

ISSN: 1390-1249

DOI: <http://dx.doi.org/10.17141/iconos.54.2016.1454>

# Análisis del desarrollo sostenible en espacios locales. Aplicación de la teoría de conjuntos difusos

*Analysis of Sustainable Development in Local Spaces.  
The Application of the Theory of Fuzzy Sets*

*Análise do desenvolvimento sustentável em áreas locais.  
Aplicação da teoria de conjuntos difusos*

María Luisa García Bátiz  
Lucio Flores Payan  
Beatriz Adriana Venegas Sahagún

Fecha de recepción: octubre de 2014

Fecha de aceptación: octubre de 2015

temas

## Resumen

La medición del desarrollo sostenible presenta considerables dificultades que han limitado la capacidad de conocer y comprender la situación de los sistemas locales en cuestiones ambientales, por lo que este trabajo tiene la intención de hacer contribuciones para medir el desarrollo sostenible a nivel local. Para realizar esta medición, se presenta la construcción de un Índice de Desarrollo Sostenible Local (IDSL), el cual se construyó utilizando la teoría de la lógica difusa. Este índice permite analizar y comparar el desarrollo sostenible en tres dimensiones específicas del sistema ambiental a nivel local: social, ambiental y económica. Como evidencia empírica, se presentan los resultados de 11 municipios del Estado de Jalisco, México. Estos municipios integran las tres mayores zonas metropolitanas de la región.

*Descriptores:* desarrollo sostenible; lógica difusa; municipios de México; conjuntos difusos; índice difuso; zonas metropolitanas.

## Abstract

The measurement of sustainable development presents considerable difficulties that have limited the capacity in analyzing environmental questions in local systems. The intention of this study is to make a contribution in the measurement of sustainable development at the local level. In order to undertake this study, an Index of Sustainable Local Development (IDSL) was created drawing on the theory of fuzzy logic. This index permits us to analyze and compare sustainable development in three dimensions of the environmental system at the local level: social, environmental and economic.

**María Luisa García.** Doctora en Ciencias Sociales. Profesora Investigadora en el Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guadalajara.

✉ [maluisagarciaabatiz@gmail.com](mailto:maluisagarciaabatiz@gmail.com)

**Lucio Flores.** Doctor en Ciencias Económico-Administrativas. Profesor Investigador en el Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guadalajara.

✉ [florespayan@hotmail.com](mailto:florespayan@hotmail.com)

**Beatriz Adriana Venegas.** Maestra en Ciencias de la Salud Ambiental. Profesora de Asignatura en el Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guadalajara.

✉ [beatrizvenegas@hotmail.com](mailto:beatrizvenegas@hotmail.com)

1

Empirical evidence is presented from the results of the application of the Index in 11 municipalities in the State of Jalisco, Mexico. These municipalities include the three largest metropolitan areas of the region.

*Keywords:* sustainable development; fuzzy logic; municipalities in Mexico; fuzzy sets; fuzzy index; metropolitan areas.

### Resumo

Medir o desenvolvimento sustentável apresenta dificuldades consideráveis, o que há limitado a capacidade de conhecer e compreender a situação dos sistemas locais em questões ambientais, de modo que este trabalho tem a intenção de contribuir no tocante às medições do desenvolvimento sustentável a nível local. Para executar esta medição, apresenta-se a construção de um Índice de Desenvolvimento Sustentável Local (IDSL), que foi construído utilizando a teoria da lógica difusa. Este índice permite analisar e comparar o desenvolvimento sustentável em três dimensões específicas do sistema ambiental local: social, ambiental e econômica. Como evidência empírica, apresentam-se os resultados de 11 municípios do Estado de Jalisco, no México. Estes municípios constituem as três maiores áreas metropolitanas da região.

*Descritores:* desenvolvimento sustentável; lógica difusa; municípios de México; conjuntos difusos; índice difuso; áreas metropolitanas.

En política pública, el término “desarrollo sostenible” ha cobrado gran relevancia y ha sido incluido en las agendas de diferentes organismos internacionales, gobiernos nacionales y locales. Si bien es un término ya en la actualidad muy popular, es aún complejo conceptualizarlo de forma universal y más aún medirlo.

El término desarrollo sostenible ha tomado fuerza en los últimos años, teniendo sus inicios en 1987 en el reporte llamado *Nuestro futuro común* realizado por la *World Commission on Environment and Development* (WCED), en el cual se lo define como “aquel desarrollo que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades” (WCED 1987, 43). En esta definición, el desarrollo fue determinado a partir de una visión global y de respeto hacia el futuro de nuestro planeta.

A pesar del consenso<sup>1</sup> logrado con el concepto de desarrollo sostenible, se reconocen problemas conceptuales intrínsecos al concepto mismo, el cual se presenta, en la amplia literatura que existe sobre él, como una definición polisémica, cargada de matices, multidimensional y de gran complejidad que no incluye características claramente medibles. Algunas críticas más radicales señalan que el concepto resulta

1 La definición de desarrollo sostenible ha llevado a una evolución de conceptos desde aquel acuñado en la Comisión de Brundtland en 1986, hasta aquella definición en donde se incluye al desarrollo sostenible “como una base para superar los retos ambientales” (Mebratu 1998, 493). Dentro de las definiciones y percepciones sobre el desarrollo sostenible, es usualmente presentado y dividido en tres dimensiones: económica, social y ambiental. Estas tres dimensiones son sistemas independientes, los cuales se encuentran interrelacionadas entre sí (Holmberg et al. 1994; Hardi y Zdan 1997; ICLEI 1996; Harris 2003).

ser “vago, elusivo, contradictorio” e incluso se ha devaluado a tal punto de ser un “cliché” (Daly 1996; Goldin y Winters 1995; Tryzna 1995 y Holmberg 1994, en Mebratu 1998, 503).

Estas características que señalan las críticas al desarrollo sostenible dificultan su evaluación, su medición y las posibilidades de conocer y entender la situación que guardan los sistemas ambientales a escala local.

En este contexto, durante los últimos 30 años se ha gestado un interés creciente por la cuantificación del nivel del desarrollo calificado como sostenible. Sin embargo, los avances en la evaluación y medición del desarrollo sostenible son heterogéneos, difusos y varían de acuerdo con la escala de análisis, las regiones y países donde se lleven a cabo las mediciones.

Los esfuerzos por evaluar y medir el desarrollo sostenible se han concentrado en proponer indicadores e índices compuestos con la intención de conocer o señalar el grado de avance o alcance de los objetivos y metas del desarrollo sostenible.

Dentro de estos esfuerzos, se puede identificar al menos dos tipos de aportes, el primero incluye aquellos dirigidos a la propuesta de mediciones del desarrollo sostenible a partir de la construcción de indicadores e índices generales o globales más adecuados para ser aplicados a escala nacional; entre estos encontramos: el desarrollo de los Sistemas de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada (SCAEI),<sup>2</sup> el Índice de Bienestar Económico Sostenible (IBES), el Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISA), el Índice del Planeta Vivo (*World Wildlife Fund International*) y la Huella Ecológica.

El segundo tipo de aportes está relacionado con las mediciones del desarrollo sostenible a escala local; estas intenciones dan seguimiento a las propuestas iniciales que resultaron de la Agenda 21 (United Nations 1992) y los indicadores de desarrollo sostenible realizados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su “libro azul”, entre los que se incluyen el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) y sus desarrollos conceptuales: Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (FER), Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR), Modelo-Flujo-Calidad (MFC), Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta (PEI/ER) y Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta-Gestión (PEI/ERG) (Polanco 2006), la propuesta de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comisión Europea (JRC) (OECD, JRC 2008) para construir indicadores compuestos –los cuales no son exclusivos para la sostenibilidad–, así como las intenciones regionales de construcción de indicadores locales en materia de sostenibilidad entre los que se incluye la iniciativa europea “hacia un perfil de la sostenibilidad local. Indicadores comunes europeos” (Comunidades Europeas 2000), la medición de indicadores urbanos propuestos por las Naciones Unidas y Habitat, en los cuales no solo se miden las tres di-

2 Propuestas en el *Manual de operaciones de contabilidad ambiental y económica integrada* (MCEAI), elaborado por la División de Estadística de las Naciones Unidas. En esta línea, países como Noruega, Estados Unidos, Francia y México, entre otros, las han aplicado (United Nations 2002).

mensionaciones de la sostenibilidad, si no que se agrega la medición de la gobernanza y de los alcances a los Objetivos del Milenio (UN-Habitat 2009), así mismo se cuenta con el *Reporte del estado de las ciudades del mundo*, donde uno de sus objetivos es medir la prosperidad de las ciudades y zonas urbanas mediante la construcción del Índice de Prosperidad de la Ciudad (UN-Habitat 2013), en donde se integra la sostenibilidad ambiental como una dimensión más a la prosperidad.

Estas propuestas han sido importantes por las aportaciones metodológicas que hacen a la medición del desarrollo sostenible y evidencian el gran empeño en medirlo, con la intención de que los gobiernos y agencias internacionales puedan tomar decisiones y diseñar políticas públicas para la atención de los problemas ambientales.

Sin embargo, también han sido objeto de críticas importantes relacionadas con la imprecisión de sus resultados. En el caso de los indicadores generales o globales, las críticas principales están relacionadas con el uso de la ponderación relativa, en donde el investigador y la dependencia encargada de elaborarlos asignan la ponderación de estos, tal es el caso de los Indicadores de Desarrollo Sustentable en México (INE e INEGI 2000), los que no pueden competir con los estándares internacionales y a su vez cuentan con una gran cantidad de indicadores, logrando tener 113 en las dimensiones ambiental, social y económica. En estas líneas, la Unión Europea cuenta con *The European Common Indicators Towards a Local Sustainability Profile* (Tarzia 2003), los cuales no pueden ser comparados con el caso mexicano, ya que estos cuentan con tan solo 10 indicadores estructurados de acuerdo con las necesidades y la cultura de sus países.

Ahora bien, si mencionamos los indicadores propuestos en la Agenda 21, estos se dividen en cuatro grandes dimensiones: económicas, recursos naturales, institucionales y sociales, los cuales tienen los mismos estándares para todos los países miembros de la ONU; sin embargo, para el año 2007 se creó el documento *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*, donde se proponen indicadores en los que el valor ideal depende de las condiciones y el contexto del país, tal es el caso de indicadores económicos donde el salario mínimo de cada país es referencia. Por ello, no se podría hacer una comparación internacional en cuestiones de indicadores de sostenibilidad, ya que el contexto económico, social y ambiental varía. Un ejemplo de lo mencionado se ve en el ámbito ambiental, principalmente en cuestiones de calidad de agua para uso y consumo humano, en donde la normatividad mexicana tiene límites máximos permisibles más amplios que los que maneja la Organización Mundial de la Salud en las *Guías de calidad del agua* del año 2006.

Se puede ver que el uso de estándares internacionales no necesariamente representa las condiciones locales de donde se aplican, en este sentido, la *Food and Agriculture Organization* (FAO 1999) comenta que “un conjunto de indicadores debe ser el mismo o debe estar estrechamente relacionado con los conjuntos de indicadores utilizados en otros países y en otras regiones del mismo país”, lo que da la pauta de que, si bien no pueden ser iguales, se puede intentar aplicarlos.

Mientras que en los indicadores de sostenibilidad local, las críticas apuntan a los problemas en su lógica de razonamiento que se sostiene en una relación causal y lineal que no responde a la complejidad del concepto de desarrollo sostenible. Además, los cálculos de estos indicadores e índices dependen de la disponibilidad de datos en cada país o región, lo que complejiza su utilización, disminuye su confiabilidad y las posibilidades de comparación; a su vez, existe un problema para la obtención de la información, la cual no se encuentra disponible en su totalidad en países menos desarrollados o aún no se genera tal cual.

Sin embargo, lo mencionado puede subsanarse si se logra proponer indicadores de sustentabilidad que combinen los aspectos sociales, económicos y ecológicos, así como explicar las relaciones entre estos tres factores. Una buena oportunidad de contribuir es a partir de la solución en los temas de integración de los componentes de un sistema, diseñando indicadores vinculantes o sinérgicos. Hasta el momento, las iniciativas de diseño lo están trabajando desde la perspectiva de agregación, incorporando variables relevantes en índices (Rodríguez y Gabaldón 2002).

Los problemas anteriores se agudizan en aquellas regiones o países menos desarrollados donde la generación de información adecuada, sistemática y continua, en especial en temas no tradicionales como el medio ambiente, es escasa y de baja calidad.

Con la intención de hacer aportaciones a la medición del desarrollo sostenible en espacios locales de países menos desarrollados, en este trabajo se presenta la construcción exploratoria de un Índice de Desarrollo Sostenible Local (IDSL), el cual se construye a partir de la teoría de la lógica difusa. Este Índice permite analizar y comparar el desarrollo sostenible en las tres dimensiones específicas de los sistemas ambientales locales: ambiental, económica y social. Como evidencia empírica inicial, se presentan resultados para 11 municipios del Estado de Jalisco, México, los cuales integran tres zonas metropolitanas importantes en la región. Se eligieron estos municipios porque presentan un grado de homogenización mayor, ya que representan municipios urbanos relativamente grandes en el Estado de Jalisco, pero además, por su tamaño y desarrollo en sus esquemas de gestión y porque a su vez cuentan con información más accesible.

## Definición de un Índice de Desarrollo Sostenible Local (IDSL)

De la literatura revisada, se desprende que la propuesta de un IDSL debe partir de la definición de lo que se quiere medir, es decir, el desarrollo sostenible a escala local. El concepto de desarrollo sostenible expuesto antes, “aquel desarrollo que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades” (WCED 1987) presenta problemas de partida al ser un concepto ambiguo que debe ser trabajado y acotado, para

ello, se retoman los esfuerzos de algunos autores que han tratado de descomponer el concepto para acotarlo y hacerlo más operativo. Siguiendo esta línea, se recogen las propuestas que identifican al menos tres dimensiones del desarrollo sostenible como una base para superar los retos conceptuales (Mebratu 1998) y poder avanzar en su evaluación y medición económica, social y ambiental; estas tres dimensiones son consideradas sistemas independientes pero con una alta interrelación entre sí (Holmberg et al. 1994; Hardi y Zdan 1997; ICLEI 1996; Harris 2003, 1). Harris (2003, 1) define a las tres dimensiones como siguen:

- Dimensión económica, se refiere a que un sistema económicamente sostenible debe producir bienes y servicios de manera continua, manteniendo niveles manejables de deuda pública y externa, y evitando desequilibrios extremos que perjudiquen la producción agrícola o industrial.
- Dimensión ambiental, se debe mantener una base de recursos estables, evitando la sobreexplotación de los recursos renovables, mantenimiento de la biodiversidad, estabilidad atmosférica y otras funciones de los ecosistemas, así como la innovación en sustitutos a aquellos recursos no renovables.
- Dimensión social, se debe lograr la equidad en la distribución y la oportunidad, la adecuada prestación de servicios, equidad de género, responsabilidad política y participación.

178

Tomando en cuenta lo anterior, se puede acotar el concepto de desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades de toda la población en cuanto a los servicios básicos para garantizar una buena calidad de vida a las generaciones presentes como a las futuras.

La intención del IDSL es medir la condición de sustentabilidad general de estos municipios buscando un índice adecuado que cumpla con ciertas características que permitan su viabilidad y rigurosidad, las cuales, de acuerdo con Sarandón (2002, 401), son las siguientes:

- a) Estar relacionados con aspectos de sustentabilidad.
- b) Ser adecuados al objetivo a perseguir.
- c) Ser sensibles a los cambios del tiempo.
- d) Presentar poca variabilidad durante el período de muestreo.
- e) Tener habilidad predictiva.
- f) Ser de fácil recolección.
- g) Ser confiables.
- h) No ser sesgados.
- i) Deben ser sencillos de interpretar y no ambiguos.
- j) Ser robustos e integradores.

- k) De características universales pero adaptados a una condición particular.
- l) Deben de tener validez.

Además, se utilizó el modelo metodológico presentado por Castro (2004), el cual permite superar las desventajas que se les han atribuido a las mediciones más conocidas, señaladas en la introducción de este documento, las que Polanco (2006, 36) resume de la siguiente manera:

- Debido a la lógica causal y lineal (vectorial) de los indicadores basados en el modelo PER, no es posible establecer relaciones entre distintos indicadores; cada uno es válido por sí solo y como tal debe ser abordado.
- La información obtenida solo permitirá establecer el diagnóstico de la situación pero no puede ser empleada en programas o políticas donde se aplique el principio de prevención.
- No es un modelo preventivo.
- Los parámetros e indicadores aumentan y resulta mucho más difícil medir los efectos ocasionados tanto a los ecosistemas como a la población.

Con la intención de hacer aportaciones en el sentido señalado, proponemos –siguiendo el trabajo de Castro (2004)– explorar la metodología de la lógica difusa, como la base para la construcción del IDSL para los municipios mexicanos.

## Índice de Desarrollo Sostenible Local (IDSL)

La incapacidad del modelo de desarrollo actual de atender las condiciones ambientales ha desencadenado problemáticas severas del tipo de cambio climático, pérdida de la biodiversidad, degradación de los ecosistemas, serios impactos en el deterioro de la calidad del agua, aire y suelo, lo que provoca una crisis social.

En dicho contexto, los gobiernos y en especial los gobiernos locales tienen el gran desafío de implementar herramientas de administración, económicas y de gestión que les permitan generar iniciativas y políticas públicas con el objetivo de obtener mejoras en la sostenibilidad.

Así, desde diferentes perspectivas, los estudios de la gestión pública han planteado que los gobiernos locales son actores protagónicos en la promoción del desarrollo, ya que son el ámbito público más cercano a la ciudadanía, lo que “los convierte en un actor clave en la recuperación y promoción de la participación ciudadana, la provisión de servicios públicos y sociales y el fortalecimiento de la gobernabilidad” (Ziccardi 1995; Guillén 1996; Brugué y Gomá 1998; Finot 2002; Montecinos 2005, en Sánchez y García 2010, 357). En este sentido, se reconoce que los gobiernos locales son clave para fortalecer esquemas de gobernanza ambiental que ayuden al logro de

objetivos ambientales locales y globales, es decir, que lleven a la práctica el axioma “pensar globalmente y actuar localmente” (United Nations 1992), admitiendo que los gobiernos locales son actores clave en la gestión de los problemas ambientales y por ende en el desarrollo sostenible, ya que son estos los que están en contacto directo con la población y pueden atender aquellos problemas ambientales puntuales.

En este marco, se han realizado esfuerzos importantes por impulsar el desarrollo sostenible en la esfera local, un ejemplo son los procesos de *Agenda local 21*, que se han definido como un instrumento que coadyuva a la gestión ambiental, social y económica de las regiones. Sin embargo, el avance en la evaluación y medición de los resultados generados por los esfuerzos de los gobiernos locales por alcanzar objetivos de sustentabilidad ha sido menos claro y se han quedado en la propuesta de una variedad de indicadores que muchas veces se convierten en intenciones no replicables por la complejidad que suponen.

Una limitación importante de la generación de indicadores ha sido que estos no pueden ser replicables y, en muchas ocasiones, tampoco se pueden utilizar para hacer comparaciones. Con la intención de aportar un instrumento de medición que supere dicha limitación, se propone el IDSL con la metodología de la lógica difusa. El uso e implementación de esta teoría desarrollada por Zadeh (1965) faculta el diseño de modelos donde la incertidumbre, la vaguedad y la multidimensionalidad están presentes en la caracterización de las variables analizadas. En general, el estudio de los fenómenos sociales y, en particular, de los que involucran la sostenibilidad tienden a disminuir la fiabilidad de acuerdo con el aumento del número de variables a estudiar. En el caso de la sostenibilidad, el uso de una gran cantidad de indicadores y la inherente subjetividad en su cálculo puede complejizar y deteriorar la validez de los resultados.

En este sentido, como argumentan Castro y Morillas (1998, 91), el propio concepto de “sostenible” es inherente a un alto grado de incertidumbre de tipo difusa, lo cual puede verse manifestado en los siguientes hechos:

- Ambigüedad conceptual. La lógica dual tradicional resulta incapaz de clasificar sin ambigüedad ciertas situaciones como “sostenibles” o “no sostenibles”. Ello es debido a que esta categorización no obedece a criterios estrictamente objetivos y cuantificables, dada una indefinición manifiesta en el propio concepto de sostenibilidad. El enfoque difuso permite, entre otras ventajas conceptuales, el establecimiento de “umbrales blandos” (*soft thresholds*) o progresivos entre ambos términos lingüísticos.
- Calidad de la información de partida. En este tipo de análisis, junto a la información objetiva existen otras fuentes de información importantes de naturaleza subjetiva. Asimismo, numerosas estadísticas son incompletas, imprecisas o ambiguas en algunos casos, hecho que dificulta las comparaciones entre ámbitos distintos,

sobre todo a escala urbana donde no existe una base estadística en materia de indicadores de desarrollo sostenible. El enfoque difuso permite afrontar este tipo de problemáticas asociadas a la información subjetiva o ambigua (asignando distintos grados de pertenencia a la misma).

El uso de un modelo basado en la teoría de la lógica difusa para el cálculo de la sostenibilidad permitirá realizar una simplificación de la información contenida en un conjunto de indicadores referidos a diversas facetas de la sostenibilidad de los gobiernos locales. Por la propia estructura del modelo, es posible determinar el peso relativo de cada variable y realizar análisis de sensibilidad específicos, partiendo de una definición en términos relativos de la sostenibilidad.

Es pertinente mencionar que este trabajo se concibe como una primera aproximación al uso de este tipo de modelos construidos a partir de la lógica difusa para el análisis de la sostenibilidad en los municipios mexicanos. Esto, con la intención de verificar su aplicabilidad para posteriormente desarrollar un trabajo más amplio donde se pueda analizar una muestra mayor de municipios; para esto se encuentra en proceso la identificación y obtención de la información necesaria por indicador, así como la incorporación de un mayor número de indicadores que pudieran darle mayor robustez al análisis mediante el modelo difuso.

## Metodología para el cálculo del IDSL

Previo a presentar la metodología aplicada para el cálculo del IDSL, se presentan elementos básicos de la teoría de la lógica difusa; no se pretende profundizar sino presentar lo más significativo y dejar como opción al lector interesado en conocer más sobre esta teoría y su aplicación práctica, revisar los trabajos de Zadeh (1965), Flores y Camarena (2013). Lo anterior, con el propósito de mostrar las principales características de esta teoría y su aplicabilidad de forma general en el análisis de fenómenos sociales y, en lo particular, en la cuantificación de la sostenibilidad.

Actualmente el principal uso que ha desarrollado la teoría de la lógica difusa es para encontrar soluciones en procesos informáticos y de control en las áreas de ingeniería, debido a la facilidad que otorga de trabajar con información imprecisa e incompleta, facultando la formalización y mesurado de información subjetiva a partir de la creación de un Sistema de Inferencia Difuso (SID), el cual es la representación de conocimientos y datos inexactos en forma similar a como lo hace el pensamiento humano.

El SID es diseñado a partir de la correspondencia no lineal entre una o varias variables de entrada y una variable de salida, pasando por un proceso de transformación y recuperación de los datos (*fuzificación-defuzificación*), esto facilita una base desde la cual pueden tomarse decisiones o definir patrones. Las etapas que conforman los

sistemas de inferencia difusa están divididas en tres: procesos de incorporación de información (PII), procesos de operaciones recursivas (POR) y procesos de respuesta o salida de información procesada al medio (PRIM). La descripción de cada proceso se muestra en el la tabla 1.

Tabla 1. Etapas del Sistema de Inferencia Difuso (SID)

PII
A través de la lógica difusa, los modelos de inferencia difusa son capaces de introducir a su dominio de operación una gran variedad de datos de diversa naturaleza. Este proceso implica una transformación de los datos perteneciente a un dominio determinado en términos de enunciados, a los datos como valores numéricos dentro de variables en un dominio difuso.
POR
Al interior del sistema de inferencia difusa los datos se encuentran ya en un dominio numérico y se transmiten como información para ser procesada mediante operaciones elementales de diferenciación, integración, comparación, ponderación y repetición, formando funciones representativas de pertenencia a cada valor lingüístico determinado.
PRIM
En la salida del sistema de inferencia difusa, los valores resultantes de las operaciones de los conjuntos difusos son nuevamente trasladados a términos propios del lenguaje del entorno; este proceso es nombrado <i>defuzzificación</i> .

Fuente: Flores y Camarena 2013.

Esta teoría fue presentada en su representación matemática por Zadeh en 1965 a partir de la estructuración de conjuntos difusos, los cuales son una colección de objetos donde a cada uno de estos objetos le corresponde una función de membresía, la cual asigna un cierto grado de pertenencia a un conjunto definido.

Para ejemplificar lo anterior, la representación matemática de un conjunto difuso cuando  $X$  es una colección de objetos (universo) denotados por  $x$ ,  $X=\{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ , así un subconjunto difuso  $A$  en  $X$  es un conjunto de pares ordenados:

$$A=\{\chi, \mu_A(\chi), |\chi \in U\}$$

Donde:  $\mu_A \rightarrow [0,1]$  es la función de pertenencia,  $\mu_A(\chi)$  es el grado de pertenencia de la variables  $x$ , y  $U$  es el dominio de la aplicación, en términos difusos es lo referente al universo de estudio, es decir, mientras más cercano sea el valor de " $\mu_A(\chi)$ " a la unidad, mayor será la pertenencia del objeto  $x$  al conjunto  $A$ .

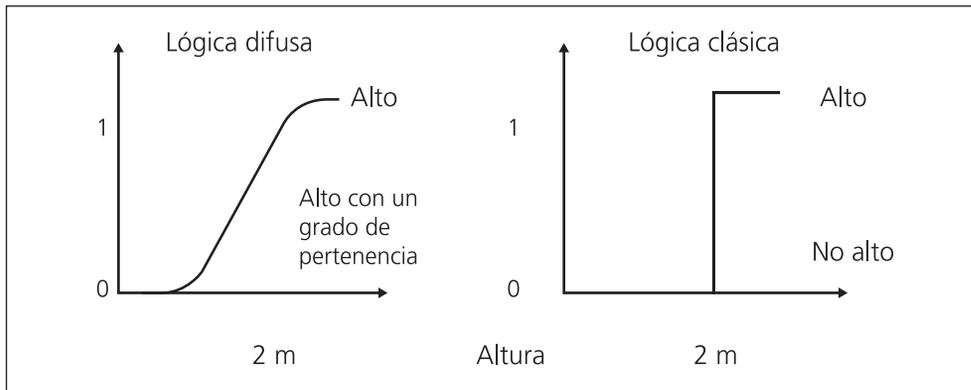
En la perspectiva de Zadeh, no todo el comportamiento humano es bajo la lógica clásica binaria o de dos valores, sino una lógica de verdades difusas, de reglas de deducción difusas y que es experimentado en el actuar diario al mencionar infinidad de

conjuntos difusos, es decir, conceptos que no tienen fronteras nítidamente definidas o exactas, características que difícilmente podría tener un solo valor numérico, por ejemplo: “claro, oscuro, veloz, viejo, impactante”, cualquier nombre de color “azul, gris, púrpura”.

El término “difuso” corresponde a los valores o grados de significancia que toma cualquier concepto en la medición de la incertidumbre como variables lingüísticas; para estas representaciones lingüísticas, se establecen correspondencias con valores numéricos en un conjunto entre cero y uno, estos conjuntos en unión con las etiquetas lingüísticas forman pares con los cuales se construye una función matemática, dicha función contiene los grados de significancia de las etiquetas lingüísticas mediante las cuales pueden crearse los conjuntos difusos listos para desarrollar operaciones aritméticas. Para ejemplificar lo mencionado, se retoma el presentado por Flores y Camarena (2013, 11):

Un individuo puede ser considerado alto si mide más de 2 m, pero, ¿qué pasaría con una persona que mide 1,99 m?, ¿tendrá que ser excluida del conjunto de personas altas para considerarla como una persona baja? La respuesta a la cual nos llevaría el uso de la lógica clásica o binaria sería que efectivamente no podría ser considerado dentro del conjunto de personas altas, sin embargo, lo que permite la lógica difusa, es encontrar un valor que indique en qué grado la persona que mide 1,99 m pertenece al conjunto de personas altas, pues es claro que dicha persona pertenecerá con mayor valor al conjunto de personas altas que al conjunto de personas bajas, lo anterior se aprecia en la figura 1.

Figura 1. Lógica difusa versus lógica clásica



Fuente: Flores y Camarena 2013.

En este sentido, se puede argumentar que la idea detrás de la lógica difusa es bastante sencilla pero con gran potencialidad para el análisis. En esencia, ofrece un camino intermedio entre las mediciones cualitativas y cuantitativas con la bondad de tras-

cender al superar algunas de las limitaciones de ambas aproximaciones al realizar una adecuada unificación de saberes e información (Ragin 2008).

El principal argumento que justifica el uso y aplicación de esta teoría es la posibilidad de generar un puente entre dos aproximaciones, ya que emplea la “precisión” que caracteriza el análisis cuantitativo y el uso de “conocimiento sustantivo” que distingue al análisis cualitativo. La superioridad analítica de estos modelos proviene del grado de pertenencia que alcanza un determinado elemento a cada conjunto difuso, encontrando una posición dentro del rango de 0,0 el cual representa la exclusión total al conjunto, hasta 1,0 que indica una inclusión plena.

Una vez mostrado lo más significativo de la teoría de la lógica difusa, la propuesta para el presente trabajo es la estimación de un IDSL que se construye a partir de esta teoría y mediante su representación matemática de los conjuntos difusos. La construcción de este índice tiene como antecedente lo presentado por Castro (2004), quien propone la construcción de un índice difuso para medir la sostenibilidad de algunos de los municipios andaluces.

Sin embargo, para la creación de indicadores mediante los cuales se calcula el IDSL, fue necesario realizar adecuaciones debido a la diversidad en la adaptación y medición de los mismos. Los indicadores que se eligieron representan y aportan sustancialmente a la dimensión conceptual misma del desarrollo sostenible; asimismo, en el contexto mexicano, la estimación y cálculo de una gran cantidad de los indicadores internacionales de sostenibilidad se encuentra restringida dado que son propuestos para contextos donde la información sistematizada y su calidad son superiores. En México, la mayoría de las veces no se cuenta con la información a escala local necesaria, por lo que en el presente trabajo se proponen inicialmente 33 indicadores para el cálculo del IDSL, los cuales fueron obtenidos de fuentes oficiales (como el INEGI, INE y documentos oficiales de los gobiernos municipales). Estos indicadores son clasificados en tres subsistemas: 1) subsistema ambiental, 2) subsistema socioeconómico y 3) subsistema demográfico (tabla 2).

Tabla 2. Indicadores para la estimación del IDSL

Subsistema ambiental	Indicadores
Agua	$V_{SA1}$ : Contar con una red de agua potable que llegue a todos los habitantes de los municipio.
Drenaje	$V_{SA2}$ : Contar con una red de drenaje que llegue a todas las viviendas del municipio.
Tratamiento de agua	$V_{SA3}$ : Contar con plantas de tratamiento de aguas residuales.
	$V_{SA4}$ : Diseñar e implementar programas gubernamentales para concientizar a la población en el buen uso y manejo del agua potable.
	$V_{SA5}$ : Contar con talleres y/o cursos para que la gente aprenda a valorizar el uso del agua.
	$V_{SA6}$ : Establecer medidas de protección a las fuentes de agua de los municipios.
Aire	$V_{SA7}$ : Monitorear la calidad de aire.
	$V_{SA8}$ : Acciones para mejorar la calidad del aire.
Transporte	$V_{SA9}$ : Programas de concientización para incentivar el uso de transporte no motorizado y el uso de transporte colectivo en los municipios.
	$V_{SA10}$ : Contar con ciclovías adecuadas para el uso de la bicicleta como medio de transporte.
Ruido	$V_{SA11}$ : Monitorear la intensidad de ruido.
	$V_{SA12}$ : Contar con estaciones de monitoreo para el ruido.
Residuos	$V_{SA13}$ : Contar con un relleno sanitario.
	$V_{SA14}$ : Contar con programas de concientización de separación y reciclaje de basura.
Zonas verdes	$V_{SA15}$ : Contar con espacios de bosque, jardines.
	$V_{SA16}$ : Contar con programas de concientización.
<b>Subsistema socioeconómico</b>	<b>Variable (práctica gubernamental)</b>
Empleo	$V_{SS1}$ : Total de población económicamente activa.
	$V_{SS2}$ : Iniciativas y/o programas para el fortalecimiento y creación de empleos.
Educación	$V_{SS3}$ : Total de centros de educación.
	$V_{SS4}$ : Porcentaje de la población con rezago educativo.
	$V_{SS5}$ : Iniciativas y/o programas para el fomento de la capacitación y educación formal.
Salud	$V_{SS6}$ : Clínicas y hospitales per cápita.
	$V_{SS7}$ : Total de población derechohabiente de sistemas de salud.
	$V_{SS8}$ : Iniciativas y/o programas para la salud.
Endeudamiento	$V_{SS9}$ : Nivel de endeudamiento.
Pobreza	$V_{SS10}$ : Porcentaje de pobres.
	$V_{SS11}$ : Iniciativas y/o programas para combatir la pobreza.
Marginación	$V_{SS12}$ : Índice de marginación.
Índice de Desarrollo Humano	$V_{SS13}$ : Grado de desarrollo humano.
<b>Subsistema demográfico</b>	<b>Variable (práctica gubernamental)</b>
Población	$V_{SD2}$ : Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> ).
	$V_{SD3}$ : Iniciativas y/o programas para la planeación demográfica.
Educación	$V_{SD4}$ : Población de 15 años de edad o más sin escolaridad.

Elaboración propia.

Cada uno de los indicadores es sometido al cálculo normalizado y acotado entre el intervalo  $[0,1]$  en función a los valores de referencia observados, donde estos valores quedaron establecidos por los mínimos y máximos de cada indicador. En la tabla 3 se muestran estos rangos de valores para cada indicador.

Tabla 3. Valores de referencia para cada indicador utilizado para el cálculo del IDSL

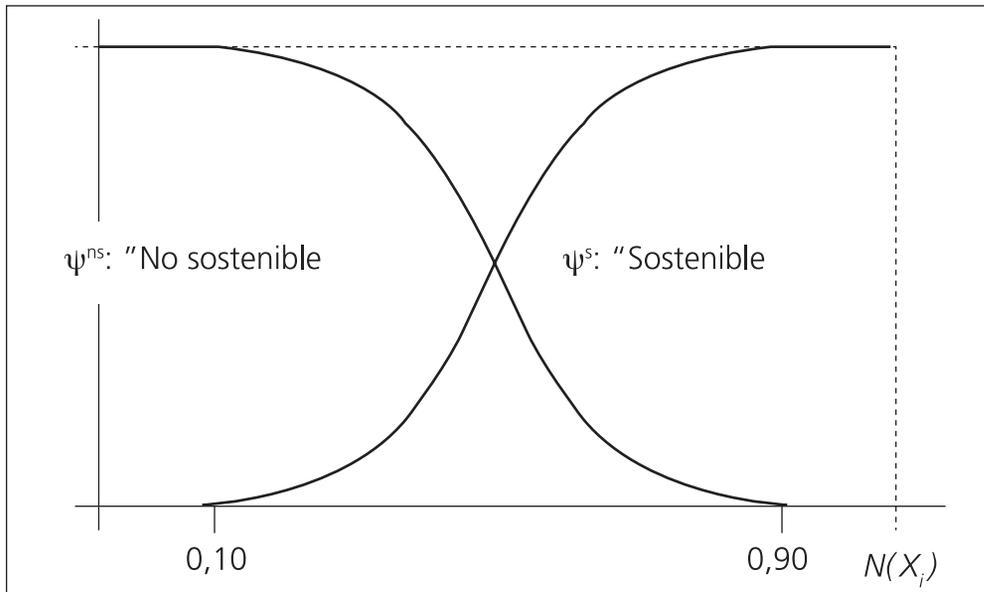
Indicadores	mín.	máx.	Indicadores	mín.	máx.	Indicadores	mín.	máx.
VSA1	264	10 141	VSS1	16 866	808 895	VSD1	0	1
VSA2	190	3359	VSS2	0	5	VSD2	65	9874
VSA3	1	6	VSS3	75	1226	VSD3	0	1
VSA4	0	1	VSS4	15,1	28,3	VSD4	40 128	1 471 824
VSA5	0	1	VSS5	0	5			
VSA6	0	1	VSS6	4,595E-05	0,00024			
VSA7	0	4	VSS7	25 307	945 326			
VSA8	0	1	VSS8	0	2			
VSA9	0	1	VSS9	61	1237			
VSA10	0	4	VSS10	22,5	65,2			
VSA11	0	1	VSS11	0	3			
VSA12	0	1	VSS12	5,223	14,388			
VSA14	0	1	VSS13	0,767	0,839			
VSA15	5	366						
VSA16	0	1						

Elaboración propia.

Una de las principales bondades del uso e implementación de un modelo de lógica difusa para la medición del desarrollo sostenible es que permite la determinación del peso relativo de cada indicador para realizar análisis de sensibilidad, es decir, se puede diferenciar la influencia de cada variable analizada en el desarrollo sostenible parcial y total, y así poder calcular un IDSL para cada municipio analizado y para cada uno de los tres subsistemas que finalmente puede ser aglomerado en un IDSL total que permita identificar una jerarquía en los municipios de acuerdo con sus niveles de sostenibilidad.

El procedimiento para el cálculo del IDSL consiste en la definición una variable lingüística  $\psi$ : “Sostenibilidad”, que representa la evaluación difusa de la distancia del valor real de cada variable al valor máximo que puede tomar (operativizado a partir de la conceptualización de desarrollo sostenible), esta variable se categoriza en dos valores  $\psi^s$ : “Sostenible” y  $\psi^{ns}$ : “No sostenible”. El conjunto difuso que representa esta variable lingüística se construye con la forma de tipo “S” debido a que esta función faculta mayor distinción en la progresividad de las variables evaluadas.

Figura 2. Conjunto difuso "Sostenibilidad"



Fuente: Castro 2004. Elaboración propia.

A partir de este conjunto difuso, se calculan los valores difusos de pertenencia de cada variable, las variables tendrán una pertenencia elevada al conjunto "Sostenible" si tiene valores cercanos a los valores ideales.

Los resultados difusos correspondientes al conjunto de sostenibilidad son agregados para obtener una medida del grado de pertenencia general para el total de las variables y para cada subsistema. El operador de agregación usado es el de promedio ponderado generalizado de Dubois y Prade (1985):

$$\mu_p = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \mu_i(\chi))^\alpha}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]^{1/\alpha} ; \alpha > 0$$

Donde "n" es el número total de variables, "w<sub>i</sub>" son las ponderaciones para cada variable<sup>3</sup> y "α" es un factor de compensación<sup>4</sup> del grado de sostenibilidad entre las variables.

Con lo anterior se obtiene para cada municipio un nivel de pertenencia agregado al conjunto "Sostenible", cuyo valor μ<sub>p</sub> correspondiente al índice difuso faculta realizar una clasificación de municipios de acuerdo con el IDSL.

3 Con la idea de mantener neutralidad en la importancia de cada variable con relación a la sostenibilidad, se considera igualdad en la ponderación (w = 1).

4 La compensación está regida bajo el siguiente rango: cuando α → 0 la compensación es nula, siendo completa cuando α → +∞ para fines del presente trabajo se opta por tener una compensación intermedia adoptándose un valor de → 0,4, por la razón de tener una compensación menor a la plena sustentabilidad.

*Contextualización para el análisis*

El territorio mexicano está dividido en 32 entidades federativas (Estados), para lo cual existe otra división denominada municipio. El municipio tiene capacidad de administrar sus recursos, sin embargo, estos recursos se conforman exclusivamente por las atribuciones e ingresos determinados por las legislaturas estatales. En México, actualmente existen 2440 municipios; cada entidad federativa la constituyen una cantidad diferente de municipios, como ejemplo: el Estado de Oaxaca se conforma por 570 municipios, mientras que el Estado de Baja California Sur solamente se conforma por cinco municipios.

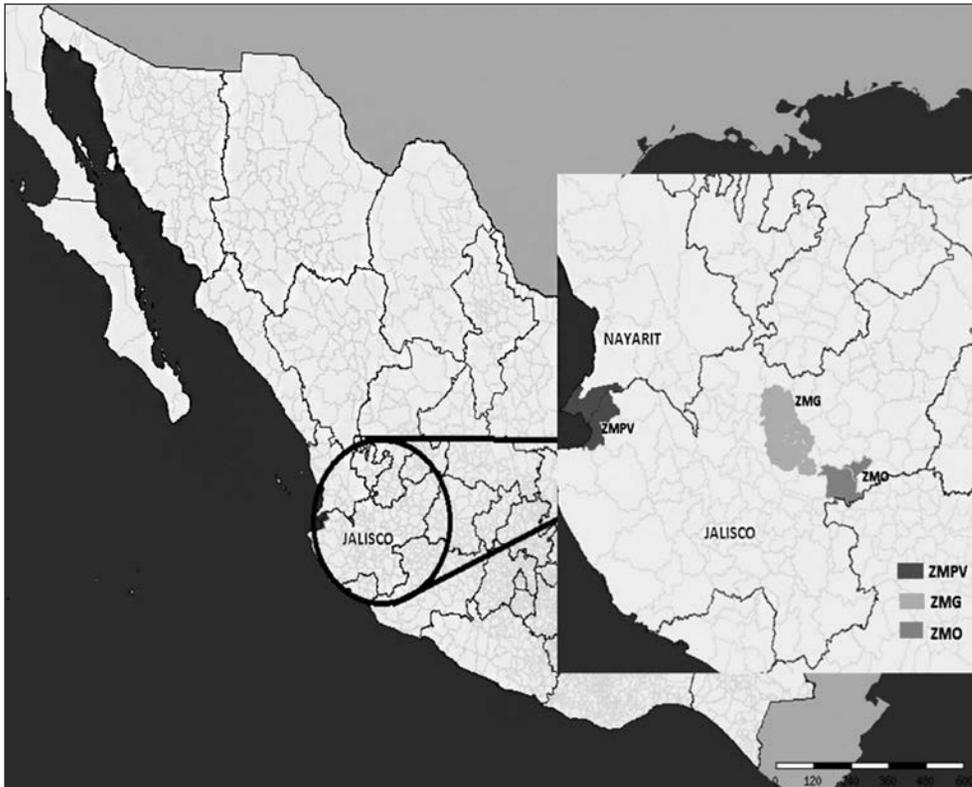
Para el caso de estudio, fueron considerados 11 municipios que conforman las zonas metropolitanas (ZM) del Estado de Jalisco, siendo tres: la ZM de Guadalajara (ZMG), la ZM de Ocotlán (ZMO) y la ZM de Puerto Vallarta (ZMPV) y son mostrados en la figura 3, todos con una población mayor a 30 mil habitantes (tabla 4). Los municipios de la muestra fueron seleccionados bajo el criterio de analizar la conformación de las ZM. En el mapa 1 se muestra los municipios de análisis diferenciados por su ubicación geográfica en la conformación de las tres zonas metropolitanas.

Tabla 4. Municipios seleccionados

Zona metropolitana	Municipio	Población
Guadalajara	Guadalajara	1 495 189
	Ixtlahuacán de los Membrillos	41 060
	El Salto	138 226
	Tlajomulco de Zúñiga	416 626
	Tlaquepaque	608 114
	Tonalá	478 689
	Zapopan	1 243 756
Ocotlán	Ocotlán	92 967
	Poncitlán	48 408
Puerto Vallarta	Puerto Vallarta	255 681
	Bahía de Banderas	124 205

Fuente: INEGI 2010. Elaboración propia.

Figura 3. Conformación de las zonas metropolitanas a partir de los 11 municipios de análisis



Fuente: INEGI 2010a. Elaboración propia.

En la descripción de los 11 municipios en estudio, pueden encontrarse algunas particularidades entre ellos y entre las tres ZM; la tabla 5 muestra algunas características de acuerdo con las características de sus viviendas. Se hace evidente en relación al promedio de ocupantes por vivienda o hacinamiento que es similar para los 11 municipios, sin embargo, sobresale el municipio de Poncitlán para el caso de viviendas, que tiene la menor disponibilidad de computadora y el municipio de Guadalajara con el mayor porcentaje. En realidad todos los datos son en gran medida similares, lo que podría considerarse acertado debido a que se trata de la conformación de las zonas metropolitanas.

Tabla 5. Acceso a servicios y equipamiento de las viviendas

Nombre del municipio	Promedio de ocupantes por vivienda particular	Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica %	Viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda %	Viviendas particulares que disponen de drenaje %	Viviendas particulares que disponen de excusado %	Viviendas particulares que disponen de televisión %	Viviendas particulares que disponen de computadora %
Guadalajara	4,0	97,4	96,7	97,1	97,2	96,4	47,9
Ixtlahuacán de los Membrillos	3,9	98,7	95,5	98,1	98,0	97,0	20,4
El Salto	4,3	98,4	82,2	96,9	97,7	96,8	22,9
Tlajomulco de Zúñiga	4,0	95,6	92,8	95,0	95,2	94,4	31,1
Tlaquepaque	4,3	98,1	94,1	97,4	97,7	97,0	36,8
Tonalá	4,4	97,0	86,9	95,9	96,5	95,9	31,3
Zapopan	3,9	97,6	93,8	97,0	97,2	96,4	53,3
Ocotlán	4,0	98,8	89,7	97,6	98,0	97,5	31,1
Poncitlán	4,5	98,2	93,7	96,3	96,4	92,5	18,2
Puerto Vallarta	3,7	96,1	92,5	95,1	95,4	93,3	39,5
Bahía de Banderas	3,7	96,9	92,8	96,1	96,0	93,4	30,0

Fuente: INEGI 2010. Elaboración propia.

Los niveles de educación que tiene la población de cada municipio de análisis, se aprecian en la tabla 6. El grado promedio de escolaridad más alto lo tiene el municipio de Puerto Vallarta, mientras que el menor se encuentra en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, sin embargo, para el caso del nivel de educación profesional es el municipio de Guadalajara el que tiene el mayor promedio.

Tabla 6. Niveles de escolaridad

Nombre del municipio	Grado promedio de escolaridad de la población de 15 años de edad y más años	Población de 18 años de edad y más años con nivel profesional %
Guadalajara	10,0	15,1
Ixtlahuacán de los Membrillos	8,2	5,4
El salto	8,4	3,5
Tlajomulco de Zúñiga	7,1	7,4
Tlaquepaque	9,4	8,6
Tonalá	8,0	5,9
Zapopan	9,1	17,6
Ocotlán	8,9	9,5
Poncitlán	8,5	3,7
Puerto Vallarta	10,4	10,9
Bahía de Banderas	8,7	8,0

Fuente: INEGI 2010. Elaboración propia.

Es importante entender la magnitud en términos no solo de tamaño y población sino también de recursos económicos que dispone cada municipio, estos se muestran en la tabla 7. En esta variable sobresale el municipio de Guadalajara en la primera posición e Ixtlahuacán de los Membrillos en el último lugar.

Tabla 7. Ingresos totales por municipio para 2010

Nombre	Ingresos totales en pesos mexicanos	Posición en nivel de ingresos totales
Guadalajara	6 238 269 764	1
Ixtlahuacán de los Membrillos	94 306 934	11
Ocotlán	208 530 509	9
Poncitlán	98 228 436	10
Puerto Vallarta	991 661 680	6
El Salto	313 912 498	8
Tlajomulco de Zúñiga	1 075 921 840	5
Tlaquepaque	1 235 392 991	4
Tonalá	1 290 869 879	3
Zapopan	3 786 520 690	2
Bahía de Banderas	567 568 572	7

Fuente: INEGI 2010. Elaboración propia.

Se evidencia, a partir de la descripción anterior de algunas particularidades socioeconómicas, que existen similitudes entre cada entidad municipal debido a que precisamente son los municipios con mayor potencialidad para el desarrollo, si se parte de la idea de considerarlos como zonas metropolitanas. Lo anterior, bajo el conocimiento de que los municipios que conforman ZM tienen acceso a fondos adicionales a los asignados a cada municipio.

### Cálculo del IDSL para los municipios de la Zona Metropolitana de Guadalajara

Como resultado de la aplicación del modelo de lógica difusa para los municipios elegidos, se obtiene la ordenación de la tabla 8, donde se muestra el valor del IDSL, asumiendo que la cercanía al valor de 1 representa mayor pertenencia al conjunto sostenible, es decir, mayor sostenibilidad.

El municipio de Guadalajara se posiciona de entre los 11 municipios analizados como el que tiene mayor tendencia en materia de sostenibilidad y siendo el municipio de Ocotlán el que presenta un IDSL menor.

Resalta el hecho de que el tamaño poblacional y la cantidad de ingresos de los municipios no se ve reflejado en el grado de sostenibilidad, ejemplificándose con el municipio de Ixtlahuacán de los Membrillos que, a pesar de ser el de menor población, obtiene un IDSL superior al de Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Bahía de Banderas, Poncitlán y Ocotlán, todos estos con poblaciones mayores.

Tabla 8. IDSL por municipio

Municipio	IDSL
Guadalajara	0,650
Zapopan	0,547
Tlaquepaque	0,256
Puerto Vallarta	0,229
Tonalá	0,212
Ixtlahuacán de los Membrillos	0,177
Tlajomulco de Zúñiga	0,169
El Salto	0,121
Bahía de Banderas	0,109
Poncitlán	0,083
Ocotlán	0,058

Elaboración propia.

Asimismo, debido a la flexibilidad que permite el uso de un modelo basado en la lógica difusa, se pudo calcular un IDSL para cada uno de los subsistemas analizadas por cada municipio, para lo cual se aprecia que las escalas se mueven en los tres subsistemas. El caso del municipio de Tonalá resalta, pues mientras que para el sistema ambiental toma la cuarta posición con un IDSL superior al de Puerto Vallarta, para el subsistema socioeconómico baja hasta la posición nueve. Lo anterior es de vital importancia si se considera que a partir de estos datos se puede dar prioridad a las áreas, o en este caso subsistemas, de tal forma que la sostenibilidad total del municipio se vea beneficiada en un resultado integral. Lo mencionado puede ser apreciado en el caso del municipio de Tonalá, pues mientras que para el subsistema demográfico alcanza valores significativos en sostenibilidad, no es así en el subsistema socioeconómico, esta subclasificación del cálculo del valor del IDSL ofrece una ventana de posibilidades a partir de la cual se pueden visualizar los puntos que deberán reforzarse.

Tabla 9. IDSL por subsistema

Municipio	IDSL subsistema ambiental	Municipio	IDSL subsistema socioeconómico	Municipio	IDSL subsistema demográfico
1. Guadalajara	0,639	1. Guadalajara	0,592	1. Guadalajara	0,901
2. Zapopan	0,579	2. Zapopan	0,534	2. Tlaquepaque	0,461
3. Tlaquepaque	0,280	3. Puerto Vallarta	0,247	3. Zapopan	0,440
4. Tonalá	0,274	4. Tlajomulco de Zúñiga	0,229	4. Tonalá	0,109
5. Puerto Vallarta	0,253	5. Bahía de Banderas	0,228	5. Tlajomulco de Zúñiga	0,035
6. Ixtlahuacán de los Membrillos	0,215	6. Tlaquepaque	0,189	6. El Salto	0,002
7. Tlajomulco de Zúñiga	0,135	7. Poncitlan	0,183	7. Puerto Vallarta	0,002
8. El Salto	0,134	8. Ixtlahuacán de los Membrillos	0,173	8. Ixtlahuacán de los Membrillos	0,001
9. Bahía de Banderas	0,014	9. Tonalá	0,167	9. Ocotlán	0,002
10. Ocotlán	0,010	10. El Salto	0,130	10. Poncitlan	0,001
11. Poncitlan	0,001	11. Ocotlán	0,118	11. Bahía de Banderas	0,001

Elaboración propia.

## Conclusiones

La complejidad para medir el desarrollo sostenible de una región ocasionada por la diversidad y amplia cantidad de indicadores que responden a diferentes concepciones del desarrollo sostenible fue motivo para que en este trabajo se planteara como objetivo principal hacer una contribución metodológica para medir el desarrollo sostenible a nivel local. En este sentido, se presentó la construcción del IDSL, el cual se construyó utilizando la teoría de la lógica difusa. Este Índice permite analizar y comparar el desarrollo sostenible en tres dimensiones específicas del sistema ambiental a nivel local: ambiental, socioeconómica y demográfica. Como evidencia empírica exploratoria, se presentaron los resultados de 11 municipios del Estado de Jalisco de México que integran las tres mayores zonas metropolitanas del Estado. La definición operativa vista a partir de la construcción del IDSL posibilitó la definición de indicadores en las tres dimensiones señaladas antes y la distinción del nivel de desarrollo sostenible por municipio analizado.

Los resultados obtenidos, en términos de la ordenación de los municipios estudiados de acuerdo con su respectivo IDSL, apuntan a que la utilización de la lógica difusa para la medición del desarrollo sostenible posibilita determinar el peso relativo de cada variable analizada de forma específica o de forma general. Ello permitió calcular el IDSL para cada municipio y cada dimensión del desarrollo sostenible definida inicialmente (ambiental, socioeconómica y demográfica) que finalmente es agregado en el IDSL general.

Lo anterior permite un conocimiento más preciso sobre cuáles son las variables que explican el IDSL para cada caso estudiado, lo que permitiría hacer propuestas de políticas públicas diferenciadas para cada municipio y para cada dimensión. En este sentido, los resultados permiten observar que el desempeño ambiental de cada municipio, medido por su IDSL, no deriva necesariamente de su tamaño demográfico ni su nivel socioeconómico. Por ejemplo, Poncitlán, que es el segundo municipio con menor población entre los municipios estudiados, es el penúltimo lugar en el IDSL general y el último lugar en su dimensión ambiental, sin embargo, se encuentra en el cuarto lugar por el nivel de ingresos totales.

A pesar de las limitantes que se tuvieron en la incorporación de una cantidad más abundante de indicadores al modelo de lógica difusa, los resultados encontrados en el análisis presentado dan cuenta de que la lógica difusa y su representación matemática de los conjuntos difusos son de gran utilidad en el análisis de la sostenibilidad, debido a la flexibilidad y multidimensionalidad que proporciona el tratamiento diferenciado de los indicadores de sostenibilidad, así como su potencial para hacer comparaciones en un contexto determinado.

Sin embargo, la muestra utilizada es aún pequeña tanto en la cantidad de variables estudiadas como en el número de casos incorporados, por lo que será necesario dar

seguimiento a este trabajo ampliando sus alcances, de tal forma que pudiera realizarse un análisis del total de municipios mexicanos, diferenciando comportamientos regionales y de tipos de municipios (urbanos y rurales). Asimismo, en el seguimiento de esta línea de investigación que incorpora la cuantificación de la sostenibilidad en el desarrollo municipal, se pretende como continuidad realizar el comparativo entre la metodología de la lógica difusa y otras convencionalmente utilizadas, aunque esto implica la distinción de ambas formas desde términos metodológicos hasta la robustez de sus resultados.

## Bibliografía

- Castro, Marcos. 2004. *Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía*. Sevilla: Instituto de Estadística de Andalucía.
- Castro, Marcos y Antonio Morillas. 1998. *Alternative Design for the City Development Index Based on Distance Measure*. Research Partnership for the Analysis of the Global Urban Indicators Database and Design of Urban Indices. Urban Indicators Programme. Global Urban Observatory. Nairobi.
- Comunidades Europeas. 2000. "Hacia un perfil de la sostenibilidad local". *Indicadores comunes europeos*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Dubois, Didier y Henri Prade. 1985. "A Review of Fuzzy Set Aggregation Connectives". *Information Sciences* 6: 85-121.
- Flores, Lucio y Margarita Camarena. 2013. "Evaluación de programas públicos en el marco de la realidad social. Metodología basada en la lógica difusa como instrumento para el análisis de fenómenos sociales". *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social* 5, año 3 (abril-septiembre): 8-23. Buenos Aires.
- Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). 1999. *Livestock and Environment Toolbox*. European Commission / FAO / LEAD. Acceso en septiembre de 2015.  
<http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/lead/toolbox/Start.htm>
- Hardi, Peter y Terrence Zdan. 1997. *Assessing Sustainable Development: Principles in Practice*. Winnipeg, Canadá: International Institute for Sustainable Development.
- Harris, Jonathan. 2003. "Sustainability and Sustainable Development". *International Society for Ecological Economics*, 1-12. Acceso en septiembre de 2014.  
<http://isecoeco.org/pdf/susdev.pdf>
- Holmberg, John, Karl-Henrik Robert y Karl-Erik Eriksson. 1994. *Socio-Ecological Principles for a Sustainable Society. Scientific Background and Swedish Experience*. Ponencia presentada en el Simposio Internacional *Down to Earth: Practical Application of Ecological Economics*, 24-28 de octubre. Heredia, Costa Rica.

- Instituto Nacional de Ecología (INE) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000. *Indicadores de desarrollo sustentable en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. *Censo de población y vivienda 2010*. Acceso en septiembre de 2014.  
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010a. *Cartografía geoestadística urbana 2010*. Acceso en septiembre de 2014.  
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&up-c=0&s=est&tg=3604&f=2&cl=0&pf=prod&ef=0&ct=201100000&pg=2>
- International Council for Local Environmental Initiative (ICLEI). 1996. *The Local Agenda 21 Planning Guide: An Introduction to Sustainable Development Planning*. Toronto: ICLEI.
- Mebratu, Desta. 1998. "Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review". *Environmental Impact Assessment Review* 18 (6): 493-520.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y Comisión Europea (JRC). 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD / JRC.
- Polanco, Camilo. 2006. "Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones". *Gestión y Ambiente* 9 (2): 27-41. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ragin, Charles. 2008. *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rodríguez, Manuel y Arnoldo Gabaldón. 2002. Evolución de las políticas e instituciones ambientales: ¿hay motivos para estar satisfechos? En *La transición hacia el desarrollo sustentable: perspectivas de América Latina y el Caribe*, compilado por E. Leff, E. Ezcurra, I. Pisanty y P. Romero, 35-60. México: PNUMA.
- Sánchez, Antonio y Luisa García. 2010. "El desempeño económico de los gobiernos municipales mexicanos en los procesos de desarrollo a escala local". *Economía, Sociedad y Territorio* 10 (33): 355-412.
- Sarandón, Santiago. 2002. "El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas". En *Agroecología. El camino para una agricultura sustentable*, editado por Santiago Sarandón, 393-414. Buenos Aires: Ediciones Científicas Americanas.
- Tarzia, Valentina. 2003. *European Common Indicators: Towards a Local Sustainability Profile*. Milán: Ambiente Italia Research Institute.
- United Nations. 2007. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Nueva York: United Nations Publications.
- \_\_\_\_\_. 2002. *Contabilidad Ambiental y Economía Integrada. Manual de Operaciones*. Nueva York: United Nations Publications.

- United Nations. 1992. *Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development*. Nueva York: United Nations Publications.
- UN-Habitat. 2013. *State of the World's Cities 2012/2013: Prosperity of Cities*. Nueva York: Routledge.
- \_\_\_\_\_. 2009. *Urban Indicators Guidelines*. Kenia: United Nations.
- World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. *Our Common Future*. Nueva York: Oxford University Press.
- World Health Organization. 2006. *Guidelines for Drinking-Water Quality: First Addendum to Volume 1, Recommendations*. World Health Organization.
- Zadeh, Lotfi. 1996. "Nacimiento y evolución de la lógica difusa, el *soft computing* y la computación con palabras: un punto de vista personal". *Psicothema* 8 (2): 421-429.
- Zadeh, Lotfi. 1965. "Fuzzy Sets". *Information and Control* 8: 338-353.