicadores III, tabla 9, ya que se clasifican en 6 aspectos en el documento original: 1. Uso de material y energía. 2. Ambiente natural. 3. Desempeño económico. 4. Justicia social y desarrollo comunitario. 5. Trabajadores y 6. Producto.

En las tablas 3 y 4 se puede ver que 11 de los 84 indicadores de I y 15 de los 89 indicadores propuestos por II están mezclados, pero existe un mayor grado de pertenencia al aspecto que se indica en el documento original. El grado de pertenencia que se obtiene de la función de pertenencia mezclada normalizada, proporciona información sobre qué tan mezclado está el indicador respecto a dos o tres aspectos. Por otro lado, para saber en qué proporción pertenece el indicador a cada aspecto de la sostenibilidad, se tiene que revisar los valores de los grados de pertenencia en las columnas para los aspectos puros.

Tabla 3. Indicadores I mezclados, con mayor grado de pertenencia al aspecto presentado en el documento original.

#	Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia para aspectos							C. O.	C. P.
				Puros			Mezclados y					
		t_x	t_y	μ_E	μ_S	μ_A	μ_{EnS}	μ_{EnA}	μ_{SnA}	μ_{EnSnA}		
2	Consecuencias financieras y otros riesgos y oportunidades para las actividades de la organización debido al cambio climático.	-1.69	-0.46	0.34	0	0.14	0	0.59	0	0	EnA	E
											↓	
											E	
13	Consumo indirecto de energía desglosado por fuentes primarias.	-1.24	-1.64	0.069	0	0.42	0	0.28	0	0	EnA	A
											↓	
											A	
36	Porcentaje de productos vendidos y sus materiales de empaque, que son recuperados al final de su vida útil, por categorías de productos.	-1.47	-1	0.21	0	0.27	0	0.87	0	0	EnA	A
											↓	
											A	
37	Costo de las multas significativas y número de sanciones no monetarias por incumplimiento de la normativa ambiental.	-1.2	-1.31	0.13	0	0.36	0	0.51	0	0	EnA	A
											↓	
											A	
40	Total de trabajadores por tipo de empleo, contrato de trabajo y región, desglosadas por género	0.18	2	0.21	0.28	0	0.84	0	0	0	EnS	S
											↓	
											S	
43	Tasas de retorno al trabajo y de retención después de la licencia parental, por género.	0.62	2	0.11	0.38	0	0.44	0	0	0	EnS	S
											↓	
											S	
45	Periodo(s) mínimo(s) de preaviso relativo(s) a cambios organizativos, incluyendo si estas notificaciones son especificadas en los contratos colectivos de trabajo.	0.44	2	0.15	0.34	0	0.60	0	0	0	EnS	S
											↓	
											S	
47	Tasas de absentismo, enfermedades profesionales, días perdidos y número de víctimas mortales relacionadas con el trabajo por región y por género.	0.53	1.69	0.12	0.36	0	0.51	0	0	0	EnS	S
											↓	
											S	
51	Programas de gestión de habilidades y de formación continua que fomenten la empleabilidad de los trabajadores y que les apoyen en la gestión del final de sus carreras profesionales.	0.53	2	0.13	0.36	0	0.52	0	0	0	EnS	S
											↓	
											S	
61	Operaciones de la empresa y de proveedores importantes identificados como de riesgo significativo de ser origen de episodios de trabajo forzado o no consentido, y las medidas adoptadas para contribuir a su eliminación.	0.98	1.69	0.03	0.45	0	0.12	0	0	0	EnS	S
											↓	
											S	
69	Porcentaje y número total de unidades de negocio analizadas con respecto a riesgos relacionados con la corrupción.	0.27	2	0.19	0.30	0	0.76	0	0	0	EnS	S
											↓	
											S	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Se observa en las tablas 5 y 6 que 11 de los 84 indicadores I y 5 de los 89 indicadores II, están mezclados, pero se inclinan a un aspecto de la sostenibilidad que no coincide con el que le fue asignado en el documento original.

Tabla 4. Indicadores propuestos en II que se mezclan con un mayor grado de pertenencia al aspecto presentado en el documento original.

#	Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia para aspectos							C. O.	C. P.
				Puros			Mezclados y normalizados					
		t_x	t_y	μ_E	μ_S	μ_A	μ_{EnS}	μ_{EnA}	μ_{SnA}	μ_{EnSnA}		
2	Rotación de empleados	0.8	1.85	0.07	0.42	0	0.28	0	0	0	E∩S	S
											↓	
5	Tasa de ascensos	0.53	2	0.13	0.36	0	0.52	0	0	0	S E∩S	S
											↓	
6	Tiempo de enfermedad de empleados	0.44	1.95	0.15	0.34	0	0.60	0	0	0	S E∩S	S
											↓	
11	Consumo total de energía	-1.6	-1.03	0.22	0	0.26	0	0.92	0	0	S E∩A	A
											↓	
12	Consumo específico de energía	-1.29	-1.26	0.15	0	0.34	0	0.6	0	0	A E∩A	A
											↓	
13	(Fuente de energía) fracción	-1.07	-1.64	0.05	0	0.44	0	0.2	0	0	A E∩A	A
											↓	
16	Intensidad energética	-1.29	-1.56	0.09	0	0.4	0	0.36	0	0	A E∩A	A
											↓	
17	Costos totales de energía	-1.29	-1.26	0.15	0	0.34	0	0.6	0	0	A E∩A	A
											↓	
29	Consumo total de agua	-0.93	-1.67	0.03	0	0.452	0	0.11	0	0	A E∩A	A
											↓	
76	Valor de las inversiones en la protección ambiental	-1.51	-0.31	0.34	0	0.13	0	0.53	0	0	A E∩A	E
											↓	
78	Número específico de quejas de los clientes	-0.36	2	0.32	0.17	0	0.68	0	0	0	E E∩S	E
											↓	
79	Fracción de valor de las inversiones en la actividad ética	-0.13	1.72	0.27	0.21	0	0.87	0	0	0	E E∩S	E
											↓	
84	Duración de servicio de trabajo de los empleados	-0.27	2	0.3	0.19	0	0.76	0	0	0	E E∩S	E
											↓	
85	Costos de protección de la salud de los empleados	-1.02	1.56	0.46	0.02	0	0.07	0	0	0	E E∩S	E
											↓	
87	Inversiones en desarrollo de los empleados	-0.18	1.95	0.28	0.21	0	0.84	0	0	0	E E∩S	E
											↓	
											E	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 5. *Indicadores I mezclados con menor grado de pertenencia al aspecto presentado en el documento original.*

#	Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia para aspectos							C. O.	C. P.	
		t _x	t _y	Puros			Mezclados y normalizados						
				μ _E	μ _S	μ _A	μ _{EnS}	μ _{EnA}	μ _{SnA}	μ _{EnSnA}			
11	Porcentaje de los materiales utilizados que son materiales valorizados.	-1.91	-0.28	0.40	0	0.09	0	0.36	0	0	0	EnA ↓ E	A
39	Desglose por tipo del total de gastos e inversiones ambientales	-2	-0.54	0.36	0	0.13	0	0.52	0	0	0	EnA ↓ E	A
41	Número total de empleados y rotación media de empleados, desglosados por grupo de edad, sexo y región	-0.8	2	0.42	0.07	0	0.29	0	0	0	0	EnS ↓ E	S
44	Porcentaje de empleados cubiertos por un contrato colectivo de trabajo	-0.18	1.95	0.28	0.21	0	0.84	0	0	0	0	EnS ↓ E	S
50	Promedio de horas de formación al año por empleado, desglosado por categoría de empleado.	-0.89	1.85	0.44	0.05	0	0.2	0	0	0	0	EnS ↓ E	S
54	Relación entre salario base de los hombres con respecto al de las mujeres, desglosado por categoría profesional y por actividad principal.	-0.53	2	0.36	0.13	0	0.52	0	0	0	0	EnS ↓ E	S
76	Fases del ciclo de vida de los productos y servicios en las que se evalúan, para en su caso ser mejorados, los impactos de los mismos en la salud y seguridad de los clientes, y porcentaje de categorías de productos y servicios significativos sujetos a tal	-0.18	0.41	0.2	0.13	0.04	0.54	0.15	0.15	0.29	0	EnSnA ↓ EnA ↓ E	S
78	Tipos de información sobre los productos y servicios que son requeridos por los procedimientos en vigor y la normativa, y porcentaje de productos y servicios sujetos a tales requerimientos informativos.	-0.53	1.08	0.33	0.1	0	0.43	0	0	0	0	EnS ↓ E	S
79	Número total de incumplimientos de la regulación y de los códigos voluntarios relativos a la información y al etiquetado de los productos y servicios, distribuidos en función del tipo de resultado de dichos incidentes.	-0.58	1.26	0.35	0.1	0	0.42	0	0	0	0	EnS ↓ E	S
80	Prácticas con respecto a la satisfacción del cliente, incluyendo los resultados de los estudios de satisfacción del cliente.	-0.8	2.05	0.42	0.07	0	0.29	0	0	0	0	EnS ↓ E	S
81	Programas de cumplimiento de las leyes o adhesión a estándares y códigos voluntarios mencionados en comunicaciones de marketing, incluidos la publicidad, otras actividades promocionales y los patrocinios.	-0.67	1.88	0.39	0.098	0	0.4	0	0	0	0	EnS ↓ E	S

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 6. *Indicadores propuestos por II que se mezclan con un grado menor de pertenencia al aspecto indicado en el documento original.*

Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia para aspectos							C. O.	C. P.
	t _x	t _y	Puros			Mezclados y normalizados					
			μ _E	μ _S	μ _A	μ _{EnS}	μ _{EnA}	μ _{SnA}	μ _{EnSnA}		
9 Fracción de masa del consumo local	-1.02	0.18	0.34	0	0.06	0	0.25	0	0	E∩A	S
										↓ E	
73 Fracción de costos de purificación del aire	-1.82	-0.38	0.37	0	0.12	0	0.48	0	0	E∩A	A
										↓ E	
77 Costos de responsabilidad ambiental	-1.15	-0.92	0.19	0	0.28	0	0.77	0	0	E∩A	E
										↓ A	
81 Fracción número de proveedores	0.09	-0.15	0.09	0.13	0.16	0.38	0.38	0.52	0.73	EnSnA	E
										↓ S∩A	
										↓ A	
82 Número de rupturas de contactos	0.18	0.97	0.17	0.25	0	0.72	0	0	0	E∩A	E
										↓ S	

Fuente: Elaboración propia (2016)

En cuanto a los indicadores puros que se clasifican en un aspecto de la sostenibilidad al cual no pertenecen se obtienen 8 de los 84 para I (tabla 7) y 27 de 89 del paquete II (tabla 8).

Tabla 7. *Indicadores puros I que no pertenecen al aspecto presentado en el documento original.*

#	Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia			C.O.	C.P.
		t _x	t _y	μ _E	μ _S	μ _A		
3	Cobertura de las obligaciones de la organización debidas a programas de beneficio social.	1.69	1.85	0	0.61	0	S	E
7	Procedimientos para la contratación local y proporción de altos directivos procedentes de la comunidad local en lugares donde se desarrollen operaciones significativas.	1.24	2	0	0.52	0	S	E
10	Materiales utilizados, por peso o volumen.	-2.31	0.31	0.55	0	0	E	A
73	Valor total de las aportaciones financieras y en especie a partidos políticos o a instituciones relacionadas, por países.	-2.22	1.95	0.73	0	0	E	S
74	Número total de acciones por causas relacionadas con prácticas monopolísticas y contra la libre competencia, y sus resultados.	-2.67	2	0.83	0	0	E	S
75	Valor monetario de sanciones y multas significativas y número total de sanciones no monetarias derivadas del incumplimiento de las leyes y regulaciones.	-2.89	1.77	0.86	0	0	E	S
82	Número total de incidentes fruto del incumplimiento de las regulaciones relativas a las comunicaciones de mercadotecnia, incluyendo publicidad, promoción y patrocinio, distribuidos en función del tipo de resultado de dichos incidentes.	-1.16	2	0.5	0	0	E	S
84	Valor monetario de sanciones y multas significativas derivadas del incumplimiento de leyes y reglamentos relativos a la provisión y utilización de productos y servicios.	-1.82	0.33	0.49	0	0	E	S

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla 8. *Indicadores puros propuestos por II que no pertenecen al aspecto presentado en el documento consultado.*

#	Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia			C. O.	C. P.
		t_x	t_y	μ_E	μ_S	μ_A		
1	Número específico de empleados	-1.69	2	0.61	0	0	E	S
3	Proporción de pago	-1.95	2	0.67	0	0	E	S
18	(Costos de energía) fracción	-2.66	1.23	0.76	0	0	E	A
19	Costos promedios de fuente de energía	-2.44	0.74	0.65	0	0	E	A
20	Consumo total de material	-2.31	0.31	0.55	0	0	E	A
21	Consumo específico de material	-2.44	0.85	0.66	0	0	E	A
23	Eficiencia materias primas	-2.49	0.92	0.68	0	0	E	A
27	Costos totales de material	-3.15	1.88	0.93	0	0	E	A
28	Intensiva de materiales	-2.31	0.72	0.62	0	0	E	A
32	Costos totales del agua	-2.71	0.9	0.71	0	0	E	A
38	Fracción de costo del agua	-2.22	0.87	0.63	0	0	E	A
34	Costos de volumen por el tipo de agua	-2.04	0.41	0.53	0	0	E	A
38	Durabilidad del producto	-2.18	0.18	0.51	0	0	E	A
39	Ingresos provenientes de productos ecológicos	-2.04	0.15	0.49	0	0	E	A
40	Fracción de ingresos de productos ecológicos	-2.35	0.48	0.59	0	0	E	A
41	Masa total del embalaje	-2.13	0.10	0.49	0	0	E	A
42	Fracción de masa de embalaje del producto	-2.62	0.85	0.69	0	0	E	A
44	Costos de embalaje	-3.24	1.92	0.95	0	0	E	A
45	Costos específicos de embalaje	-3.15	1.77	0.92	0	0	E	A
54	Costos totales de residuos sólidos	-2.4	0.26	0.55	0	0	E	A
55	Fracción de costos de residuos sólidos	-2.66	0.62	0.65	0	0	E	A
62	Costos totales de residuos líquidos	-2.44	0.64	0.63	0	0	E	A
63	(Residuos líquidos) Fracción de costos	-2.31	0	0.5	0	0	E	A
72	Costos de purificación del aire	-2.26	0.33	0.55	0	0	E	A
86	Nivel de ruido	0.44	-2.46	0	0	0.65	A	E
88	Tiempo de educación de los empleados	2.13	2	0	0.71	0	S	E
89	Número de mejoras sugeridas por los empleados	1.78	0.77	0	0.54	0	S	E

Fuente: Elaboración propia (2016)

La tabla 9 presenta los valores obtenidos para la clasificación de los indicadores III en los tres aspectos de la sostenibilidad. No presenta la columna C. P. (Clasificación Presentada) porque no hay una clasificación con que comparar, ya que en el documento original se clasifican en seis aspectos distintos.

Tabla 9. Clasificación propuesta, en los tres aspectos de la sostenibilidad, para los indicadores propuestos por III.

#	Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia para aspectos							C. O.
		t _x	t _y	Puros			Mezclados y normalizados				
				μ _E	μ _S	μ _A	μ _{ENS}	μ _{EnA}	μ _{SnA}	μ _{EnS}	
1. Uso de material y energía											
1	Consumo de agua dulce.	-0.93	-1.67	0.028	0	0.45	0	0.11	0	0	EnA → A
2	Material usado (total y por unidad de producto).	-2.31	0.31	0.55	0	0	0	0	0	0	E
3	Energía usada (total y por unidad de producto).	-1.6	-1.03	0.22	0	0.26	0	0.92	0	0	EnA → A
4	Porcentaje de energía de fuentes renovables.	-0.04	-3.62	0	0	0.92	0	0	0	0	A
2 Ambiente natural (vertederos)											
5	kg de residuos generados antes de reciclar (emisiones, residuos sólidos y líquidos).	-0.49	-3.05	0	0	0	0	0	0	0	A
6	Potencial de calentamiento global (GWP Global Warming Potential).	0.04	-3.92	0	0	0	0	0	0	0	A
7	Potencial de acidificación.	-0.53	-3.08	0	0	0	0	0	0	0	A
8	kg de químicos PBT usados.	-0.18	-3.69	0	0	0	0	0	0	0	A
3. Desempeño económico											
9	Costos asociados con el cumplimiento de EHS (multas, responsabilidades, pasivos, la compensación del trabajador, tratamiento y eliminación de residuos, remediación).	-1.82	0.33	0.49	0	0	0	0	0	0	E
10	Tasa de devoluciones y quejas de los clientes.	-1.6	2	0.59	0	0	0	0	0	0	E
11	Apertura de la organización a la revisión y la participación de los grupos de interés en el proceso de toma de decisiones.	2.31	1.95	0	0.75	0	0	0	0	0	S
4 Justicia social y el desarrollo comunitario											
12	Los gastos comunitarios y contribuciones caritativas como porcentaje de los ingresos.	-1.15	1.95	0.5	0	0	0	0	0	0	E
13	Número de empleados por unidad de venta de productos o dólares..	-2.93	2	0.88	0	0	0	0	0	0	E
14	Número de asociaciones comunidad-empresa.	1.42	1.95	0	0.55	0	0	0	0	0	S
5. Trabajadores											
15	Índice de casos de días de trabajo perdidos por lesiones y enfermedades.	0.44	1.95	0.15	0.34	0	0.60	0	0	0	EnS → S
16	Tasa de sugerencias hechas por los empleados para mejorar el desempeño en la calidad, social y EHS.	2	1.46	0	0.66	0	0	0	0	0	S
17	Tasa de rotación o antigüedad media de los empleados.	-1.42	1.79	0.55	0	0	0	0	0	0	E
18	Promedio de horas de capacitación de empleados al año.	-0.71	1.95	0.4	0.09	0	0.36	0	0	0	EnS → E
19	Porcentaje de trabajadores, que reportan la satisfacción laboral completa (basado en el cuestionario).	1.95	2	0	0.67	0	0	0	0	0	S

#	Indicador	Tendencia		Grados de pertenencia para aspectos							C. O.
		t_x	t_y	Puros			Mezclados y normalizados				
				μ_E	μ_S	μ_A	μ_{ENS}	μ_{EnA}	μ_{SnA}	μ_{EnS}	
6. Producto											
20	Porcentaje de productos diseñados para el desmontaje, reutilización o reciclaje.	-0.8	-2.62	0	0	0.65	0	0	0	0	A
21	Porcentaje de envases biodegradables.	-0.13	-3.46	0	0	0.88	0	0	0	0	A
22	Porcentaje de productos con políticas de devolución en su sitio.	-1.95	1.38	0.64	0	0	0	0	0	0	E

Fuente: Elaboración propia (2017)

Ahora que se ha terminado de presentar la información obtenida con nuestro método lo último que queda por hacer es discutir los resultados y elaborar las conclusiones.

Discusión y conclusiones

En este último capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos al aplicar el método propuesto a tres paquetes de indicadores de producción sostenible y las conclusiones alcanzadas al realizar todo el trabajo de investigación.

Discusión

En la presente sección se discuten los resultados conseguidos al aplicar el método que se propone en este trabajo de investigación. Para ello se utilizan cinco tablas que los simplifican con el propósito de tenerlos en mente. En las tablas 10 y 11 se exhiben los porcentajes de indicadores, por aspectos de la sostenibilidad, que tienen una clasificación similar o distinta a la obtenida, además de discernir entre los indicadores puros y los mezclados para los paquetes I y II. Con clasificación similar se alude a los indicadores que coinciden con la clasificación que se obtuvo, aunque estén mezclados. La clasificación distinta se refiere a indicadores que, en nuestra clasificación, pertenecen mayormente a un aspecto que no coincide con el aspecto presentado en los documentos originales. Las tablas 12 y 13 muestran los porcentajes de los indicadores que coinciden con la clasificación conseguida con nuestro método y los porcentajes de los indicadores que tienen una clasificación diferente, distinguiendo entre indicadores puros o mezclados para cada pilar de la sostenibilidad, para los paquetes I y II. Para el paquete III solo se presentan los porcentajes relativos para los aspectos puros y mezclados en la tabla 14.

En la tabla 10 se puede apreciar que para el paquete I, los indicadores económicos tienen el menor porcentaje de coincidencia con la clasificación obtenida pues, al sumar los indicadores puros y mezclados, se tiene un 29.17%, a diferencia de los otros aspectos, un 93.94% para el social y 100% de coincidencia para el ambiental. En el caso de los indicadores con clasificación distinta a la conseguida, en conjunto, tanto puros como mezclados, se tiene para el aspecto económico 70.83%, para el social 6.06% y para el ambiental 0%. Al comparar las dos últimas columnas, que contienen los porcentajes de indicadores para cada aspecto obtenidos con el método propuesto y la clasificación presentada en el

documento original, se puede ver que existe un 17.85% más de indicadores económicos, un 14.28% menos de indicadores pertenecientes al aspecto social, y un 3.57% menos para los indicadores ambientales. En las columnas debajo las celdas con Similar y Distinta, se matizan desde los indicadores puros que coinciden con la clasificación presentada hasta terminar por los indicadores puros que no tienen la misma clasificación pasando por los indicadores mezclados.

Tabla 10. *Porcentajes de los indicadores I por aspecto.*

Clasificación Aspectos	Similar		Distinta		Totales por aspecto (%)	Porcentaje respecto al total de indicadores obtenidos por aspecto (%)	Porcentaje de indicadores presentados en el documento original por aspecto (%)
	Puros (%)	Mezclados (%)	Mezclados (%)	Puros (%)			
Económico	25	4.17	45.83	25	100	28.57	10.72
Social	72.73	21.21	0	6.06	100	39.29	53.57
Ambiental	88.89	11.11	0	0	100	32.14	35.71
Total (%)						100	

Fuente: Elaboración propia (2017)

En la tabla 11 se puede distinguir que en el paquete II hay una cantidad muy pequeña de indicadores económicos que coinciden con nuestra clasificación: considerando tanto puros como mezclados, son solo el 27.77%, mientras que los indicadores sociales y ambientales lo hacen en un 70% y un 93.02% respectivamente. Cotejando las dos últimas columnas, se puede ver que, según la clasificación obtenida, existe un mayor porcentaje de indicadores económicos (22.47%) respecto a la clasificación presentada en el documento original, mientras que para los sociales 1.12%, a diferencia de los indicadores en el aspecto ambiental, que tienen 22.47% menos.

Tabla 11. *Porcentajes de los indicadores II por aspecto.*

Clasificación Aspectos	Similar		Distinta		Totales por aspecto (%)	Porcentaje respecto al total de indicadores obtenidos por aspecto (%)	Porcentaje de indicadores presentados en el documento original por aspecto (%)
	Puros (%)	Mezclados (%)	Mezclados (%)	Puros (%)			
Económico	11.1	16.67	5.56	66.67	100	40.45	17.98
Social	40	30	10	20	100	11.24	11.24
Ambiental	79.07	13.95	4.65	2.33	100	48.31	70.78
Total (%)						100	

Fuente: Elaboración propia (2017)

En la tabla 12, para I, en las dos filas de indicadores que coinciden en la clasificación se puede apreciar que, tanto los indicadores puros como los mezclados del aspecto económico tienen los porcentajes más bajos, 11.11% y 9.09% respectivamente, dando un promedio de 10.05%. Como se

muestra en las filas de los indicadores que no coinciden con la clasificación obtenida, el aspecto económico presenta los mayores porcentajes, ya que en los mezclados es el 100% y en los puros ocupa el 75%, representando en promedio el 87.5% de indicadores con clasificación distinta. En la última columna, se aprecia que la mayor parte de los indicadores coincide con la clasificación obtenida, el 77.39 %. Aun así, que el 22.61% de indicadores que no coincide es un porcentaje considerable. En la columna que se encuentra a la derecha de las celdas Similar y Distinta, se matizan a los indicadores desde los puros que coinciden con la clasificación presentada hasta los puros que no tienen la misma clasificación pasando por los indicadores mezclados con y sin clasificación similar.

Tabla 12. *Porcentajes de indicadores I clasificados por coincidencia, distinguiendo entre puros y mezclados.*

Clasificación	Aspectos	Aspectos			Totales respecto al tipo de clasificación y la pureza de los indicadores (%)	Porcentaje respecto al total de indicadores según el tipo de clasificación y la pureza de los indicadores (%)	Porcentaje respecto al total de indicadores según el tipo de clasificación (%)
		Económico (%)	Social (%)	Ambiental (%)			
Similar	Puros	11.11	44.44	44.44	100	64.29	77.39
	Mezclados	9.09	63.64	27.27	100	13.1	
Distinta	Mezclados	100	0	0	100	13.1	22.61
	Puros	75	25	0	100	9.51	
Total (%)						100	

Fuente: Elaboración propia (2017)

La tabla 13 presenta los porcentajes de coincidencia de los indicadores propuestos por II tanto puros, como mezclados. El aspecto económico tiene el mayor porcentaje de indicadores que no coinciden con nuestra clasificación, un 40% para los mezclados, y 88.89% para los puros, esto implica un promedio de 64.47% de indicadores con clasificación distinta a diferencia de los indicadores sociales y ambientales con un 11.84 y un 23.7 %, respectivamente. En la última columna se ve que el 64.04% del total de indicadores coinciden con nuestra clasificación, mientras que el 35.96% no.

Tabla 13. Porcentajes de indicadores II clasificados según su coincidencia, haciendo distinción entre indicadores puros y mezclados.

Clasificación	Aspectos			Totales respecto al tipo de clasificación y la pureza de los indicadores (%)	Porcentaje respecto al total de indicadores según el tipo de clasificación y la pureza de los indicadores (%)	Porcentaje respecto al total de indicadores según el tipo de clasificación (%)
	Económico (%)	Social (%)	Ambiental (%)			
Similar	Puros	9.52	9.52	80.96	100	47.19
	Mezclados	40	20	40	100	16.85
Distinta	Mezclados	40	20	40	100	5.62
	Puros	88.89	7.41	3.7	100	30.34
Total (%)					100	

Fuente: Elaboración propia (2017)

En la tabla 14 se presentan los porcentajes de indicadores propuestos por III para cada aspecto puro y mezclado de la sostenibilidad.

Tabla 14. Porcentaje de indicadores obtenidos para cada aspecto de la sostenibilidad en el paquete III.

Aspecto	Porcentaje (%)
E	31.81
S	18.18
A	31.81
E \cap S \rightarrow E	4.55
E \cap S \rightarrow S	4.55
E \cap A \rightarrow A	9.1

Fuente: Elaboración propia (2017)

Conclusiones

En esta sección se presenta un breve resumen de lo que se hizo y se logró en este trabajo de investigación, se comentan los resultados más importantes, se resalta la importancia y los beneficios obtenidos al aplicar nuestro método, se menciona otro ejemplo práctico en donde se podría aplicar el método y por último se propone una generalización de éste.

Se diseñó un método cuantitativo, usando relaciones difusas, para clasificar indicadores de sostenibilidad en los aspectos económico, social y ambiental y sus posibles mezclas, basándose en las respuestas de un grupo de expertos. En particular, se aplicó este método a tres paquetes de indicadores de producción sostenible. Dos de ellos con una clasificación propuesta en los tres pilares de la sostenibilidad (I y II) y el último sin ésta (III).

Se encontró que, en los dos primeros paquetes estudiados, los propuestos por I y II, existen más indicadores económicos de los que se presentan en el documento original, estando éstos disfrazados ya sea de indicadores sociales o ambientales, por lo que disminuye el número de estos últimos en favor de los primeros (Tablas 10 y 11). Lo que se aprecia en las Tablas 12 y 13 es que los indicadores que coinciden menos con la clasificación que se obtuvo son los económicos.

Como se pudo observar en la tabla 9 aun cuando no se cuente con una clasificación de los indicadores III en los aspectos de la sostenibilidad es posible determinarla utilizando nuestro método. En la tabla 14 se ve que existen más indicadores económicos y ambientales que sociales.

En el contexto de la Agenda 21, es importante mantener el equilibrio entre los indicadores de producción que pertenecen a los diferentes aspectos de la sostenibilidad ya que, si se eligen indicadores que solo privilegien algún aspecto, los procesos de producción podrían interferir con la provisión de servicios básicos, correr el riesgo de aumentar la pobreza o agotar los recursos naturales. Una mejor clasificación podría ayudar en el logro de este balance.

Se cree que un método cuantitativo sencillo para clasificar los indicadores de sostenibilidad

- Ayuda a disminuir la desconfianza respecto a éstos y, como consecuencia, propicia su mayor utilización en los proyectos productivos.
- Permite reclasificar los indicadores, en caso de un sesgo en la clasificación propuesta por la institución que los elabora. También permite tomar la decisión de crear indicadores o contemplar otro paquete para equilibrarlos en caso de un sesgo en algún aspecto.
- Genera mayor información de los indicadores externamente a los organismos que los crean.

Se podría aplicar este método también para otros casos de estudio en los que una variable latente se mide por medio de tres variables observables y es de interés saber cuál de las variables observables, o sus posibles mezclas, influyen más en la variable latente. Es posible quitar la restricción de requerir la ayuda de expertos, en cada variable observable, para contestar la encuesta y permitir que las personas interesadas o afectadas por un proyecto participen, modificando la expresión utilizada para determinar la tendencia ecuaciones 3.7 y 3.8. Un ejemplo en psicología podría ser un conjunto de preguntas que midan el clima social escolar, variable latente, que se mide con las dimensiones o variables observables: implicación, ayuda del profesor y afiliación, en donde la implicación se refiere al interés por las actividades escolares y la afiliación alude a la amistad y ayuda entre los alumnos (Guil, et al, 1999, p. 122). Se podría entonces determinar a qué dimensión está más sesgada una pregunta que mide el clima social escolar.

El modelo se podría generalizar para cuatro variables o más, haciendo uso de un gran potencial de abstracción, ya que las gráficas de las funciones de pertenencia se tendrían que visualizar en espacios de 4 dimensiones o más, lo que requeriría de matemáticos expertos en geometría proyectiva.

Anexo 1. Notación con índices para conjuntos en general

En el presente anexo se exponen las definiciones y explicaciones necesarias para entender la notación con índices para conjuntos.

Las definiciones de función inyectiva y suprayectiva se pueden consultar en la mayoría de libros de álgebra superior o cálculo diferencial e integral, en este caso la consulta se hizo en Bravo, Rincón M. y Rincón O., 2006, p. 98.

Definición A.1.1. Una función $f: A \rightarrow B$ inyectiva cumple que para dos elementos cualquiera $a_1, a_2 \in A$ si $f(a_1) = f(a_2)$ entonces $a_1 = a_2$. Lo que es equivalente a afirmar que si $a_1 \neq a_2$ implica que $f(a_1) \neq f(a_2)$ para todo $a_1, a_2 \in A$.

Definición A.1.2. Una función $f: A \rightarrow B$ suprayectiva satisface que, para todo elemento, b , del contradominio, B , existe un elemento, a , que pertenece al dominio, A , de tal manera que cumple que $f(a) = b$. Otra manera de expresar esto es requerir que la imagen de la función sea igual que su contradominio, $f(A) = B$.

Dado un conjunto C que tiene como elementos a otros conjuntos y además se requiere indicar o indexar a cada uno de sus elementos con los índices i de un conjunto I , se define una función $\varphi: I \rightarrow C$ suprayectiva de tal forma que pase de los índices i a los elementos del conjunto, $\varphi(i) = \Lambda_i \in C$. El conjunto C se puede describir como $\{\Lambda_i\}_{i \in I} = \{\Lambda_i \mid i \in I\}$, de esta manera se tienen presentes todos los elementos, y recibe el nombre de conjunto indicado o indexado. Si los elementos Λ_i del conjunto C

son conjuntos, a C se le llama familia indicada o indexada de conjuntos. Un ejemplo puede ser $C = \{\Lambda_w, \Lambda_x, \Lambda_y, \Lambda_z\}$ con el conjunto de índices $I = \{w, x, y, z\}$ (Gómez, L. C., 2007, p.12).

Las propiedades que definen el concepto de partición clásica restringen a la función φ a que sea inyectiva, ya que los conjuntos son distintos entre sí y no se intersectan.

Anexo 2. Otras operaciones sobre conjuntos difusos

En el actual anexo se presentan dos operaciones que se aplican sobre conjuntos difusos. Se pueden consultar en Martín y Sanz, 2007, p. 259.

La concentración de la función de pertenencia del conjunto difuso A se calcula con la ecuación

$$\mu_{Conc(A)}(x) = \mu_A^2(x). \quad (A.2.1)$$

En la figura 42 se aprecia como cambia la operación concentración a una función $\mu_A(x)$.

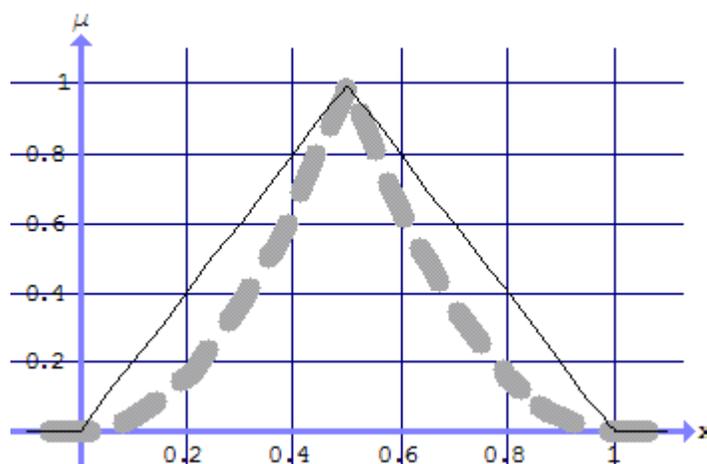


Figura 43. Gráfica de la función de pertenencia concentrada de A .

Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007) p. 259

La gráfica, de la figura 42, trazada con la línea continua delgada y negra representa a la función de pertenencia $\mu_A(x)$, y la gráfica que representa a la concentración, $\mu_{Conc(A)}(x)$, se trazó con la línea discontinua, gruesa y gris. La figura muestra que los valores de $\mu_{Conc(A)}(x)$ son menores que los valores de $\mu_A(x)$ en $0 < x < 0.5$ y en $0.5 < x < 1$.

Para dilatar una función de pertenencia $\mu_A(x)$ se utiliza la ecuación:

$$\mu_{Dilat(A)}(x) = \sqrt{\mu_A(x)} . \quad (A.2.2)$$

la figura 43 presenta gráficamente de qué manera modifica la dilatación a la función de pertenencia $\mu_A(x)$.

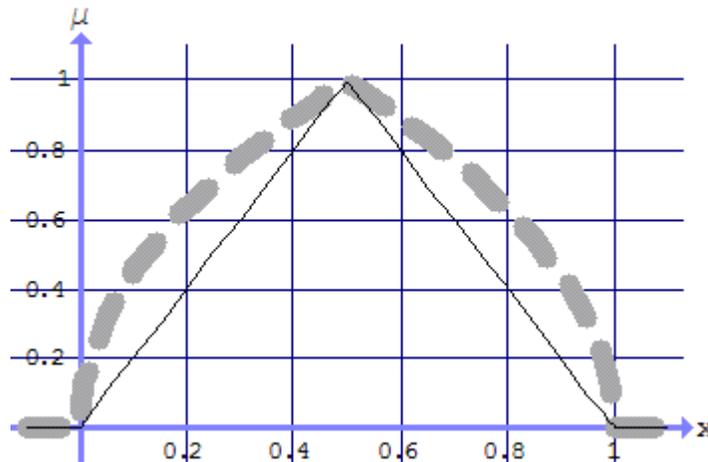


Figura 44. Gráfica de la dilatación de la función de pertenencia $\mu_A(x)$.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007) p. 259

La gráfica presentada en la figura 43 de la función de pertenencia $\mu_A(x)$ se representa con la línea continua delgada y negra, y la función de pertenencia dilatada, $\mu_{Dilat(A)}(x)$, con la línea discontinua, gruesa y gris. En esta figura se puede ver que los valores de $\mu_{Dilat(A)}(x)$ son mayores a los de $\mu_A(x)$ en $0 < x < 0.5$ y en $0.5 < x < 1$.

Anexo 3. Funciones de pertenencia de tipo sigmoidal y gamma

En este anexo se presenta una forma alterna de parametrizar una función tipo s y otras dos maneras de parametrizar una función γ .

Otra parametrización de una función tipo sigmoidal o con forma de s es

$$E(x; k, b) = \frac{1}{1 + e^{-k(x-b)}} \quad (\text{A.3.1})$$

(Martín y Sanz, 2007, p. 254). Como se puede observar, a diferencia de la función presentada en el capítulo 2, no es una función definida por ramas y se necesitan solamente dos parámetros, k y b , para definirla, en vez de tres. Mientras más grande es k , más rápido crece la gráfica y al evaluar en $x = b$, la función adquiere el valor de 0.5. Aunque se necesitan menos parámetros para definirla (ya que la función de pertenencia s es una función por ramas y sus parámetros a y c se utilizan para determinar los puntos en donde la función deja de ser cero y comienza a ser uno, respectivamente) con base en el uso que se le vaya a dar a la función, hay que determinar a partir de qué valor podría aproximarse a cero y en qué valor se acerca lo suficiente a 1, es decir, es necesario ir dando valores a los parámetros k y b para definir estos puntos según lo requiera la situación que se necesita representar. Se presenta un ejemplo de una gráfica en la figura 44.

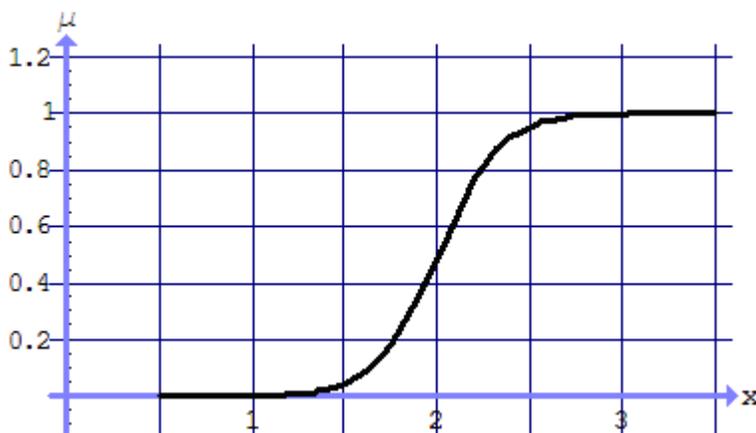


Figura 45. Gráfica de una función de pertenencia tipo sigmoideal definida con base en una función exponencial.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007) p. 254

En la figura 44 se muestra un ejemplo de una función con forma de s con parámetros $k = 6.1$ y $b = 2$.

Una manera alterna de parametrizar una función con tipo gamma es

$$\gamma_p(x; k, a) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{k(x-a)^2}{1+k(x-a)^2} & \text{si } a < x \end{cases} \quad (\text{A.3.2})$$

(Galindo, 2013, p.9). Al igual que la función anterior, crece más rápidamente mientras el valor de k se haga más grande, pero el valor de a determina cuando la función deja de ser cero. Tiene un comportamiento suave, no rectilíneo, y está compuesta de dos ramas, no de tres, a diferencia de la función γ definida en el capítulo 2. Un ejemplo se puede visualizar en la figura 45.

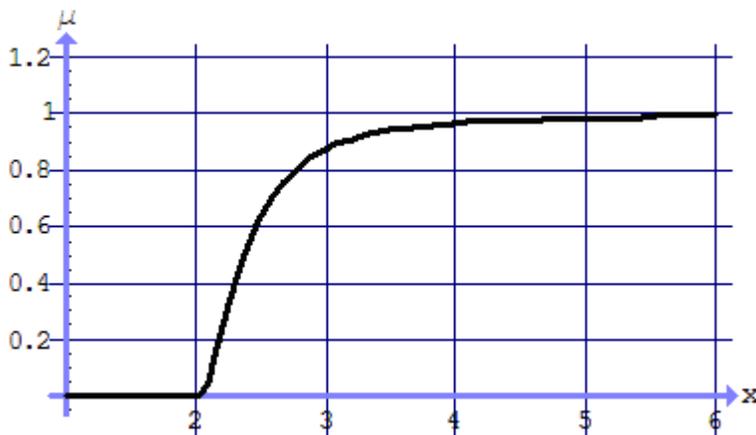


Figura 46. Gráfica de una función de pertenencia γ definida con base en un cociente de polinomios.

Fuente: Elaboración propia con base en Galindo (2013) p.9

La figura 45 presenta un ejemplo de la gráfica de una función gamma con parámetros $k = 7$ y $a = 2$.

Otra forma de parametrizar una función γ es la siguiente:

$$\gamma_e(x; k, a) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 1 - e^{-k(x-a)^2} & \text{si } a < x, \end{cases} \quad (\text{A.3.3})$$

(Galindo, 2013, p. 9) también, mientras el valor de k sea más grande, esta función crece más rápido. Y al igual que la función que se mostró previamente, el valor de a indica cuando la función comienza a adquirir valores positivos. Se tiene que determinar para qué valor es aproximadamente 1, según el uso que se le vaya a dar. Está compuesta de dos ramas y tiene un comportamiento no rectilíneo. Un ejemplo de la gráfica de esta función se visualiza en la figura 46.

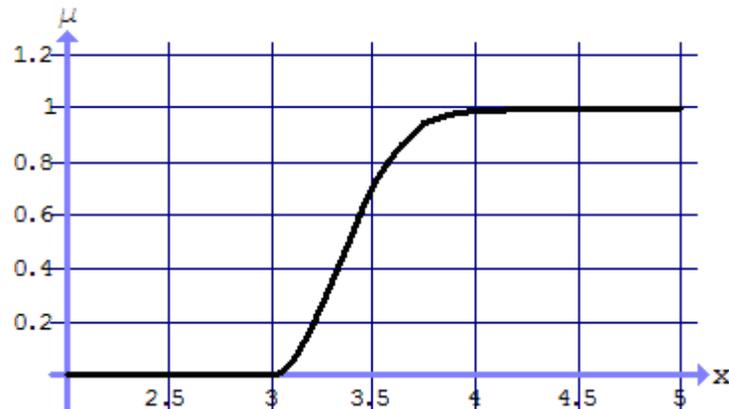


Figura 47. Gráfica de una función de pertenencia γ definida con base en una exponencial.

Fuente: Elaboración propia con base en Galindo (2013)

En la figura 46 se aprecia un ejemplo de la gráfica de una función gamma con parámetros $k = 5$ y $a = 3$.

Anexo 4. Funciones de pertenencia con forma de campana

En el presente anexo se muestra la parametrización directa de la función π sin utilizar la función s para simplificar la expresión. También se muestran tres funciones de pertenencia con forma de campana.

La parametrización directa de la función de pertenencia π con forma de campana es

$$\pi(x ; b, c) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < c - b \\ 2 \left[\frac{x - (c - b)}{c - (c - b)} \right]^2 & \text{si } c - b \leq x < c - \frac{b}{2} \\ 1 - 2 \left[\frac{x - c}{c - (c - b)} \right]^2 & \text{si } c - \frac{b}{2} \leq x < c \\ 1 - 2 \left[\frac{x - c}{(c + b) - c} \right]^2 & \text{si } c \leq x < c + \frac{b}{2} \\ 2 \left[\frac{x - (c + b)}{(c + b) - c} \right]^2 & \text{si } c + \frac{b}{2} \leq x < c + b \\ 0 & \text{si } c + b \leq x, \end{cases} \quad (\text{A.4.1a})$$

simplificando en cada una de las ramas, también se puede escribir como

$$\pi(x ; b, c) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < c - b \\ 2 \left(\frac{x - c + b}{b} \right)^2 & \text{si } c - b \leq x < c - \frac{b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x - c}{b} \right)^2 & \text{si } c - \frac{b}{2} \leq x < c \\ 1 - 2 \left(\frac{x - c}{b} \right)^2 & \text{si } c \leq x < c + \frac{b}{2} \\ 2 \left(\frac{x - c - b}{b} \right)^2 & \text{si } c + \frac{b}{2} \leq x < c + b \\ 0 & \text{si } c + b \leq x. \end{cases} \quad (\text{A.4.1b})$$

Una parametrización distinta de una función con forma de campana puede ser

$$E_p(x; k, m) = \frac{1}{1 + k(x - m)^2} \quad (\text{A.4.2})$$

(Galindo, 2013, p. 11). Esta función, llamada pseudo-exponencial (porque su gráfica es parecida a la gráfica de una exponencial con exponente cuadrado negativo, e^{-x^2}), a diferencia de la función π , no es una función definida por ramas y se define con base en dos parámetros, k y m . El parámetro m determina el centro de la campana y el parámetro k qué tan ancha es. Mientras sea más grande el valor de k , más afilada es la forma de la gráfica. En la figura 47 se presenta un ejemplo. Si bien no se necesitan seis ramas para definirla (o dos ramas utilizando la función s), es difícil determinar desde y hasta qué valores de x la función se acerca lo suficientemente a cero según lo que se quiera hacer. Para lograr esto, también es necesario asignar valores distintos a k y m hasta conseguir la función requerida.

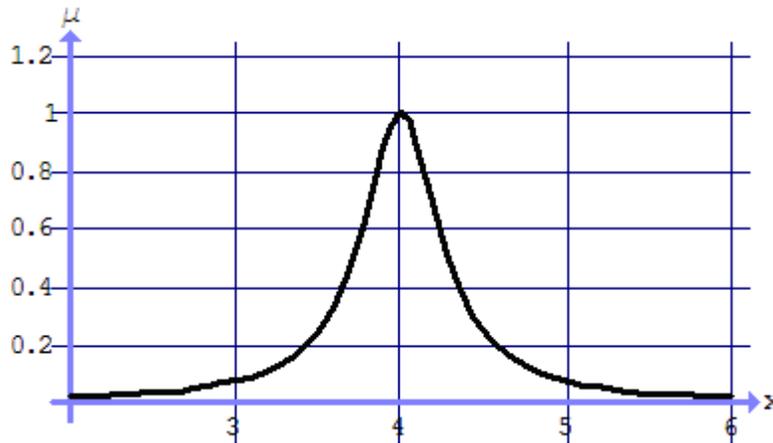


Figura 48. Gráfica de una función de pertenencia de tipo pseudo-exponencial.

Fuente: Elaboración propia con base en Galindo (2013)

La función que se presenta en la figura 47 tiene una gráfica en forma de campana y en el ejemplo está definida para $k = 12$ y $m = 4$.

Otra parametrización de una función con forma de campana es la forma Gaussiana

$$G(x; k, m) = e^{-k(x - m)^2} \quad (\text{A.4.3})$$

(Galindo, 2013, p. 10). En esta función, al igual que en la anterior, k es inversamente proporcional al ancho de la campana y el valor de m indica el lugar en donde se encuentra el centro de ésta, y tampoco

está definida por ramas figura 48. Nuevamente, se tiene que buscar para qué valores es aproximadamente cero según el uso que se le vaya a dar. Es muy parecida a la función de distribución

normal de probabilidad $f(y) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-\left(\frac{y - \mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2}}$, donde μ es el valor esperado y σ^2 la varianza (Wackerly, Mendenhall, & Scheaffer, 2010, p.178).

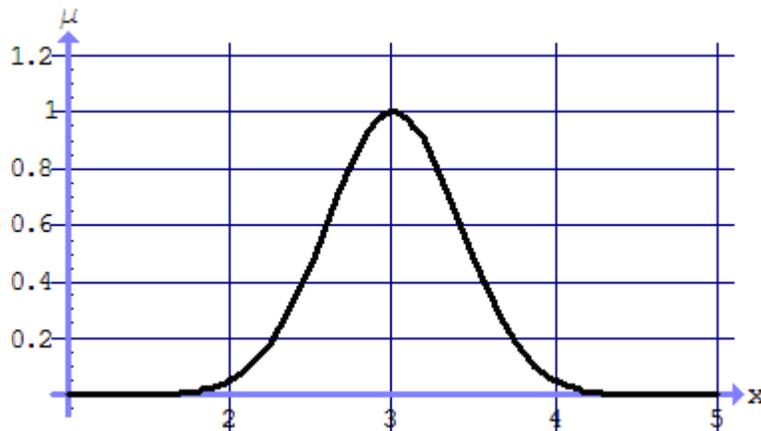


Figura 49. Gráfica de una función de pertenencia Gaussiana.

Fuente: Elaboración propia con base en Galindo (2013)

En la figura 48 se muestra el ejemplo de una gráfica de tipo Gaussiana, la cual tiene como valores $k = 3$ y $m = 3$.

La función singleton se define como

$$\delta(x; a) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \neq a \\ 1 & \text{si } x = a. \end{cases} \quad (\text{A.4.4})$$

La función evaluada en a vale 1 y en los valores distintos de a vale 0, se presenta un ejemplo en la figura 49. Es utilizada comúnmente en sistemas borrosos simples para delimitar los conjuntos borrosos correspondientes a las particiones de las variables de salida, ya que hace más sencillos los cálculos (Martín & Sanz, 2007, pp. 252-3). Se podría ver como un caso particular de la función Gaussiana

$$\delta(x; a) = \lim_{k \rightarrow \infty} G(x; k, m = a).$$

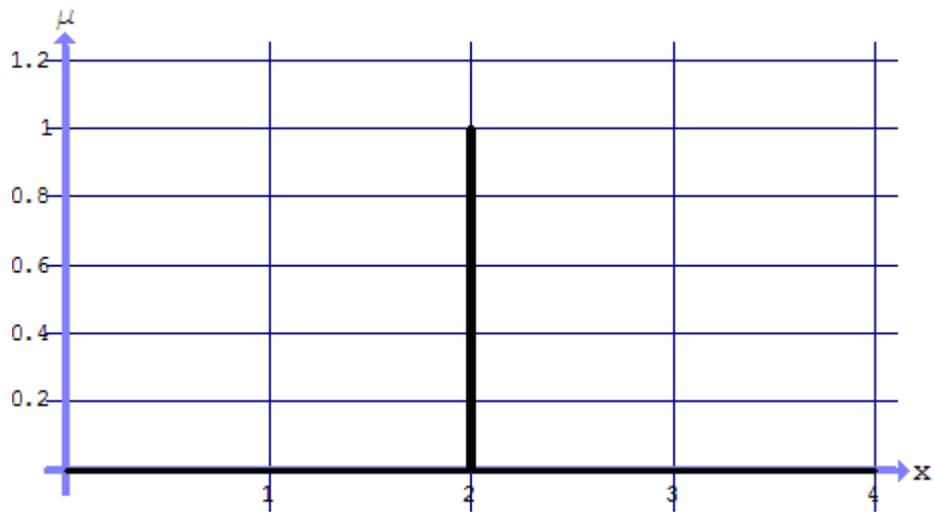


Figura 50. Gráfica de una función de pertenencia tipo singleton.

Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007)

En la figura 49 se aprecia que la función vale 1 para $x = 2$ y adquiere el valor de cero para $x \neq 2$, en este caso $a = 2$.

Anexo 5. Funciones de pertenencia para el ejemplo de Tiempo de exposición a una intensidad de sonido de 87 dB

En el actual anexo se presentan las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos utilizados en el ejemplo para la variable lingüística llamada tiempo de exposición a una intensidad de sonido de 87 dB (Instituto Navarro de Salud Laboral [INSL], 2008, p. 33) con sus respectivas gráficas. El universo de discurso abarca el intervalo de 0 a 16 horas.

La parametrización de la función de pertenencia tiempo de exposición breve es

$$\mu_{Breve}(t; 1, 3) = \begin{cases} 1 & \text{si } t < 1 \\ \frac{3-t}{3-1} & \text{si } 1 \leq t < 3, \\ 0 & \text{si } 3 \leq t \end{cases} \quad (\text{A.5.1})$$

y en la figura 50 se puede ver la gráfica de la función.



Figura 51. Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición breve.

Fuente: Elaboración propia con base en Solsona (1997)

En la figura 50 se observa la función de tipo *L* y los valores positivos se encuentran en la primera parte del universo de discurso, el intervalo [0,3).

El conjunto difuso llamado breve tiene una función de pertenencia con forma de trapecio rectangular, el cual omite su lado izquierdo creciente, porque este conjunto se encuentra en el extremo inferior del universo de discurso, y antes de éste no se considera otro conjunto con el cual se pueda interceptar. En el lado derecho de la función existe una intersección con la función de pertenencia del conjunto moderado en el intervalo (2,3). De la hora 0 hasta la 1 se mantiene constante con grado de pertenencia 1, ya que una hora es un tiempo breve en comparación a 8 horas, y desde la hora 1 a la 3 disminuye, linealmente, porque va dejando de ser breve.

La función de pertenencia tiempo de exposición moderado se parametriza:

$$\mu_{Moderado}(t; 2, 3, 5, 6) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 2 \\ \frac{t-2}{3-2} & \text{si } 2 \leq t < 3 \\ 1 & \text{si } 3 \leq t < 5 \\ \frac{6-t}{6-5} & \text{si } 5 \leq t < 6 \\ 0 & \text{si } 6 \leq t. \end{cases} \quad (\text{A.5.2})$$

La gráfica de esta función se puede ver en la figura 51.

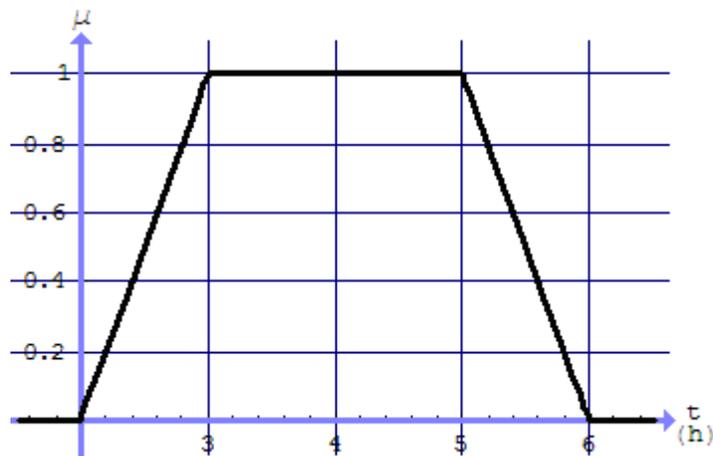


Figura 52. Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición moderado.

Fuente: Elaboración propia con base en Solsona (1997)

En la figura 51 se muestra la gráfica correspondiente a una función con forma trapezoidal es distinta de cero para valores en el intervalo (2,6) dentro del universo de discurso.

Al valor lingüístico moderado se le asigna una función de pertenencia con forma de trapecio entero, el cual incluye su parte izquierda creciente y derecha decreciente, debido a que se intercepta con el conjunto difuso breve, entre las horas 2 y 3, y máximo recomendado, en medio de las horas 5 y 6, a su izquierda y derecha respectivamente. De 2 a 3 horas crece desde cero hasta uno, linealmente, porque comienza a ser moderado, de 3 a 5 horas es completamente moderado, por eso la función de pertenencia vale 1, y de 5 a 6 horas se comporta como un segmento de recta con pendiente negativa ya que va dejando de ser moderado.

La función de pertenencia tiempo de exposición máximo recomendado se representa por la expresión

$$\mu_{M\acute{a}x\text{ Recomendado}}(t; 5, 8, 11) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 5 \\ \frac{t-5}{8-5} & \text{si } 5 \leq t < 8 \\ \frac{11-t}{11-8} & \text{si } 8 \leq t \leq 11 \\ 0 & \text{si } 11 < t \end{cases} \quad (\text{A.5.3})$$

en donde la gráfica se ilustra en la figura 52.

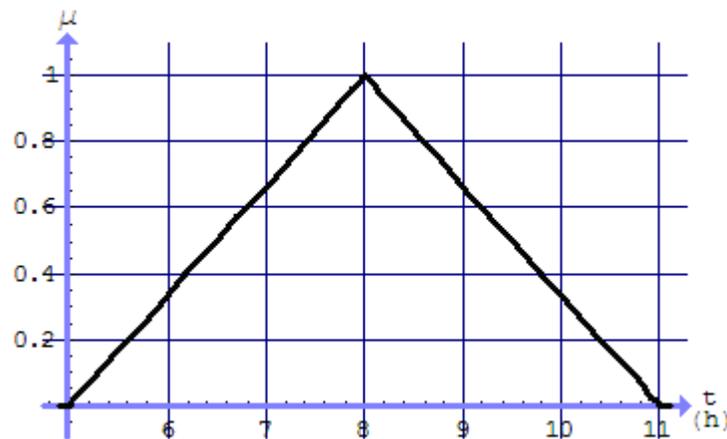


Figura 53. Gráfica de la función de pertenencia del Tiempo de Exposición Máximo Recomendado.

Fuente: Elaboración propia con base en Solsona (1997)

La figura 52 muestra la gráfica que tiene forma de trapecio y es mayor a cero en los valores de la parte de en medio del universo de discurso, (5,11).

Se asocia una función de pertenencia triangular al conjunto difuso máximo recomendado debido a que un solo valor fijo lo caracteriza, 8 h. La función crece como se aproxima a este por la izquierda, (5,8),

y decrece como se aleja de él por la derecha, (8,11). Se intercepta con los conjuntos difusos moderado y excesivo en los intervalos (5,6) y (10,11) respectivamente.

La parametrización de la función de pertenencia tiempo de exposición excesivo es

$$\mu_{Excesivo}(t; 10, 11, 13, 14) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 10 \\ \frac{t-10}{11-10} & \text{si } 10 \leq t < 11 \\ 1 & \text{si } 11 \leq t < 13 \\ \frac{14-t}{14-13} & \text{si } 13 \leq t < 14 \\ 0 & \text{si } 14 \leq t \end{cases} \quad (\text{A.5.4})$$

y en la figura 53 se puede apreciar su gráfica.

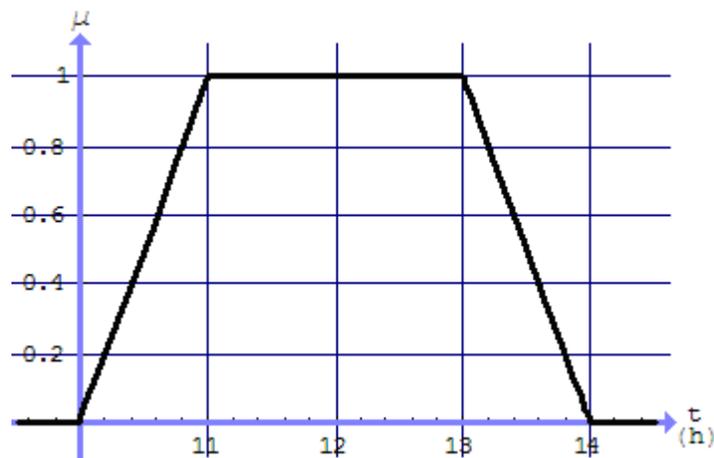


Figura 54. Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición excesivo.

Fuente: Elaboración propia con base en Solsona (1997)

La figura 53 presenta la gráfica de la función que tiene forma triangular y es distinta de cero en el intervalo (10,14).

El valor lingüístico excesivo tiene asignada una función de pertenencia con forma de trapezoidal en la cual existen dos intersecciones, una con el conjunto máximo recomendado por el lado izquierdo, en medio de las horas 10 y 11, y otra con el conjunto demasiado por el lado derecho, entre las horas 13 y 14. Desde las 10 a las 11 horas aumenta su valor de cero hasta uno como un segmento de recta, ya que empieza a ser excesivo, de las 11 hasta 13 horas se es totalmente excesivo, el valor de la función de

pertenencia es 1, y de 13 a 14 horas disminuye linealmente porque va dejando de ser excesivo para convertirse en demasiado.

La función de pertenencia tiempo de exposición excesivo tiene la parametrización

$$\mu_{Demasiado}(t; 13, 15) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 13 \\ \frac{t-13}{15-13} & \text{si } 13 \leq t < 15 \\ 1 & \text{si } 15 \leq t \end{cases} \quad (\text{A.5.5})$$

en donde la gráfica se puede ver en la figura 54.

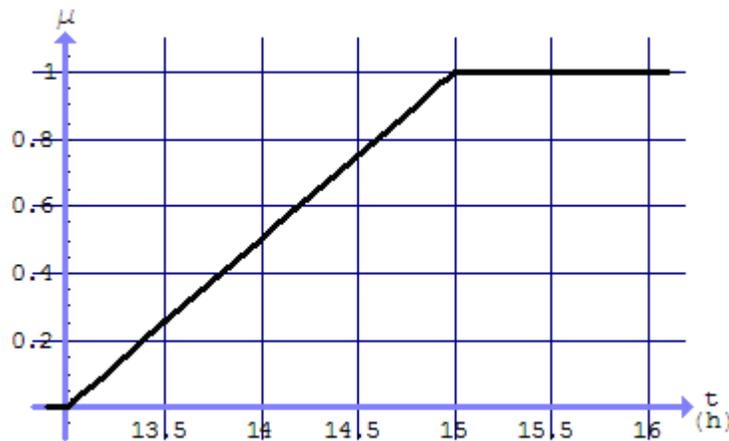


Figura 55. Gráfica de la función de pertenencia de tiempo de exposición demasiado.

Fuente: Elaboración propia con base en Solsona (1997)

En la figura 54 se observa la gráfica de la función de pertenencia que tiene forma de función γ para los últimos valores del universo de discurso la función es positiva, en el intervalo (13,16].

El conjunto demasiado posee una función de pertenencia con forma de trapecio truncado del lado derecho, ya que está definido para los últimos valores del universo de discurso, y por lo tanto no existe un conjunto después de éste con el cual pueda intersectarse. Existe una intersección entre el lado derecho de la función excesivo y el lado izquierdo de la función demasiado que comprende el intervalo (13,14). Desde la hora 13 a la 15 crece, linealmente, debido a que empieza a ser demasiado y de la hora 15 hasta la 16 se mantiene constante con grado de pertenencia 1, ya que 15 o más horas de exposición es demasiado.

Anexo 6. Operaciones entre conjuntos difusos. Unión de conjuntos difusos

En este anexo se explica la unión entre conjuntos difusos, se presentan sus propiedades y algunos ejemplos.

Para realizar la unión entre dos conjuntos difusos se utiliza la función S llamada t-conorma (distinta a la función con forma de s presentada en el Capítulo 2).

$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad (\text{A.6.1})$$

se escribe también como $\mu_A(x) \underset{*}{S} \mu_B(x)$, la cual se define como una función de dos variables en

$$S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]. \quad (\text{A.6.2})$$

Al igual que la t-norma cumple las propiedades de:

i) ser no decreciente según sus dos argumentos

$$S(a,c) \leq S(b,d) \text{ para } a \leq b \text{ y } c \leq d \quad (\text{A.6.3})$$

ii) ser conmutativa

$$S(a,b) = S(b,a) \quad (\text{A.6.4})$$

iii) ser asociativa

$$S(S(a,b),c) = S(a,S(b,c)) \quad (\text{A.6.5})$$

pero la condición en la frontera iv), presentada en el capítulo 2, cambia en comparación con la intersección:

$$S(a,0) = a, \quad (\text{A.6.6})$$

donde $a, b, c, d \in [0,1]$, i. e., son los valores que pueden tomar las funciones de pertenencia a las que se les aplica la operación intersección.

Una propiedad que se deduce de las condiciones anteriores es

$$S(a, 1) = 1 \quad (\text{A.6.7})$$

(Scherer, 2012, pp. 14-15).

En la tabla 15 se muestran las ecuaciones genéricas y gráficas que ejemplifican las operaciones que se utilizan para representar la unión de dos conjuntos difusos. Cabe mencionar que $\mu_A(x)$ es la función de forma triangular que se encuentra del lado izquierdo de la gráfica y $\mu_B(x)$ la función con la misma forma pero que está en el lado derecho.

Tabla 15. Ejemplos de t -conormas.

<i>Parametrización</i>	<i>Gráfica</i>
<p>Máxima</p> <p>$MÁX(\mu_A, \mu_B)$</p> <p>(A.6.8)</p>	
<p>Suma algebraica o probabilística</p> <p>$\mu_A + \mu_B - \mu_A \mu_B$</p> <p>(A.6.9)</p>	

Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007), p. 258, y Morrillas (2006) pp. 11, 15

Parametrización

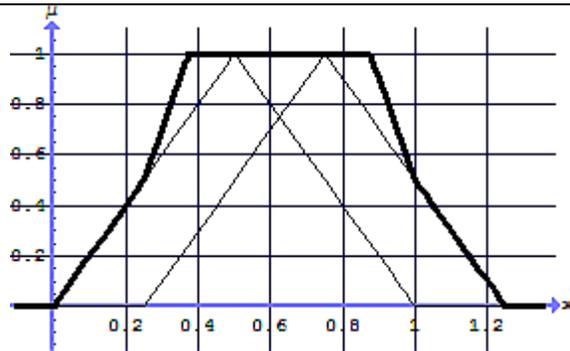
Gráfica

Suma limitada

$$\mu_A + \mu_B$$

$$= \min(1, \mu_A + \mu_B)$$

(A.6.10)



Fuente: Elaboración propia con base en Martín y Sanz (2007), p. 258, y Morrillas (2006) pp. 11, 15

Anexo 7. Breve biografía del Dr. Lotfi A. Zadeh

Lotfi Zadeh nació el año de 1921 en Baku, Azerbaijan Soviética; hijo de un periodista iraní y una médica rusa. Pero en 1931, cuando tenía 10 años, durante el régimen de Stalin, se mudaron a la ciudad natal de su padre, Tehran (Blair, 1999).

En el año de 1942 concluyó su licenciatura de ingeniería eléctrica en la Universidad de Tehran. Durante la Segunda Guerra Mundial, en 1944, llegó a los Estados Unidos para continuar sus estudios. Obtuvo su maestría en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (ITM) (Massachusetts Institute of Technology; MIT, por sus siglas en inglés) en el año de 1946 y su doctorado en la Universidad de Columbia en 1949, ambos en ingeniería eléctrica. El Dr. Zadeh también impartió cátedra de teoría de sistemas en Columbia. Desde 1959 dio clases en la Universidad de California en Berkeley en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, en donde se convertiría en presidente en el año 1963, y posteriormente en el de la División de Ciencias de la Computación (Blair, 1994).

Aunque el profesor Lotfi se retiró oficialmente de la Universidad de Berkeley en el año 1991, aún sigue haciendo contribuciones en el campo de los conjuntos difusos (Zadeh, 1998).

Anexo 8. Factores importantes para calcular el presupuesto de una encuesta

En el presente anexo presentamos una serie de criterios para elaborar el presupuesto de una encuesta.

Suponemos que es una encuesta domiciliaria hecha por un encuestador capacitado de tal manera que hay una dispersión geográfica considerable de los encuestadores de modo que hay gastos de hotel, viáticos y movilidad (Encuestas de Opinión, 2018).

El costo total de trabajo de campo es prácticamente fijo y se determina con base a la cantidad de encuestas que puede realizar un encuestador promedio por día. Lo más común es dar un salario en vez de pagar por encuesta, en el primer caso se debe contemplar la carga social que depende de la forma de contratación y la legislación laboral del lugar en donde se lleva a cabo la encuesta. Después se toma en cuenta gastos de traslado, hospedaje, comunicación, alimentación y supervisión. Y por último los gastos de diseño de investigación y encuesta, captura y análisis de datos (Encuestas de Opinión, 2018).

Anexo 9. Tablas comparativas entre indicadores GRI y CEMEFI-RSE

En el presente anexo se muestra algunas tablas que comparan características entre indicadores GRI y CEMEFI-RSE obtenidas de (González, 2007, pp. 80-85).

Tabla 16. *Tabla comparativa entre elementos de GRI y CEMEFI-RSE.*

GRI	CEMEFI-RSE
<p>Tiene una sección en la cual da orientación a las empresas para que entiendan su relación con la sostenibilidad y comprendan su contexto, lo cual les ayuda a elaborar sus reportes.</p>	<p>En vinculación con la comunidad pregunta sobre la existencia del proceso para valorar el impacto de las estrategias. En la sección destinada al cuidado del ambiente requiere información acerca de los procesos de medición de impactos ambientales.</p>
<p>En una sección anterior al reporte final se hacen pruebas que ayudan a determinar los grupos de interés y de esta manera se pueden reportar sus demandas.</p>	<p>En vinculación con la comunidad se hace referencia a la determinación y supervisión de asuntos importantes para la operación y prestigio de la empresa.</p>
<p>En la planificación requiere que la empresa sea precisa respecto al reporte, la gestión de recursos naturales. Y en respecto a las políticas, solicita que la empresa sea clara respecto a éstas en las cuestiones económica, ambiental y social.</p>	<p>La parte de ética y gobierno empresarial resalta la necesidad llevar a cabo políticas; en la sección de vinculación con la comunidad trata sobre la instauración objetivos. El aspecto ambiental se relaciona con la toma de decisiones con base en las responsabilidades ambientales.</p>
<p>Es una iniciativa para reportar indicadores precisos que evalúan el progreso en cuestiones de responsabilidad social y sustentabilidad. También se interesa por la estrategia que sostiene al reporte, orienta antes de plantear acciones precisas e incluyentes de los impactos que le interesan a la empresa.</p>	<p>Trata la importancia de evaluar y reportar, pero no es un requisito, aunque existen distintas maneras de verificar las respuestas del cuestionario algunas veces no hay necesidad de medir. Se limita a corroborar que las empresas satisfagan los elementos que ellas consideren.</p>

González (2007) pp. 80-81

Tabla 17. *Tabla comparativa entre categorías de GRI y CMEFI-RSE.*

GRI	CMEFI-RSE
<p>Para reportar el aspecto social contempla: la cantidad de etapas en ciclo de vida del producto en las cuales se atienden los impactos de seguridad e higiene, porcentaje de productos sujetos a normas de etiquetado, planes de mercadotecnia, cantidad de percances que están vinculados con el producto.</p>	<p>En la parte de Ética y Gobierno Empresarial, corrobora normas de seguridad y la cantidad de información para el consumidor. La relación de causa social de producto de parte de CMEFI.</p>
<p>Las prácticas de mercado se relacionan al aspecto económico, evaluando la vinculación entre los salarios del mercado laboral y las prácticas de mercadeo. Atiende lo relacionado a los códigos de conducta y ética partiendo del plano estratégico anterior al diseño y publicación del reporte por medio del gobierno corporativo.</p>	<p>Para las prácticas de mercadeo, contempla entre sus preguntas la implementación de un código de conducta, la transparencia y la corrupción y la responsabilidad de parte de la empresa en relación al desempeño y promoción ética.</p>
<p>La educación y entrenamiento es considerada en Ámbito Social-Laboral, cuantificando el porcentaje de horas y trabajadores que reciben capacitación, el porcentaje de trabajadores a los que se les elabora un plan profesional, así como la cantidad de trabajadores que reciben entrenamiento o asisten a cursos acerca del cuidado de la salud.</p>	<p>El entrenamiento en el contexto de responsabilidad social y ambiental para los trabajadores y la incorporación de la educación a sus colaboradores según el programa Cero Rezago del Instituto Nacional para la Educación de los Adultos.</p>
<p>Respecto a la filantropía corporativa, en el aspecto económico contempla las donaciones e inversión social entre varios indicadores referentes al valor agregado a través del desempeño económico.</p>	<p>En vinculación con la comunidad se alude a las actividades filantrópicas del corporativo por medio de la divulgación interna y el apoyo a proyectos.</p>
<p>El medio ambiente contempla una gran variedad de sub aspectos. La propuesta de indicadores que permiten identificar el progreso es amplia e induce a la empresa a medir sub aspectos relevantes en cuestión.</p>	<p>El aspecto ambiental considera demasiados sub aspectos: la fijación de metas y compromisos. Es precisa al referirse al agua, energía y residuos y el tema en la producción y operación. No cuestiona tanto en las actividades relacionadas con estos puntos y requiere el reporte anual de los avances por medio de un cuestionario, para las empresas que quieren obtener nuevamente el distintivo.</p>
<p>Cuantifica el porcentaje de trabajadores reunidos en comités de salud y seguridad, porcentaje de inasistencias causadas por enfermedad o accidentes.</p>	<p>Mediante de preguntas con respuestas tipo “sí” o “no”, obtiene información de la empresa acerca de las condiciones de trabajo.</p>

González (2007) pp. 81-82

Tabla 18. *Tabla comparativa entre Iniciativas e interpretaciones entre GRI y CMEFI-RSE.*

GRI	CMEFI-RSE
Incluye subtemas en los aspectos de la sostenibilidad.	Incluye subtemas solo en el caso de patrones de consumo. Únicamente trata tecnologías amigables con el medio ambiente.
Considera la capacitación del empleado como ayuda al aspecto social.	Solo toma como apoyo a los problemas sociales la alfabetización.
Los indicadores hacen posible medir el progreso respecto al desarrollo sostenible.	No todas las opciones de respuesta del cuestionario remiten a una medición.

González (2007) p. 83

Tabla 19. *Otras diferencias entre categorías de GRI y CMEFI-RSE.*

GRI	CMEFI-RSE
No otorga un distintivo. La filantropía es una rama del aspecto económico. No incluye aspectos de mercadotecnia con causa. Tiene una escala que visualiza el avance y fechas de compromiso para abarcar los procesos y los indicadores reportados.	No es necesario hacer públicos sus indicadores. Ayuda en el Global Compact y el programa de Comunicación de Progreso. Otorga un distintivo. La filantropía es parte del autodiagnóstico. Incluye aspectos de mercadotecnia con causa. Otorga un certificado cada año y se evalúa para renovarlo el siguiente año si la empresa así lo quiere. Si no obtienen el certificado, la empresa se mantiene en anonimato. Ofrece un programa de apoyo en el caso de deseen obtener el certificado el año siguiente.

González (2007) p. 85

Anexo 10. Instrumento de recolección de datos

En este anexo se presenta el instrumento de recolección de datos que se utilizó para recabar la opinión de los expertos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA



A QUIEN CORRESPONDA
P R E S E N T E:

Asunto: Solicitud de apoyo para contestar encuesta sobre estudio de indicadores de producción sostenible

Escribe Armando Gómez Monreal, alumno de la Maestría en Ingeniería en Sistemas, campo disciplinario en Ingeniería Industrial, con sede en la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la UNAM.

Lo distraigo de sus actividades con la intención de solicitar, atentamente, su invaluable colaboración para contestar la encuesta, que se adjunta al presente documento. El propósito es recabar su opinión como experto sobre la clasificación de los indicadores de producción sostenible que se presentan, lo cual permitirá obtener datos para mi tesis. Considero que sus respuestas para este estudio son de suma importancia.

Los datos obtenidos de las respuestas de la encuesta, aplicada a todos los expertos, se analizarán e interpretarán desde la base de la teoría de conjuntos difusos.

Sin más por el momento y en espera de contar con su valioso apoyo, le envío un cordial saludo.

Atentamente

Fís. Armando Gómez Monreal



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
 DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

“ENCUESTA PARA IDENTIFICAR A QUE PILAR DE LA SOTENIBILIDAD PERTENECEN LOS INDICADORES DE PRODUCCIÓN DE SOSTENIBLE”

Folio: _____

*“Desarrollo sostenible es el que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”.*¹

*“Los tres componentes del desarrollo sostenible- desarrollo económico, desarrollo social y protección del medio ambiente - como pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente”.*²

Datos del experto

Ocupación (en caso de realizar más de dos indicar la más importante):

Docente: _____ Investigador: _____ Otra: _____ ¿Cuál?

Nombre del lugar en donde labora (empresa, unidad académica o de investigación): _____

Nivel de estudios concluido:

Licenciatura: _____ Especialidad: _____ Maestría: _____ Doctorado: _____ Postdoctorado: _____

¹Brundtland, G. H. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common

Future. Oslo. Recuperado el 15 de diciembre del 2015, de: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>.

pp. 16,40.

²United Nations. (2005) General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly. 60/1. 2005 World Summit

Outcome. pp. 11-2

Campo de conocimientos que domina: Económico: Social: Ambiental: _____

Instrucciones: A continuación, se presentan dos listas de indicadores de producción sostenible, marque con una “x” a qué pilar de la sostenibilidad (**E = económico, S = social o A = ambiental**) pertenece cada uno de ellos.

Lista 1

No.	Indicador	E	S	A
1	Porcentaje de los principales distribuidores y contratistas que han sido objeto de análisis en materia de derechos humanos, y medidas adoptadas como consecuencia.			
2	Número total de incidentes relacionados con violaciones de los derechos de los indígenas y medidas adoptadas.			
3	Entendimiento y descripción de los impactos económicos indirectos significativos, incluyendo el alcance de dichos impactos.			
4	Periodo(s) mínimo(s) de preaviso relativo(s) a cambios organizacionales, incluyendo si estas notificaciones son especificadas en los contratos colectivos de trabajo.			
5	Identificación, tamaño, estado de protección y valor de biodiversidad de recursos hídricos y hábitats relacionados, afectados significativamente por vertidos de agua y aguas de escorrentía ³ de la organización informante.			
6	Costo de las multas significativas y número de sanciones no monetarias por incumplimiento de la normativa ambiental.			
7	Porcentaje de empleados cubiertos por un contrato colectivo de trabajo.			
8	Operaciones de la empresa y de proveedores importantes identificadas como de riesgo significativo de ser origen de episodios de trabajo forzado o no consentido, y las medidas adoptadas para contribuir a su eliminación.			
9	Consumo indirecto de energía desglosado por fuentes primarias.			
10	Total de horas de formación de los empleados sobre políticas y procedimientos relacionados con aquellos aspectos de los derechos humanos relevantes para sus			

³ escorrentía f. Corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales. Circulación libre del agua de lluvia sobre la superficie de un terreno. Diccionario Enciclopédico Vox 1. (2009). escorrentía. Recuperado el 15 de agosto del 2016 de: <http://es.thefreedictionary.com/escorrentía>

No.	Indicador	E	S	A
	actividades, incluyendo el porcentaje de empleados formados.			
11	Descripción de los impactos más significativos en la biodiversidad en espacios naturales protegidos o en áreas de alta biodiversidad no protegidas, derivados de las actividades, productos y servicios en áreas protegidas y en áreas de alto valor en biodiversidad en zonas ajenas a las áreas protegidas.			
12	Valor total de las aportaciones financieras y en especie a partidos políticos o a instituciones relacionadas, por países.			
13	Número total de quejas justificadas en relación con la violación de la privacidad de los consumidores y las pérdidas de datos de los clientes.			
14	Iniciativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y las reducciones logradas.			
15	Prácticas con respecto a la satisfacción del cliente, incluyendo los resultados de los estudios de satisfacción del cliente.			
16	Relación entre salario base de los hombres con respecto al de las mujeres, desglosado por categoría profesional y por actividad principal.			
17	Consecuencias financieras y otros riesgos y oportunidades para las actividades de la organización debido al cambio climático.			
18	Otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero, en peso.			
19	Asuntos de salud y seguridad cubiertos en acuerdos formales con sindicatos.			
20	Tasas de retorno al trabajo y de retención después de la licencia parental, por género.			
21	Peso total de residuos gestionados, según tipo y método de tratamiento.			
22	Valor monetario de sanciones y multas significativas y número total de sanciones no monetarias derivadas del incumplimiento de leyes y regulaciones.			
23	Naturaleza, alcance y efectividad de programas y prácticas para evaluar y gestionar los impactos de las operaciones en las comunidades, incluyendo entrada, operación y abandono de la empresa.			

No.	Indicador	E	S	A
24	Valor económico directo generado y distribuido, incluyendo ingresos, costos de operación, retribución a empleados, donaciones y otras inversiones en la comunidad, beneficios no distribuidos y pagos a proveedores de capital y a gobiernos.			
25	Operaciones de la empresa y de proveedores significativos identificadas en las que el derecho a la libertad de asociación y de negociación colectiva pueda correr importantes riesgos, y las medidas adoptadas para respaldar estos derechos.			
26	Emisiones de sustancias destructoras de la capa ozono, en peso.			
27	Número de especies, desglosadas en función de su peligro de extinción, incluidas en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y en listados nacionales y cuyos hábitats se encuentren en áreas afectadas por las operaciones según el grado de amenaza de la especie.			
28	Porcentaje de empleados que reciben evaluaciones regulares del desempeño y de desarrollo profesional, por género.			
29	Porcentaje y número total de operaciones que han sido sometidas a revisiones de derechos humanos y/o evaluaciones de impacto.			
30	Porcentaje y número total de acuerdos de inversión significativos que incluyan cláusulas de derechos humanos o que hayan sido objeto de análisis en materia de recursos humanos.			
31	Iniciativas para mitigar los impactos ambientales de los productos y servicios, y grado de reducción de ese impacto.			
32	Fuentes de agua que han sido afectadas significativamente por la captación de agua.			
33	Política, prácticas y proporción de gasto correspondiente a proveedores locales en lugares donde se desarrollen operaciones significativas.			
34	Composición de los órganos de gobierno corporativo y plantilla, desglosado por género, grupo de edad, pertenencia a minorías y otros indicadores de diversidad.			
35	Número total de incidentes fruto del incumplimiento de las regulaciones relativas a las comunicaciones de mercadotecnia, incluyendo publicidad, promoción y patrocinio, distribuidos en función del tipo de resultado de dichos incidentes.			
36	Desarrollo e impacto de las inversiones en infraestructuras y los servicios prestados principalmente para el beneficio público mediante compromisos comerciales,			

No.	Indicador	E	S	A
	probono, o en especie.			
37	Vertimiento total de aguas residuales, según su naturaleza y destino.			
38	Porcentaje del total de trabajadores que está representado en comités de salud y seguridad conjuntos de dirección-empleados, establecidos para ayudar a controlar y asesorar sobre programas de salud y seguridad en el trabajo.			
39	Estrategias y acciones implantadas y planificadas para la gestión de impactos sobre la biodiversidad.			
40	Porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada.			
41	Beneficios sociales para los empleados con jornada completa, que no se ofrecen a los empleados temporales o de media jornada, desglosado por actividad principal.			
42	Número de quejas relacionadas con derechos humanos, presentadas abordadas y resueltas a través de mecanismos de queja formal.			
43	Ayudas financieras significativas recibidas de gobiernos.			
44	Porcentaje de los materiales utilizados que son materiales valorizados. ⁴			
45	Número total de incidentes de discriminación y medidas adoptadas.			
46	Fases del ciclo de vida de los productos y servicios en las que se evalúan, para en su caso ser mejorados, los impactos de los mismos en la salud y seguridad de los clientes, y porcentaje de categorías de productos y servicios significativos sujetos a tales procedimientos de evaluación.			
47	Rango de las relaciones entre el salario inicial estándar por género comparado contra el salario mínimo local en lugares donde se desarrollen operaciones significativas.			
48	Porcentaje de empleados formados en las políticas y procedimientos anticorrupción de la organización.			
49	Peso de los residuos transportados, importados, exportados o tratados que se			

⁴ Los materiales valorizados son aquellos que conforman residuos de otra empresa y que son empleados como insumo en nuestro proceso productivo. CODELCO. (2013). Codelco Reporte 2013 - Materiales valorizados. Recuperado el 15 de Agosto del 2016 de: <https://www.codelco.com/materiales-valorizados/reporte2013/2014-04-17/193512.html>

No.	Indicador	E	S	A
	consideran peligrosos según la clasificación del Convenio de Basilea, anexos I, II, III y VIII y porcentaje de residuos transportados internacionalmente.			
50	Operaciones con importantes impactos negativos potenciales o reales en las comunidades locales.			
51	Tipos de información sobre los productos y servicios que son requeridos por los procedimientos en vigor y la normativa, y porcentaje de productos y servicios sujetos a tales requerimientos informativos.			
52	Captación total de agua por fuentes.			
53	Iniciativas para reducir el consumo indirecto de energía y las reducciones logradas con dichas iniciativas.			
54	Procedimientos para la contratación local y proporción de altos directivos procedentes de la comunidad local en lugares donde se desarrollen operaciones significativas.			
55	Posición en las políticas públicas y participación en el desarrollo de las mismas y de actividades de cabildeo ⁵ .			
56	Consumo directo de energía desglosado por fuentes primarias.			
57	Número total de acciones por causas relacionadas con prácticas monopolísticas y contra la libre competencia, y sus resultados.			
58	Medidas tomadas en respuesta a incidentes de corrupción.			
59	Iniciativas para proporcionar productos y servicios eficientes en el consumo de energía o basados en energías renovables, y las reducciones en el consumo de energía como resultado de esas iniciativas.			

No.	Indicador	E	S	A
60	Programas de educación, formación, asesoramiento, prevención y control de riesgos que se apliquen a los trabajadores, a sus familias o a los miembros de la comunidad			

⁵cabildear intr. Gestionar con actividad y maña para ganar voluntades en un cuerpo colegiado o corporación. Diccionario Enciclopédico Vox 1. (2009). cabildear. Recuperado el 15 de agosto del 2016 de: <http://es.thefreedictionary.com/cabildear>

No.	Indicador	E	S	A
	en relación con enfermedades graves.			
61	Ahorro de energía debido a la conservación y a mejoras en la eficiencia.			
62	Porcentaje y número total de unidades de negocio analizadas con respecto a riesgos relacionados con la corrupción.			
63	Hábitats protegidos o restaurados.			
64	Porcentaje de productos vendidos y sus materiales de empaque, que son recuperados al final de su vida útil, por categorías de productos.			
65	Total de trabajadores por tipo de empleo, contrato de trabajo y región, desglosadas por género.			
66	Operaciones de la empresa y de proveedores significativos identificadas que conllevan un riesgo potencial de incidentes de explotación infantil, y las medidas adoptadas para contribuir a su eliminación.			
67	Medidas de prevención y migración en operaciones con importantes impactos negativos potenciales o reales en las comunidades locales.			
68	NO (Monóxido de nitrógeno), SO (Monóxido de azufre) y otras emisiones significativas al aire por tipo y peso.			
69	Desglose por tipo del total de gastos e inversiones ambientales.			
70	Porcentaje del personal de seguridad que ha sido formado en las políticas o procedimientos de la organización en cuanto a aspectos de derechos humanos que son relevantes para las actividades.			
71	Descripción de terrenos adyacentes o ubicados dentro de espacios naturales protegidos o de áreas de alta biodiversidad no protegidas. Indíquese la localización y el tamaño de terrenos en propiedad, arrendados, o que son gestionados de alto valor en biodiversidad en zonas ajenas a áreas protegidas.			
72	Impactos ambientales significativos del transporte de productos y otros bienes y materiales utilizados para las actividades de la organización, así como del transporte de personal.			
73	Número total de incidentes derivados del incumplimiento de la regulación legal o de los códigos voluntarios relativos a los impactos de los productos y servicios en la salud y la seguridad durante su ciclo de vida, distribuidos en función del tipo de			

No.	Indicador	E	S	A
	resultado de dichos incidentes.			
74	Promedio de horas de formación al año por empleado, desglosado por categoría de empleado.			
75	Cobertura de las obligaciones de la organización debidas a programas de beneficio social.			
76	Número total de empleados y rotación media de empleados, desglosados por grupo de edad, sexo y región.			
77	Número total de incumplimientos de la regulación y de los códigos voluntarios relativos a la información y al etiquetado de los productos y servicios, distribuidos en función del tipo de resultado de dichos incidentes.			

No.	Indicador	E	S	A
78	Programas de gestión de habilidades y de formación continua que fomenten la empleabilidad de los trabajadores y que les apoyen en la gestión del final de sus carreras profesionales.			
79	Número total y volumen de los derrames accidentales más significativos.			
80	Tasas de absentismo, enfermedades profesionales ⁶ , días perdidos y número de víctimas mortales relacionadas con el trabajo por región y por género.			
81	Programas de cumplimiento de las leyes o adhesión a estándares y códigos voluntarios mencionados en comunicaciones de marketing, incluidos la publicidad, otras actividades promocionales y los patrocinios.			
82	Porcentaje de energía de fuentes renovables.			
83	Tasa de devoluciones y quejas de los clientes.			
84	Número de empleados por unidad de venta de productos o dólares.			

⁶ Enfermedad profesional es aquella que es causada, de manera directa, por el ejercicio del trabajo que realice una persona y que le produzca incapacidad o muerte. Instituto de Seguridad Laboral Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Gobierno de Chile. (2015). Enfermedad Profesional. Recuperado el 15 de agosto del 2016 de: http://www.isl.gob.cl/wp-content/uploads/2014/04/Enfermedad_Profesional.pdf. (última modificación 27 de Febrero del 2015 a las 07:16:24)

85	Tasa de rotación o antigüedad media de los empleados.				
86	Porcentaje de embalaje biodegradable.				
87	kg de químicos tóxicos persistentes y bioacumulativos utilizados.				
88	Porcentaje de productos con políticas de devolución en su sitio.				
89	Promedio de horas de capacitación de empleados al año.				
90	Tasa de sugerencias hechas por los empleados para mejorar el desempeño en la calidad, social y, ambiente salud y seguridad.				
91	Número de asociaciones comunidad-empresa.				
92	Costos asociados con el cumplimiento en cuestiones ambientales, de salud y seguridad como: multas, responsabilidades, pasivos, la compensación del trabajador, tratamiento y eliminación de residuos, remediación.				
93	Apertura de la organización a la revisión y la participación de los grupos de interés en el proceso de toma de decisiones.				
No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
94	Los gastos comunitarios y contribuciones caritativas como porcentaje de los ingresos.				

Lista 2

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
1	Masa total del embalaje	Masa absoluta			
2	Fracción de costo del agua	Costo del agua / Costos totales de producción			
3	Costos específicos de embalaje	Costos de embalaje / Producción de salida			
4	Fracción de valor de las inversiones en la actividad ética	Beneficio invertido en actividades comerciales éticas			
5	(Fuente de energía) fracción	Consumo por fuente de energía / Energía total consumida			

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
6	Inversiones en desarrollo de los empleados	Inversiones en la educación de los empleados y el desarrollo personal / profesional			
7	Energía para el reciclaje	Energía utilizada para el reciclaje			
8	Costos totales de material	Valor absoluto			
9	Nivel de ruido	Nivel de presión sonora en las estaciones de trabajo			
10	(Residuos sólidos peligrosos) fracción de masa	Masa de residuos sólidos peligrosos / Masa total de residuos sólidos			
11	Fracción de masa de gases de efecto invernadero	Masa total de equivalentes al CO ₂ (Dióxido de carbono)/ Masa total de productos			
12	Número de informes ambientales sostenibles	Número anual de informes positivos ó negativos en papel sobre la actividad medioambiental y social de la empresa			
13	Concentración de masa de contaminación en residuos líquidos	Masa de contaminantes / Volumen de residuos líquidos			
14	Volumen específico de residuos líquidos	Volumen total de residuos líquidos / Producción de salida			
15	Durabilidad del producto	Tiempo de durabilidad			
16	Índice de crecimiento de la población de la comunidad	El crecimiento de la población en la comunidad en %			
17	Costos de volumen por el tipo de agua	Costos por tipo de agua / Volumen de consumo por tipo de agua			
18	Consumo específico de material	(Entrada total de material) masa / Producción de salida			
19	Fracción de masa de embalaje del producto	Masa de embalaje / Masa total de productos			
20	(Costos de energía) fracción	Costos totales de energía / Costos			

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
		totales de producción			
21	Número específico de empleados	Número de empleados / Unidad de producción			
22	Costos totales de residuos líquidos	Valor absoluto			
23	Fracción de masa de eliminación	Masa de residuos sólidos no recuperados / Masa total de residuos sólidos			
24	Ingresos provenientes de productos ecológicos	Valor absoluto			
25	Consumo total de agua	Volumen absoluto			
26	Costos de responsabilidad ambiental	Costos de responsabilidad en caso de daños al medio ambiente			
27	Masa específica de residuos sólidos	Masas del tipo específico de residuos sólidos / Producción de salida			
28	Volumen de residuos líquidos contaminados	Volumen absoluto			
29	Número de rupturas de contratos	Número de rupturas de contrato con los proveedores a causa de un desacuerdo con las normas ambientales, de salud y seguridad			
30	Consumo específico de energía	Energía total consumida / Producción de salida			
31	Intensidad de masa de eutrofización ⁷	Masa total de equivalentes al fosfato / Valor del producto vendido o valor agregado			
32	Valor de las inversiones en la protección	Inversiones de la empresa en la			

⁷eutrofización f. med. amb. Excesiva proliferación de algas y macrofitas en las aguas por un exceso de materia orgánica. eutrofización. Diccionario Enciclopédico Vox 1. (2009). Recuperado el 15 de agosto del 2016 de: <http://es.thefreedictionary.com/eutrofización>

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
	ambiental	protección ambiental			
33	Costos totales de energía	Absoluto			
34	Variedad de materiales peligrosos	Número			
35	Duración de servicio de trabajo de los empleados	Período promedio de servicio laboral del empleado			
36	Intensidad de la acidificación de masa	Masa total de equivalentes al SO ₂ (Dióxido de azufre) / Valor del producto vendido o valor agregado			
37	Fracción en masa de embalaje reutilizables	Masa de embalaje reutilizable / Masa total de embalaje			
38	Número específico de quejas de los clientes	Número de quejas / Masa de los productos vendidos			
39	Consumo específico de agua	Volumen de agua consumido / Producción de salida			
40	Fracción de material reciclado	Entrada de material reciclado / (Entrada total de material) masa			
41	Proporción de contaminación específica de masa	Masa de contaminación cargada (e.g. P (Fósforo), N (Nitrógeno), COH (Compuestos Orgánicos Halogenados),...) / Producción de salida			
42	Proporción de pago	Sueldo 10% superior de los empleados / Sueldo 10% inferior de los empleados			
43	Costos de protección de la salud de los empleados	Costos totales de protección de la salud de del empleado			
44	Fracción de acidificación de masa	Masa total de equivalentes al SO ₂ / Masa total de productos			
45	(Residuos líquidos) fracción de costos	Costos totales de residuos líquidos / Costos totales de producción			
46	Intensiva de materiales	(Entrada total de material) masa / Valor			

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
		del producto vendido o valor agregado			
47	Fracción de ingresos de productos ecológicos	Ingresos provenientes de productos ecológicos / Ingresos totales			
48	Tasa de ascensos	Número de ascensos / Número total de empleados			
49	Fracción de costos de purificación del aire	Costo absoluto de purificación / Costos totales de producción			
50	Volumen de residuos líquidos no contaminados	Volumen absoluto			
51	Rotación de empleados	Número de empleados que han renunciado o han sido despedidos / Número total de empleados			
52	Eficiencia materias primas	(Producción de salida) masa / (Entrada de materias primas) masa			
53	Costos totales del agua	Valor absoluto			
54	Fracción en masa de productos hechos de materiales reciclables	Masa de productos hechos con materiales reciclables / Masa total de productos			
55	Costos de embalaje	Valor absoluto			
56	Fracción de trabajadores satisfechos con su trabajo	Número de empleados satisfechos con su trabajo / Número total de empleados			
57	Masa de entrada de materiales peligrosos	Masa absoluta			
58	Fracción de materias primas renovables	(Entrada de materias primas renovables) masa / (Entrada total de material) masa			
59	Fracción de masa del potencial fotoquímico de creación de ozono	Masa total de equivalentes al etileno / Masa total de productos			
60	Costo de los empleados	Costo de los empleados / Producción de salida			

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
61	Fracción de masa del consumo local	Masa de productos consumidos localmente / Masa total de los productos de salida			
62	Masa total de residuos sólidos	Masa absoluta			
63	Intensidad energética	Energía total consumida / Valor del producto vendido o valor agregado			
64	Costos promedios de fuente de energía	Costos por fuente de energía / Consumo por fuente de energía			

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
65	Fracción de costos de residuos sólidos	Costos totales de residuos sólidos / Costos totales de producción			
66	Fracción de contribuciones caritativas	Contribuciones caritativas a la comunidad / Ingresos totales			
67	Fracción de masa de reciclaje	Masa de residuos sólidos reciclados / Masa total de residuos sólidos			
68	Intensidad de gases de efecto invernadero	Masa total de equivalentes al CO ₂ / Valor del producto vendido o valor agregado			
69	Fracción de volumen del tipo de agua	Volumen de consumo por tipo de agua / Volumen total de consumo			
70	(Energía renovable) fracción	Consumo de energía renovable / Energía total consumida			
71	Fracción número de proveedores	Fracción de proveedores sin violaciones ambientales, de salud ni de seguridad			
72	Fracción de valor agregado en el Producto Interno Bruto	Valor agregado / Producto Interno Bruto			
73	Consumo total de material	Masa absoluta			
74	Tiempo de enfermedad de empleados	Días de trabajo perdidos a causa de			

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
		lesiones y enfermedades			
75	(Residuos sólidos peligrosos) masa	Masa de residuos sólidos peligrosos liberados en el medio ambiente			
76	Número de proyectos comunitarios	Número de proyectos de la empresa con su comunidad			
77	Costos totales de residuos sólidos	Valor absoluto			
78	(Masa de residuos sólidos) para recuperación	Masa absoluta de residuos sólidos recuperados			
79	Volumen total de residuos líquidos	Volumen absoluto			
80	Fracción en masa de productos con una etiqueta ambiental	Masa de productos con etiquetas ambientales/Masa total de productos			
81	Tiempo de educación de los empleados	Tiempo promedio de educación de por empleado			
82	(Masa de residuos sólidos) para eliminación	Masa absoluta de residuos sólidos no recuperados			
83	Costos de purificación del aire	Valor absoluto			
84	Número de mejoras sugeridas por los empleados	Número de propuestas de mejora en aspectos de calidad, sociales, ambientales, de salud y de la seguridad de la producción por empleado			
85	Consumo total de energía	Energía total consumida			
86	Fracción de masa de eutrofización	Masa total de equivalentes al fosfato / Masa total de productos			
87	Valor de las inversiones en el desarrollo sostenible	Inversión en investigación y desarrollo sostenible como fracción de los gastos de la empresa			
88	Fracción en masa de productos diseñados para el desmontaje, reutilización o reciclaje	Masa de productos diseñada para la recuperación / Masa total de productos			

No.	Indicador	Cantidad	E	S	A
89	Intensidad de masa del potencial fotoquímico de creación de ozono	Masa total de equivalentes al etileno / Valor del producto vendido o valor agregado			

Gracias

1. ¿Usted quitaría alguno(s) de los indicadores? Sí: _____ No: _____
2. ¿Cuál(es) sería(n)?

Comentarios o sugerencias:

Bibliografía

- Acerenza, M. Á. (2006) Necesidad de precisar el contenido y el alcance de la política de desarrollo sostenible del turismo. *Aportes y Transferencias*, 10(1), pp. 13
- AlphaNouvelles. (2015). *Contabilización de los recursos naturales plenamente agotados*. Recuperado el 20 de abril del 2017 de: <http://es.alpha-nouvelles.com/article/contabilizacion-de-los-recursos-naturales-plenamente-agotados> (última modificación el 2 de octubre del 2015 a las 19:56:16)
- American Heritage® Dictionary of the English Language, Fifth Edition. (2011). Recuperado el 2 de mayo del año 2017 de: <http://www.thefreedictionary.com/metric>
- Amor, M. J. A. (1997). *Teoría de conjuntos para estudiantes de ciencias*. D. F., México: Las prensas de ciencias. p. 14.
- Barber, K. C. M. (2009) *¿Sostenibilidad o sustentabilidad?* Recuperado el 20 de febrero del 2016, de: <http://expansion.mx/actualidad/2009/05/22/sostenibilidad-o-sustentabilidad>
- Barragán, P. A. J. (2009). *Síntesis de Sistemas de Control Borroso Estables por Diseño* (Tesis Doctoral). Universidad de Huelva, España. p. 43.
- Beg, I. & Ashraf S. (2010). *Fuzzy Relational Calculus*. Recuperado el 8 de agosto del 2016, de: http://www.emis.de/journals/BMMSS/pdf/acceptedpapers/2010-01-007_R2.pdf. p. 6.
- Blair B. (1994). Lotfi Zadeh. Short Biographical Sketch. *Azerbaijan International*. 2.4. p. 49. Recuperado el 14 de febrero del 2017, de: http://azer.com/aiweb/categories/magazine/24_folder/24_articles/24_zadeh.html (Última modificación el 14 de marzo del año 2008 a las 21:32:55)
- Blair B. (1999). Famous People: Then and Now. Lotfi Zadeh. Creator of Fuzzy Logic (1921-). *Azerbaijan International*. 7.4. pp. 28-29. Recuperado el 14 de febrero del 2017, de: http://www.azer.com/aiweb/categories/magazine/74_folder/74_articles/74_zadeh.html (Última modificación el 28 de agosto del año 2011 a las 10:35:10)
- Bower, H. G. & Hilgard R. E. (2014). *Teorías del aprendizaje. Teorías del procesamiento de información de la conducta. Desarrollos recientes en las teorías cognoscitivistas y conductuales*. México: Trillas. pp. 379-380.
- Bravo, M. A., Rincón, M. H. & Rincón, O. C. (2006). *Álgebra superior*. D. F., México: Las prensas de ciencias. pp. 74-75, 78, 121.
- Brook, E. (2013) *Is "The Future We Want" good for business?* Recuperado el 20 de abril del 2016, de: <http://www.newsustainabilityinc.com/2013/12/04/isthefuturewewantgoodforbusiness/>

- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oslo. Recuperado el 15 de diciembre del 2015, de: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. pp. 16, 29, 41, 66, 174.
- Camacho, R. E., Carrillo, R. A., Rioja, P. T. M. & Espinoza, M. E. E. (2016). Indicadores de sostenibilidad para el ecoturismo en México: estado actual. *LiminaR*, 1(14), pp. 156-168.
- Cárdenas, H., Lluís, E., Raggi, F. & Tomás, F. (1973). *Álgebra superior*. D. F., México: Trillas. p. 16.
- Caviness, K., Atwood, B. & Wagon, S. (2010). *Center of Mass of a Polygon*. Wolfram Demonstrations Project. Recuperado el 15 de agosto del año 2016 de: <http://demonstrations.wolfram.com/CenterOfMassOfAPolygon/>
- Cisneros, J. (1983). *El problema Metodológico en la Elaboración de Indicadores en Ciencias Sociales*. En A. F. Rojas (Ed.), CENTROAMERICA: indicadores socioeconómicos para el desarrollo. (pp. 43-52) San José, Costa Rica: Ediciones Flacso.
- Colín, M. I. (Ed.). (2013) *Cambridge Avanced Learner's Dictionary*. [Diccionario de aprendizaje avanzado Cambridge] Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 659.
- Cuadras, C. M. (2014). *Nuevos métodos de análisis multivariante*. Barcelona, España: CMC Editions. p.187.
- Daly, H. E. (1991) Towar Some Operacional principles on Sustainable Development. *Ecological Economic*, 2 (1-6)
- Díaz, D. J. & Gómez, G. C. (2013). *Origen del concepto de desarrollo sostenible*. 7-16
- Enger, E.D., & Smith, B. F. (2013). *Environmental Science. A study of Interrelationships*. NewYork, USA: Mc-GrawHill. p. 234.
- Encuesta de Opinión. (2 de Abril de 2018). *Encuestas de Opinión Pública y de Política. Cómo hacer una encuesta, tipos de encuestas de opinión, cuestionarios, preguntas, diseño muestral y metodología de las encuestas de opinión*. Obtenido de Cómo calcular el presupuesto o costo del trabajo de campo en una encuesta: <http://encuestasdeopinion.blogspot.mx/2011/11/como-calculiar-en-presupuesto-o-costo.htm>
- Environmental Protection Agency. (2015). *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Recuperado el 4 de diciembre del año 2017 de: <http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>
- Empresa Socialmente Responsable. (2011). *Resumen Indicadores GRI G 3.1*. Recuperado el 5 de noviembre del año 2015, de: <http://esr.cemefi.org/Manual%20de%20usuario%20de%20Autodiagnostico/Forms/AllItems.aspx>

- Estevan, A. (1997). *Actividades industriales y buenas prácticas*. Recuperado el 14 de Septiembre del 2015, de: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a012.html> (Biblioteca CIUDADES PARA UN FUTURO MÁS SOSTENIBLE).
- Galindo, G. J. (2013). *Conjuntos y Sistemas Difusos (Lógica Difusa y Aplicaciones)*. Recuperado el 17 de abril del 2015 de <http://www.lcc.uma.es/~ppgg/FSS/FSS1.pdf> (última modificación el 11 de Mayo del 2013 a las 5:36:32). España: Universidad de Málaga, Departamento de lenguajes y ciencias de la computación.
- García, S. (1996). *Indicadores para el desarrollo sostenible de la pesca*. Recuperado el 11 de Abril del 2017 de: <http://www.fao.org/docrep/004/W4745S/w4745s13.htm>
- García, S. A. (2012). *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*. México: Alfaomega Grupo Editor. pp. 171-192.
- Gómez, L. C. (2007). *Introducción a la teoría intuitiva de conjuntos (Cardinales y ordinales)*. D. F., México: Las prensas de ciencias. pp. 6, 12, 14.
- Gómez, L. C. (2014). *Álgebra superior: curso completo*. Facultad de Ciencias, D. F., México: DGPFE. pp. 21, 33, 62, 67.
- González, S. O. A. (2007). *Responsabilidad Social Empresarial: un Análisis Comparativo de la Iniciativa del CEMEFI y las Iniciativas Internacionales*. Edición Única. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Estado de México, México, pp. 80-85.
- Gracia-Rojas, J. P. (2015). *Desarrollo sostenible: origen, evolución y enfoques*. (Documento de docencia No. 3). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1074>
- Guil, B. R., Mestre, N. J.M., Alcalde, C. C. y Marchena, C. E. (1999). *Situación laboral del alumno y clima social del aula*. Anales de pedagogía. Universidad de Cádiz. p. 122.
- Gutiérrez, G. E. & Larios, G. R. (1998) *Fundamentos de matemáticas y lógica*. México: IPN. p. 79.
- Hidalgo, B. E. R., Batista, R. C., & Robles, P. F. (2015). Relación entre los fallos y las variables de diagnóstico en motores diesel. REPARACIÓN Y TECNOLOGÍA MECÁNICA. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 56.
- Howarth, R. B. (2012). Sustainability, Well-Being and Economic Growth. *Minding Nature*, 5(2), p. 708. Recuperado el 16 de febrero del 2016, de: http://www.humansandnature.org/filebin/pdf/minding_nature/Sept-2012_Sustainability_WellBeing.pdf
- Hysa, E. (2013). Defining a 21st Century Education: Case Study of Development and Growth Course. *Journal of Education and Social Research*, 3(7), p. 708.

- Ibáñez, P. R. M. (2012). Indicadores y sustentabilidad: utilidades y limitaciones. *Teoría y Praxis. Turismo, Negocios y Recursos naturales*, 11, 102-126. Universidad de Quintana Roo, Cozumel, México
- Instituto Nacional de las Mujeres. (2012). *Manual de Sostenibilidad. Observatorio para la Igualdad entre Mujeres y Hombres. Conocimiento confiable para políticas públicas de igualdad de género*. Recuperado el 20 de abril del 2017 de: http://cedoc.inmujeres.gob.mx/ftpg/Colima/COL_MA3_Manual_sostenibilidad_observatorio_2012.pdf (Última modificación el 21 de marzo del año 2014 a las 10:13:59)
- Instituto Navarro de Salud Laboral (2008). *Disposiciones mínimas de seguridad y salud de los trabajadores relativas a la exposición al ruido*. Navarra, España: Gobierno de Navarra. p.33.
- Krajnc, D. & Glavič, P. (2003). Indicators of sustainable production. *Springer-Verlag. Clean Techn Environ Policy*, 5. pp. 279, 282-285.
- Kruglanski, A. W. (1989). Says who?: Epistemic Authority Effects in Social Judgment. *Advances in Experimental Social Psychology*. 37. University of Maryland. New York: *Academic Press*. p. 53.
- Kleiman, A. & de Kleiman, E. K. (1991). *Conjuntos. Aplicaciones matemáticas a la administración*. D.F., México: Limusa. p. 25.
- Lascurain, O. A. (2012). *Álgebra superior I*. D. F., México: Las prensas de ciencias. p. 2.
- López, B. J. & Rodríguez G. M. de L. (2009). *Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México*. D.F., México: Instituto de Geografía UNAM. Geografía para el siglo XXI. Libros de investigación (3). p. 58.
- López, L. V. M. (2008). *Sustentabilidad y desarrollo sustentable: origen, precisiones conceptuales y metodología operativa*. D.F., México: Trillas. IPN. pp. 54-57, 60-61, 64, 67, 69-70, 72-73, 75.
- Martín, del B. B. & Sanz, M. A. (2007). *Redes neuronales y sistemas borrosos*. Madrid-España, México: Ra-Ma, Alfaomega Grupo Editor. pp. 245-283.
- Martínez, L. P. (2011). *Manual básico de investigación científica*. D.F., México: Editorial el Manual Moderno: Universidad Anáhuac México Norte. pp. 47, 64, 66.
- Maza, G. C. & Arce, J. C. (1991). *Ordenar y clasificar*. Madrid, España: EDITORIAL SÍNTESIS. p. 16.
- Mihelcic, J. & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Ciudad de México, Mexico: Alfaomega. pp. 300-301.
- Morrillas, M. A. (2006). *Introducción al análisis de datos difusos*. Tesis de doctorado, Universidad de Malaga, Malaga, España. Recuperado el 17 de abril del año 2015 de: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006b/amr/amr.zip>. pp. 11, 15.

- Muñoz, R. C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Edo. de México, México: PRENTICE HALL. pp. 228.
- Peñalva, R. L. P. (2000). Propuestas de lógica difusa para la toma de decisiones. *Política y Cultura*, 1(13), pp. 97-112.
- Piccinelli, B. G. & Sunrey, M. P. (2007). El Debate sobre el desarrollo sostenible. *Matices*, Revista de Posgrado de la FES Aragón. Año 2/cuatrimestre 3/septiembre-diciembre, 2007/No.4. pp. 37-53.
- Ponce, C. P. (2010). *Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería*. Ciudad de México, México: Alfaomega Grupo Editor pp. 38, 44-45.
- Ramírez, T. A., Sánchez, N. (2009). Enfoques de desarrollo sostenible y urbanismo. 10 de julio 2009, de Revista Digital Universitaria. UNAM Sitio web: <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art42/int42-2.htm>
- Resnick, R. & Halliday, D. (1984). *Física. Parte I*. Ciudad de México, México: Continental. pp. 173-175.
- Real Academia Española. (2014a). *Diccionario de la lengua española* (23.a ed.). Madrid, España: Recuperado el 16 de mayo del 2016, de: <http://dle.rae.es/?id=YSE9w6H>
- Real Academia Española. (2014b). *Diccionario de la lengua española* (23.a ed.). Madrid, España: Recuperado el 16 de mayo del 2016, de: <http://dle.rae.es/?id=JFCXg0Z>
- Rivas, R. J. (2009). *Toma de Decisiones basado en Árboles de Decisión Fuzzy*. Tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid, España. p. 8.
- Ross, J. T. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications*. University of New Mexico, USA: John Wiley & Sons. p. 14.
- Sánchez, G. G. de las N. (2003). *Técnicas participativas para la planeación. Procesos breves de intervención*. México: Fundación ICA.
- Scherer, R. (2012). *Multiple Fuzzy Classification Systems*. Berlin Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag. pp. 7, 14-15.
- Solsona P. J. (1997). 2. Definiciones básicas. Recuperado el 2 de febrero del año 2017 de: <http://users.salleurl.edu/~se04184/P2Definitions.html> (última modificación el 25 de junio del año 1997 a las 12:14:08)
- Srinivas H. (2016). *Bellagio Principles: Guidelines for the Practical Assessment of Progress Toward Sustainable Development*. Recuperado de: <https://www.gdrc.org/sustdev/bellagio-principles.html> (Última modificación el 5 de junio del año 2016 a las 23:49:21).

- Tanguay, G.A., Rajaonson, J., Lefebvre, J. F., Lanoie, P., (2010) Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators. *Ecological Indicators*. 10, p. 410–416.
- Transportes Urbanos de Sevilla. (2005). *Índice analítico. Memoria de sostenibilidad TUSSAM 2005*. Recuperado el 5 de diciembre del 2015 de: <http://www.tussam.es/fileadmin/editores/pdf/indiceanalitico.pdf> (Última modificación el 16 de abril del año 2014). pp. 80-81
- Universidad Autónoma de Madrid. (2013). *Gestión ambiental*. Consultado el 10 de septiembre del 2017 de: <https://www.uam.es/servicios/ecocampus/especifica/gestion.htm> (Última modificación el 3 de octubre del año 2013 a las 10:00:57)
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (1997). *Barómetro de la sostenibilidad. Medición y comunicación del bienestar y el desarrollo sostenible. Una aproximación integral a la evaluación del progreso hacia la sostenibilidad. Serie Herramientas y Capacitación*. Preparado por Robert Prescott-Allen. Recuperado el 11 de abril del 2017 de: <https://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/54763/1/IDL-54763.pdf> (última modificación el 14 de octubre del 2015 a las 9:20:46)
- United Nations. (1992). *United Nation Conference on Environment & Development. Agenda 21*. Río de Janeiro, Brazil, pp. 66. Recuperado el 7 de diciembre del 2015, de: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>.
- United Nations. (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Recuperado el 3 de abril del 2016, de: <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>
- Van Hoof, B., Monroy, N. & Saer N. (2008). *Producción más Limpia: paradigma de gestión ambiental*. Ciudad de México, México: Alfaomega. pp. 147-148.
- Vasanthan, K. W. B. (2003) *Smarandache Fuzzy Algebra*. USA: American Research Press and W. B. p. 9.
- Veleva, V. & Ellenbecker, M. (2001). Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*, 9, 519–549.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L. A. (1998). *Commercialism and Human Values. When You Can't Stop for Lunch. Azerbaijan International*. 6.1. p. 65. Recuperado el 14 de febrero del 2017, de: http://www.azer.com/aiweb/categories/magazine/61_folder/61_articles/61_zadeh.html (Última modificación el 10 de marzo del año 2008 a las 17:46:29)
- Zimmermann, H. J. (2010). Fuzzy Set Theory. *Advanced Review*, 2, 322-323. John Wiley & Sons, Inc.
- Zhilin, D. M. (2010). *Teoría de sistemas. Un curso introductorio*. Moscú: URSS. pp. 41-53.