

# Obtención de un índice de sustentabilidad aplicado a materiales de construcción

*Oscar Rosas Jaimes\**

*Mónica Marina Mondragón Ixtlahuac\*\**

*Elizabeth Adriana Valdez Medina\*\*\**

*Horacio Ramírez de Alba\*\*\*\**

*David DelgadoHernández\*\*\*\*\**

## RESUMEN

Este artículo aplica dos conceptos con la finalidad de obtener un índice de sustentabilidad para edificaciones. El primero se refiere al análisis del ciclo de vida de materiales de construcción, evaluado con parámetros como el calentamiento global, partículas cancerígenas y no cancerígenas, contaminantes del aire, eutrofización, ecotoxicidad, smog, el agotamiento de los recursos naturales, calidad del aire interior, y el agotamiento de la capa de ozono. El segundo concepto es la aplicación de Sistemas de Inferencia Borrosa (Fuzzy Inference Systems, FIS) el cual es un modelo que intenta emular el proceso de razonamiento de un experto en el área de construcciones y medio ambiente, a través del cual se calcula un índice sobre la sustentabilidad de los materiales utilizados en un edificio, que toma en cuenta el ciclo de vida de los mismos. Dichos materiales han sido previamente analizados mediante el programa computacional SimaPro, un software de evaluación de ciclo de vida que considera variables consensadas internacionalmente.

**Palabras clave:** sustentabilidad, sistema de inferencia borrosa, materiales de construcción.

\*Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Arquitectura, Universidad de Ixtlahuaca CUI.  
oscar.rosasjaimes@yahoo.com

\*\*mmmondroni@uaemex.mx.

\*\*\*eliza21381@yahoo.com.

\*\*\*\*hra@uaemex.mx.

\*\*\*\*\*djd@uaemex.mx.

## INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad puede definirse como la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las generaciones futuras (Herman, 2002; Instituto de Recursos Naturales, 1992). La aplicación de este concepto a la construcción de edificios, el uso de diversas metodologías y modelos son necesarios para el estudio del ciclo de vida de los edificios (Hernández, 2010).

En el caso presentado, la metodología conocida como Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED™, por sus siglas en inglés) es utilizada no sólo para reducir los impactos ambientales causados por los edificios, sino también para mejorar las condiciones de bienestar de la construcción y la funcionalidad (United States Building Council, 2009). Puede ahorrar recursos, mejorar la calidad de vida de los usuarios y el medio ambiente. Esta metodología considera seis variables: sitio, agua, energía, confort interior, materiales de construcción y la gestión de desechos.

A pesar de que la mayoría de las variables utilizadas en esta metodología son determinísticas en su comportamiento y medición, con valores y unidades definidos, un índice de sustentabilidad resultante del análisis de la relación entre ellos sigue siendo una decisión humana, con una carga importante de subjetividad.

Debido a este hecho, la lógica borrosa (Zadeh, 1965) es capaz de emular la subjetividad del pensamiento humano mediante el establecimiento de una generalización sobre el grado de pertenencia de los elementos de un conjunto y sobre el nivel de verdad de las proposiciones de tipo de inferencias lógicas. Con el fin de simular el razonamiento humano, la lógica borrosa también necesita del conocimiento sintetizado de las variables que se pueden observar en el campo de interés, y producir con ello una emulación de la calificación que un experto podría dar a través de un proceso de pensamiento (Zimmerman, 1991).

El presente trabajo plantea los criterios relacionados con el diseño sustentable de edificios mexicanos, específicamente en lo que a materiales de construcción refiere y las ventajas de utilizar las estrategias LEED™ en este documento se muestran aspectos relacionados con los materiales de construcción a través de variables que tratan de dar un sentido cuantitativo, y a su vez sirven de insumos para el sistema de inferencia borrosa presentado.

Además, el sistema se ha diseñado de manera que pueda ser utilizado por profesionales, para la obtención de un índice de sustentabilidad de materiales de construcción para usuarios directos e indirectos en un edificio hipotético o real, ya sea en su diseño o en su fase operativa.

Este tipo de sistemas de apoyo, también llamados sistemas expertos (Yen *et al.*, 1995), no trata de reemplazar a los seres humanos en las actividades en las cuales se requiere su criterio, pero son útiles en estudios preliminares o parciales relativos a los procedimientos relacionados con el diagnóstico o clasificación (Rosas *et al.*, 2005; Rosas *et al.*, 2006).

En la siguiente sección se presentan los criterios para aplicar una metodología y obtener un índice de sustentabilidad de materiales de construcción, especialmente para la región central del territorio mexicano, donde las condiciones climáticas no varían significativamente a lo largo del año.

Las variables, las reglas y la estructura global del sistema de inferencia borrosa que sirve como una herramienta en la calificación del grado de sustentabilidad de un edificio dados criterios específicos son abordadas en una sección específica, los resultados de un caso hipotético pero realista se presenta también, comparando los resultados con la opinión de expertos. Por último, las actividades futuras y conclusiones de este trabajo son también discutidas en el documento.

El uso de LEED™ correspondiente a materiales de construcción refiere a una lista de criterios que resultan difíciles de medir y se basan más bien en el reconocimiento que un inspector especializado pueda tener. Dentro de esos criterios se pueden encontrar el calentamiento global y el agotamiento de los recursos naturales, sin embargo es necesario para estudiarlos tener toda la información que se derive de estudios y análisis anteriores para poder obtener un valor que sirva como un calificativo normalizado, el cual represente por sí mismo un grado deseado de sustentabilidad con respecto a los materiales utilizados en la construcción, el cual a su vez sirva como comparativo entre diferentes edificaciones.

La generación de un juicio sobre el nivel de sustentabilidad de un edificio respecto al material del que está hecho sigue siendo una tarea subjetiva, por lo que es necesario un sistema con valores de medición objetivos para diagnosticar un nivel de sustentabilidad.

Existen variables que directamente miden efectos y productos que se relacionan con afectaciones a la salud, al bienestar y que finalmente desembocan en relaciones con el medio ambiente local en el que se encuentra una edificación y sus usuarios. Estas variables se listan a continuación:

### *A. Calentamiento global*

Se conoce que uno de los componentes de la atmósfera terrestre es el dióxido de carbono cuya unidad de medida en ambiente como indicador de la calidad de aire en  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Un exceso de éste se supone acentuaría el fenómeno conocido como efecto invernadero (Barros, 2007), reduciendo la emisión de calor al espacio y provocando un mayor calentamiento del planeta. Dependiendo de las concentraciones encontradas y los efectos percibidos, los expertos están de acuerdo en considerarlo un factor de riesgo en la contaminación del medio ambiente.

### *B. Índice de cáncer*

El benceno es una sustancia directamente asociada a la aparición de cáncer. Se sabe que produce alteraciones en la sangre como anemia, hemorragias y leucemia (ATSDR, 2007). Los niveles de benceno al aire libre oscilan entre 0.02 y 34 partes de benceno por billón de partes de aire (ppb) (1 ppb es la milésima parte de 1 ppm). Afortunadamente la producción de elementos de la sangre puede normalizarse después que la exposición al benceno termina.

### *C. Índice de No-Cáncer*

Refiere a sustancias tóxicas sin que esto implique que estén directamente relacionados con el cáncer, pero sí con padecimientos respiratorios y vasculares (Peterson *et al.*, 2006). Criterios para la medición de este índice se obtiene como el número de años perdidos debido a la discapacidad originada por exposición a este tipo de sustancias, en relación con el número de años que se espera para los individuos a vivir si no fueron expuestos.

#### *D. Eutrofización*

Este término está relacionado con el exceso de nitrógeno en los nutrientes de un ecosistema originando desequilibrios asociados a dicha sustancia, favoreciendo a algunos procesos pero perjudicando a otros (Albert, 1985). Otros efectos directos en la salud del ser humano son las reacciones con la hemoglobina en la sangre, causando una disminución en la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre, disminución del funcionamiento de la glándula tiroidea, bajo almacenamiento de la vitamina A, y algunas otras que pueden ser causantes de cáncer.

#### *E. Ecotoxicidad*

La ecotoxicología estudia el efecto de los contaminantes en los ecosistemas, explicando las causas y prevención de riesgos probables. Un ejemplo de sustancias ecotóxicas es el ácido 2,4-diclorofenoxiacético, una sustancia teratogénica que pueden entrar en el cuerpo por ingestión, o formas dérmicas y pulmonares. Afecta el sistema nervioso central y periférico (convulsiones y parálisis), la función motriz e interfiere en el metabolismo. La movilidad es relativamente elevada y conlleva el riesgo de contaminación de las masas de agua, incluyendo el agua subterránea y reservorios de agua potable (CONICET, 2012).

#### *F. Smog*

El óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) reacciona con el amoníaco, la humedad y otros compuestos para formar vapor de ácido nítrico y partículas relacionadas. Las partículas pequeñas pueden penetrar profundamente en el tejido pulmonar y causar daños sensibles, provocando la muerte prematura, en casos extremos. La inhalación de estas partículas puede causar o empeorar enfermedades respiratorias como enfisema, bronquitis y también puede agravar enfermedades del corazón ya existentes.

#### *G. Agotamiento de los recursos naturales*

Esta es una medición de la pérdida de energía en una zona. En otras palabras, se supone que una región habitada con un conjunto de características puede disponer de una cantidad de energía para cubrir necesidades diferentes. Cuando esta región supera esa cantidad, se considera que los recursos naturales involucrados en la obtención de esa energía se están agotando (BEES on-line, 2011).

#### *H. Calidad de aire interior*

Es el término referido a la calidad del aire dentro y alrededor de los edificios y estructuras, relacionado, especialmente con la salud y el confort de los ocupantes del edificio quienes pueden ser afectados por los contaminantes microbianos (hongos, bacterias), gases (incluido el radón, el monóxido de carbono, volátiles compuestos orgánicos), partículas, o cualquier masa que provocan condiciones adversas a la salud.

## I. Agotamiento de la capa de ozono

Desde el descubrimiento de la capa de ozono en las capas de la alta atmósfera y su relación química con compuestos de CFC (*Compuestos Clorofluorocarbonados* que son los principales responsables del adelgazamiento de la capa de ozono) se acepta que este es un problema ambiental importante. Los CFC son persistentes en la atmósfera pues pueden durar de 50 a 100 años en la atmósfera sin degradarse, y cuando llegan a la capa de ozono la destruyen. A través de estudios de las capas atmosféricas altas es posible realizar un censo de dicho proceso en el tiempo con el fin de hacer una estimación de su agotamiento (BEES on-line, 2011).

Estas nueve variables son la base para el diseño de un sistema de inferencias borrosas que tiene en cuenta sus intervalos de validez y funcionamiento, con una partición basada en límites bien definidos reconocidos por los expertos en el área. La Tabla 1 muestra estas variables, las unidades de medida y los límites antes mencionados.

Tabla 1

CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Variable	Unidades	Límite normal	Límite de precaución	Límite letal
Calentamiento Global	mg/m <sup>3</sup> (CO <sub>2</sub> )	-	9	9.15
Índice de Cáncer	mg/m <sup>3</sup> (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	0.108	-	31900
Índice No-Cáncer	DALY	1.15	-	60
Eutropiación	mg/m <sup>3</sup> (N)	-	-	50000
Ecotoxicidad	mg/m <sup>3</sup>	-	-	10
Agotamiento de recursos naturales	kWatts/h per capita	-	-	1.943
Smog	mg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> )	-	31	47
Calidad del aire	mg/m <sup>3</sup> (TVOC)	200	-	25000
Agotamiento de la capa de ozono	mg/m <sup>3</sup> (O <sub>3</sub> )	-	-	5620

### SISTEMA DE INFERENCIA BORROSA (FUZZY INFERENCE SYSTEM, FIS)

Con el fin de inferir las variables relacionadas con los materiales de construcción, es necesario definir un intervalo válido y operativo, y luego dividirlo por funciones de pertenencia identificadas por  $\mu(x)$ , con  $x$  representando la variable de interés, la cual previamente se ha definido en su rango de valores y en los subconjuntos en que será dividida.

Las expresiones (1) muestran la manera en que, por ejemplo, la variable *Calentamiento Global* (*GW*, por Global Warming, si atendemos a sus siglas en inglés, que corresponden con valores medibles de Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub>, disuelto en la atmósfera) es traducida en este contexto. Puede notarse que estas expresiones son dos funciones de pertenencia, cuya forma es trapezoidal (Figura 1).

$$\mu_{fit}(GW) = \begin{cases} 1 & \text{If } GW < 3.5 \\ \frac{8.85 - pH}{9.15 - 8.85} & \text{If } 3.5 \leq GW \leq 8.5 \\ 0 & \text{If } GW > 8.5 \end{cases} \quad (1a)$$

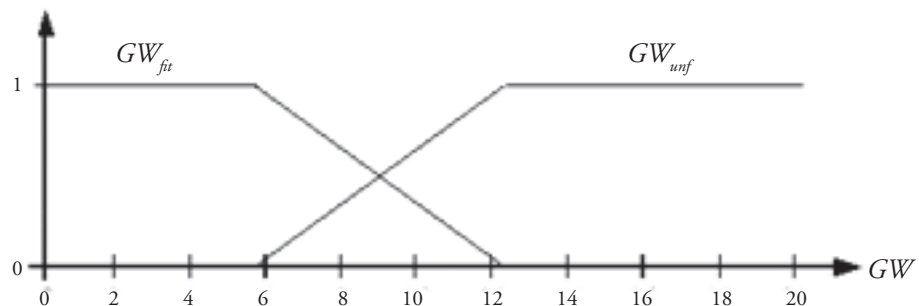
$$\mu_{unf}(GW) = \begin{cases} 0 & \text{If } GW < 3.5 \\ \frac{GW - 8.85}{9.15 - 8.85} & \text{If } 3.5 \leq GW \leq 8.5 \\ 1 & \text{If } GW > 8.5 \end{cases} \quad (1b)$$

For  $0 \leq GW \leq 20$

El lector puede notar que para un valor de GW existe una calificación entre 0 y 1 que se obtiene de estas funciones. Estas calificaciones dan un valor de pertenencia a los conjuntos definidos Apto (*Fit*) y No-Apto (*Unf*)<sup>1</sup>, es decir, para valores más bajos se entiende que estos pertenecen completamente al conjunto apto (fit), para lo cual se tiene una calificación de 1, lo cual es igual para el conjunto de valores  $GW < 3.5$ . A partir de este valor, su pertenencia cambia gradualmente con la pendiente definida para la función  $\mu(GW)$ , hasta hacerse nula, lo cual significa que para esos valores de la variable GW ya no se los puede considerar como parte del conjunto apto. En cambio, si tienen una cierta calificación de pertenencia para otro conjunto definido por su respectiva función, en este caso, los no aptos. Esto se aplica a las nueve variables elegidas para este trabajo, las cuales son insumos o variables de entrada al sistema de inferencias borrosas, también conocidas como antecedentes.

Figura 1

FUNCIONES DE PERTENENCIA PARA LA VARIABLE CALENTAMIENTO GLOBAL (GW)

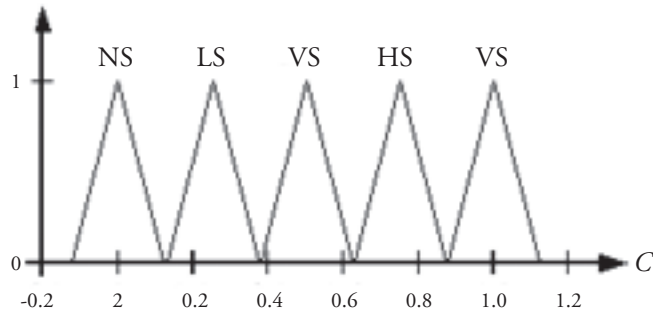


Por otra parte, el valor que se define como resultante del Sistema de Inferencias Borrosas (FIS, por Fuzzy Inference System) será la variable Índice de Sustentabilidad *S*. Como puede verse en la Figura 2, hemos diseñado esta variable a través de cinco funciones de pertenencia de tipo triangular: *NS* para aquellos valores de este índice que se considerarán como del tipo No Sustentable, por su baja

<sup>1</sup> En el ámbito de temas de Sustentabilidad, Medio Ambiente, Desarrollo y Regulación se deben tomar en cuenta límites máximos permisibles de presencia de sustancias o condiciones contaminantes. En esta forma, si una cantidad medible de un contaminante está por debajo de un nivel convencionalmente aceptado, se dice que dicho valor es “apto”. Si está por encima, entonces dicha situación es “no apta”.

calificación en los criterios de sustentabilidad; *LS* para aquellos que sean etiquetados como Poco Sustentables; *MS*, moderadamente sustentables; *HS*, para los sustentables en alto grado; y *VS*, para los que han logrado alcanzar un nivel Muy Sustentable. Esta será la única variable resultante, o variable de salida, también conocida como consecuente del FIS.

Figura 2  
FUNCIONES DE PERTENENCIA DEL ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD RESULTANTE



El FIS se completa a través de las reglas de inferencia, que se utilizan para relacionar el antecedente y el consecuente. Se trata de un conjunto de operaciones lógicas que combina a cada función de pertenencia de cada variable del antecedente con las funciones de pertenencia del consecuente, como en la expresión (Tabla 2).

26

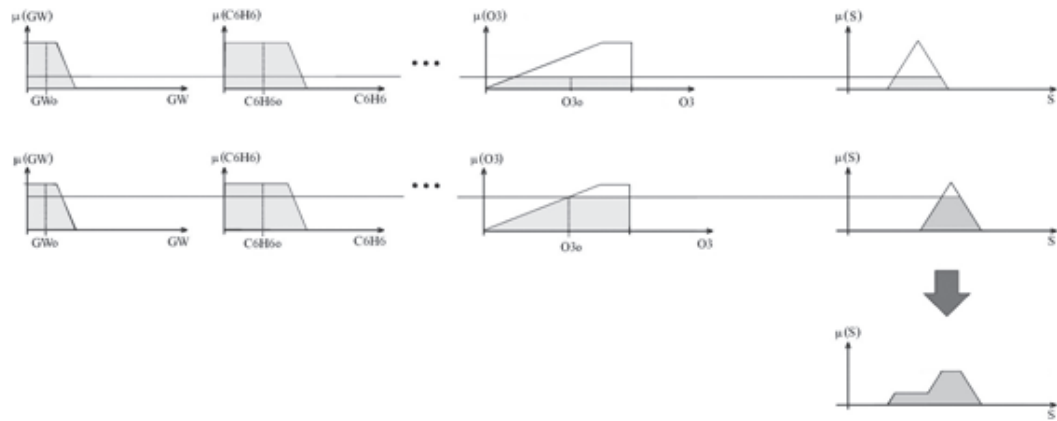
Tabla 2  
EXPRESIÓN LINGÜÍSTICA DE UNA REGLA DE INFERENCIA (IZQUIERDA)  
Y SU CORRESPONDIENTE EXPRESIÓN PARA REALIZAR OPERACIONES LÓGICAS (DERECHA)  
EL SÍMBOLO ^ REPRESENTA AL OPERADOR “AND” (“Y” LÓGICO)

<p>Si <math>GW</math> es <math>GW\_fit</math> y <math>C6H6</math> es <math>C6H6\_fit</math> y <math>DAL</math> es <math>DAL\_fit</math> y  <math>N</math> es <math>N\_Unf</math> y <math>Ecotox</math> es <math>Ecotox\_Unf</math> y <math>Smog</math> es <math>Smog\_fit</math> y  <math>E</math> es <math>E\_Unf</math> y <math>TVOC</math> es <math>TVOC\_fit</math> y <math>O3</math> es <math>O3\_fit</math>  Entonces <math>S</math> es <math>HS</math></p>	$\mu [(GW, C6H6, DAL, N, Ecotox, Smog, E, TVOC, O3), S] =$ $= \min [(\mu_j(GW) \wedge \mu_k(C6H6) \wedge \mu_l(DAL) \wedge$ $\wedge \mu_m(N) \wedge \mu_n(Ecotox) \wedge \mu_p(Smog) \wedge$ $\wedge \mu_q(E) \wedge \mu_r(TVOC) \wedge \mu_s(O3)), \mu_t(S)]$
---	--

El FIS tiene  $2^9 = 512$  reglas, por lo tanto resulta laborioso programarlo manualmente pero puede facilitarse mediante la construcción de un algoritmo combinatorio encargado de seleccionar las identificaciones de las funciones de pertenencia de cada variable para asociar una función de pertenencia determinada en el consecuente. Las combinaciones resultantes están dirigidas a emular la forma de razonamiento de un experto en la calificación de la sustentabilidad de los materiales de construcción, de tal forma que valores pequeños de cada variable en el antecedente corresponden en la práctica con valores por debajo de los valores límite de agentes o sustancias contaminantes, con lo cual la tendencia en el índice de sustentabilidad  $S$  aquí definido es a dar mejores calificaciones, mientras que a combinaciones con valores que tienden a ser altos en los valores de los contaminantes definidos mediante las nueve variables antecedentes se le dirige a obtener peores calificaciones a través del índice  $S$ .

El mecanismo mediante el cual se obtiene un valor resultante para  $S$  depende de los valores que se tengan como entrada para cada una de las nueve variables aquí definidas, las cuales se procesan a través de las funciones de pertenencia cuyo valor sea distinto de cero, una operación también conocida como “disparo de regla”, con lo cual las inferencias realizan una combinación que finalmente desemboca en un valor distinto para el consecuente (Figura 3). De cada uno de estos valores se obtiene un agregado que, geoméricamente, se traduce en una superficie que representa al proceso de combinación.

Figura 3  
DISPARO DE LAS REGLAS DE INFERENCIA Y AGREGACIÓN RESULTANTE

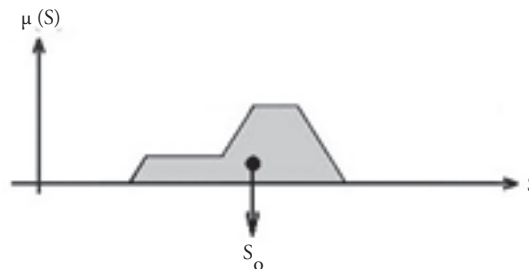


Dado que esta agregación es representada por una superficie plana, parece natural que su centroide sea una medida representativa del valor resultante relacionado con el índice buscado, particularmente la abscisa que directamente involucra al índice  $S$ .

$$\bar{S} = \frac{\int S g(S) dS}{\int g(S) dS} \quad (2)$$

Donde  $g(S)$  es la función de trazado por el contorno de la superficie agregada. El correspondiente equivalente geométrico para esta operación puede verse en la Figura 4.

Figura 4  
AGREGACIÓN RESULTANTE Y CENTROIDE QUE SE OBTIENE





## RESULTADOS

Todas las variables que se consideraron en esta investigación tienen en común que se pueden ser medidas por medio de dispositivos de medición o métodos con el fin de obtener valores objetivos. Sin embargo, el proceso para estas entradas debe tratar de emular la subjetividad humana.

Debido a la flexibilidad en diseño y facilidad de manejo, el MatLab's Fuzzy Logic Toolbox<sup>â</sup> ha sido utilizado para construir y evaluar un Índice de Sustentabilidad (*S*) que es el resultado o salida del proceso descrito anteriormente a partir de valores de entrada dados. Este software permite concentrarse en los detalles de lógica borrosa, dejando la carga de código de programación para la definición de la geometría, y conjuntos de cálculo en un segundo plano. Las variables de entrada deben ser introducidas en forma tal que el orden de sus valores numéricos debe ser respetado.

Como caso práctico, es posible suponer que a través de un estudio del ciclo de vida pertinente, una construcción tal como una casa mexicana de dos pisos, hecha de block, con una superficie aproximada de 80 m<sup>2</sup>, nueva y sin habitantes, podría tener los valores esperados que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

VALORES DE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO PARA UNA CASA MEXICANA Y EL  
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD CALCULADO POR EL SISTEMA DE INFERENCIAS BORROSAS

<i>Impact Category</i>	<i>Value</i>
Global Warming [mg/m <sup>3</sup> ]	9.3
Cancer Index [mg/m <sup>3</sup> ]	449.79
Non-cancer Index [DALY]	30.4
Eutro-pfication [mg/m <sup>3</sup> ]	23100
Ecotoxicity [mg/m <sup>3</sup> ]	4.23
Smog [mg/m <sup>3</sup> ]	65.7
Natural Resource Depletion [kWatts/h per capita]	2.05
Indoor Air Quality [mg/m <sup>3</sup> ]	4000
Ozone Depletion [mg/m <sup>3</sup> ]	4710
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD DEBIDO A MATERIALES	S = 5.6

Los resultados de la Tabla 2 se pueden obtener a partir de un estudio del ciclo de vida utilizando un software dirigido a tal propósito como SimaPro<sup>â</sup>. Estos resultados son entonces las entradas al FIS diseñado, cuya salida es el índice de sustentabilidad *S*, un resultado en una escala de 0 a 10. Este valor se puede interpretar como una calificación media dado el carácter de sustentabilidad de tal construcción, como se esperaba y de una manera similar a la calificación expresada por un inspector humano al evaluar este mismo conjunto de variables.

## CONCLUSIONES

La Lógica Borrosa, teoría de la cual procede el diseño de los Sistemas de Inferencias Borrosas, tiene por principal característica la simulación del proceso de razonamiento humano, a partir de información procedente de variables dentro de un contexto de conocimiento representado por reglas de inferencia que se traduce en una calificación que indica el resultado de dicho razonamiento. Para este trabajo, las variables son aquellas relacionadas con el ciclo de vida de materiales de construcción en relación a la afectación que se tiene con respecto al medio ambiente.

Estas variables se utilizan como insumos que son operados por reglas lógicas del tipo Si-Entonces, con las que se llevan a cabo operaciones dentro del campo de los conjuntos borrosos. Un conjunto de operaciones subsecuentes, ya descrito, tienen por resultado la obtención de un índice de sustentabilidad que, en una escala del 0.0 al 10.0, indica qué tan sustentable es un material al ser empleado en la construcción de una edificación, en este caso, una casa tipo.

Este índice en sí mismo es subjetivo y arbitrario, pero es útil para hacer comparaciones entre diferentes materiales, lo cual tiene por utilidad que entre un conjunto de materiales puedan ser estos clasificados entre los de mayor o menor grado de sustentabilidad en forma similar a como lo haría un experto humano dotado del conocimiento suficiente para llevar a cabo dicha tarea.

Las variables que se han tomado en cuenta son aquellas que presentaban como principales características ser susceptibles de medición, con unidades bien definidas, y poder ser relacionadas con algún proceso o aparato para ser medidas.

El trabajo futuro incluye pruebas de varios tipos de edificios, con el fin de comparar diferentes materiales de construcción en una casa de las mismas características, con el fin de saber si, por ejemplo, cierta combinación de materiales tiene mejor índice de sustentabilidad.

Este tipo de sistemas no se pretende que sea un sustituto del especialista humano, pero podría ser una herramienta útil para llevar a cabo estudios iniciales, para proporcionar una ayuda a los procesos de diseño, para conseguir resultados parciales en edificios construidos o los recursos de formación para profesionales.

## REFERENCIAS

- Albert, L., (1985) *“Toxicología Ambiental. Capítulo 17: Nitritos y nitratos”*, <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a17.pdf> (accessed on-line: September 12, 2012). Organización Panamericana de la Salud.
- ATSDR (2007) *“Resumen de Salud Pública: Benceno”*, Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, Servicio de Salud Pública. Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. División de Toxicología y Medicina Ambiental. CAS#: 71-43-2
- Barros, V., (2007). *“El cambio climático global. ¿Cuántas catástrofes antes de actuar?”* Buenos Aires: Libros El Zorzal. Ediciones desde abajo.
- BEES on-line (2011) *“BEES tutorial”*, [http://ws680.nist.gov/Bees/\(A\(Oofu\\_w7TywEkAAAAAN-jViZDc3OWUtNTVmZC00NWQ2LWIxYjUtODdiZGMwOGNkYmQwFSVeNNJGN-03JaWvHDXKKMunqWWY1\)\)/help/Bees%20Online%20Tutorial.pdf](http://ws680.nist.gov/Bees/(A(Oofu_w7TywEkAAAAAN-jViZDc3OWUtNTVmZC00NWQ2LWIxYjUtODdiZGMwOGNkYmQwFSVeNNJGN-03JaWvHDXKKMunqWWY1))/help/Bees%20Online%20Tutorial.pdf) (accessed on line: September 10, 2012)

- CONICET, (2012) “*Ecotoxicología, Breve Enciclopedia del Ambiente*”, <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Ecotoxicol.htm>, (accessed on line: September 10, 2012).
- Delgado, D., Vilchis, A., y Hernández, S., (2010) “*Desarrollo sustentable en la industria de la construcción*”. *Construyendo México* 3(12), pp. 13–18.
- EPA (2012) “*Mid Atlantic Air Protection*”; <http://www.epa.gov/reg3artd/Indoor/iaq.html> (accessed on line: September 10, 2012), U.S. Environmental Protection Agency.
- Herman, E., (2002) “*Sustainable Development: Definitions, Principles and Policies*”. School of Public Affairs. University of Maryland.
- Hernández, S., (2010) “*Diseño y manejo sustentable en edificación*”. UAEM. México.
- Lippiat, B., and Boyles, A., (2001) “*Building for environmental and economic sustainability (BEES): software for selecting cost-effective green building products*”. CIB World Building Congress. Wellington, New Zealand.
- Natural Resources Institute (1992) “*A Guide to the Global Environment*”, Oxford University Press.
- Performance Based Building Thematic Network (2005) “*Life performance of construction materials and components. final domain report*”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence pp. 11–17. The Netherlands.
- Petterson, S., Signor, R.; Ashbolt, N., and Roser, D., (2006) “*QMRA Methodology. Microbiological risk assessment: a scientific basis for managing drinking water safety from source to tap*”. European Commission.
- Rosas, O., Alonso, A., Suárez, C., Rosas, P., y Álvarez, L., (2005) “*Riesgo de aterogénesis y evaluación glucémica asistidos por lógica borrosa*”. En: Primer Congreso de Control Aplicado a Ciencias Biomédicas. Ciudad del Carmen, Campeche, México.
- Rosas, O., Alonso, A., Mas, J., y Álvarez, L., (2006) “*Diagnóstico de riesgo de aterogénesis asistido por lógica borrosa*”. *Ingeniería Investigación y Tecnología* 7(4), 191–202.
- Rosas, O., Hernández, S., Delgado, D. and Vilchis, A., (2011) “*Evaluation of comfort conditions in architectural design assisted by fuzzy logic*”. Congreso de la Asociación de México de Control Automático AMCA 2011, Octubre 3-7, Saltillo, Coahuila, México.
- United States Building Council (2009) “*LEED™, Guide of reference. version 3.0*” ed. USBC.
- Voet, D., and Voet, J., (1992) “*Bioquímica*”, John Wiley and Sons/Ediciones Omega Barcelona.
- Weinger, M., (1999) “*Teachers Guide on Basic Environmental Health*”. Geneva, World Health Organization (Document WHO/SDE/PHE/99.5), Chapter 8: Human settlements and urbanization.
- Yen, J., Langari, R., and Zadeh, A., (1995) “*Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*”. IEEE Press. New York, USA.
- Zadeh, A., (1965) “*Fuzzy sets*”. *Information and Control*.
- Zimmerman, H., (1991) “*Fuzzy set theory and its applications*”. 2 ed. Kluwer Academic Publishers.