ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 10, 2006. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

MODELO DE CALIDAD DE VIDA URBANA. FORMULACIÓN DE UN SISTEMA DE VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS URBANOS BÁSICOS DE INFRAESTRUCTURA APLICANDO LÓGICA BORROSA.

Carlos Díscoli[1], Luciano Dicroce[2]
Dante Barbero[3], Jorge Amiel[4], Gustavo San Juan[1], Elías Rosenfed[1].
Unidad de Investigación N°2 del Instituto de Estudios del Hábitat (IDEHAB)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata (FAU-UNLP)
Calle 47 N°162, CC 478. La Plata (1900), Argentina. http://www.energiayambiente.com.ar
e-mail: dicroce_luciano@yahoo.com.ar.Tel/fax +54-0221-4236587/90 int 254.

RESUMEN.
El trabajo busca mejorar la implementación de un Modelo de Calidad de Vida Urbana a través de la formulación y ajuste de un sistema de evaluación de los servicios básicos urbanos y los aspectos ambientales. Para tal fin se experimentaron e incluyeron metodologías complementarias basadas en la lógica borrosa. Su instrumentación se orientó con el objeto de calificar servicios urbanos y/o patologías ambientales a partir del análisis y valoración de las cualidades relevantes que los caracterizan. La metodología incluye las etapas previstas tales como fuzzificación, confección de reglas y posterior defuzzificación. Se describen para cada una de ellas las variables y procedimientos.

Palabras clave: Calidad Urbana, Gestión Urbana, Modelo, Lógica Borrosa, Servicios, Infraestructura.

INTRODUCCION.

La interrupción de los procesos políticos-institucionales acompañados de crisis socio - económicas recurrentes de las últimas décadas se manifiestan en los procesos de fragmentación de las ciudades. Esta situación se ve provocada por la falta de continuidad en las políticas de planeamiento en el ámbito local, por la permanente resolución de las situaciones de coyuntura y por el crecimiento espontáneo, resultando en consecuencia un desorden desmedido en algunos sectores de la ciudad.

Dicha situación agudiza como consecuencia algunas patologías urbanas asociadas a la inequidad y deficiencia en los servicios públicos, al déficit de infraestructura básica, a la incompatibilidad de usos del suelo, a la contaminación (aérea, sonora, etc.), al deterioro sostenido del paisaje, a la violencia indiscriminada y en definitiva al deterioro socio - económico de los ciudadanos, profundizando los mecanismos de degradación urbano – ambiental.

Trabajos llevados a cabo por nuestro grupo de Investigación (Pirez P. et al, 1997-2000 CONICET) y el Proyecto marco como "Sistemas de Diagnóstico de necesidades básicas en infraestructuras, servicios y calidad ambiental en escala urbano - regional". PICYT 13-14509 ANPCyT (Discoli C. 2003), permiten comenzar a mensurar en términos de Calidad de Vida Urbana y de necesidades básicas insatisfechas, el estado de situación de los diferentes aspectos en el ámbito de la ciudad.

Entendemos que para evaluar en estos términos, existen condiciones consideradas óptimas que conjugan y determinan sensaciones de confort en lo biológico y psicosocial dentro del espacio donde el hombre habita y actúa. En consecuencia la Calidad de Vida Urbana (CVU) va a depender del grado de satisfacción de la demanda de necesidades y/o aspiraciones que los habitantes obtienen en el medio urbano. Para poder evaluar dicha situación en el contexto de su complejidad, se desarrolló un modelo de CVU que tiende a vincular e integrar al conjunto de servicios que convergen en la ciudad con la percepción del espacio en términos de habitabilidad, seguridad, pertenencia e identidad con el lugar.

A partir de lo expresado, los distintos proyectos de investigación citados permitieron avanzar en el desarrollo de un Modelo de Calidad de Vida Urbana orientado a calificar los servicios básicos y de infraestructura, los aspectos de cobertura, la opinión de los usuarios y técnicos, y las implicancias ambientales. Los términos del modelo incluyen variables y dimensiones sociales, ambientales y técnicas, considerando los aspectos de oferta y demanda de los usuarios, con el objeto de evaluar el grado de satisfacción de necesidades y de cualificar/cuantificar el estado de situación de la ciudad en cuestión. Su implementacion en diferentes sectores de la ciudad o entre ciudades de escalas similares, permite evaluar el estado de las mismas.

[1] Investigador CONICET; [2] Becario UNLP; [3] Becario ANPCyT; [4] Profesor Facultad de Ciencias Exactas UNLP.

El Modelo de Calidad de Vida Urbana se estructuró sobre un algoritmo donde se establecieron 6 niveles jerárquicos (N1, N2,…N6) de integración de variables y dimensiones, estableciendo dos grandes grupos: i) *Servicios Urbanos* y el *Equipamiento*, ii) *Aspectos Urbano-Ambientales*. El desarrollo metodológico del Modelo de CVU se detalla en Rosenfeld E. et al. (2000, 2001 y 2005), este es aplicable a ciudades o aglomeraciones de escala intermedia y se muestran en el Cuadro 1 los algoritmos actualizados.

CVUsue = Calidad de los servicios urbanos y equipamiento.

CVUsue = $\sum_{i=1}^{4} Ni$ = N1+N2+N3+N4

N1=Servicios_básicos_de_Infraestructura = {EEr, EEg, GNr, Ge, Cl, Le}
Básicos. (EEr Energía Eléctrica por red, GNr Gas Natural por red)
Alternativos. (Eeg Energía Eléctrica generador, Ge Gas Envasado, Cl Combustibles Líquidos, Le Leña)

N1= $$\sum_{x \in Servicios_de_Infraestructura} CAL(x) * Cob(x) * Op(x) * Fu(x)$$

donde Servicios_básicos_de_Infraestructura = { EEr, EEg, GNr, Ge, CL, Le }
CAL(x)= Servicios_básicos_de_Infraestructura →[0..10]
Cob(x)= Servicios_básicos_de_Infraestructura → [0..1]
Op(x)= Servicios_básicos_de_Infraestructura → [0..1]
Fu(x)= Servicios_básicos_de_Infraestructura → [0..1]

N2= Servicios_básicos_de_Saneamiento = {Scr, Pab, Eza, Apr, Abe, Abm}
Básicos. (Scr Saneamiento Cloacal por red, Apr Agua Potable por red)
Alternativos. (Pab Pozo Absorbente, Eza Efluentes a zanja, Abe Agua por bombeo eléctrico, Abm Agua por bombeo manual)

N2= $$\sum_{x \in Servicios_básicos_de_Saneamiento} CAL(x) * Cob(x) * Op(x) * Fu(x)$$

donde Servicios_básicos_de_Saneamiento = { SCr, Pab, Eza, Apr, Abe, Abm }
CAL(x)= Servicios_básicos_de_Saneamiento → [0..10]
Cob(x)= Servicios_básicos_de_Saneamiento → [0..1]
Op(x)= Servicios_básicos_de_Saneamiento → [0..1]
Fu(x)= Servicios_básicos_de_Saneamiento → [0..1]

N3= Servicios_ de_comunicación ={Tpa, TPfc, Tep, Rvj, Tep, Cha, Rem, Ai, Cp, TVc}
Básicos. (Tpa Transporte Público Automotor, Tpfc Transporte Público ferrocarril, Tep Transporte Empresas Privadas, Rvj Red Vial Jerarquizada)
Otros.(Tep Telefonía Publica, Cha Charter, Rem Remises, Ai Acceso a Internet, Cp Correo Postal, Tvc Televisión por cable)

N3 = $$\sum_{x \in Servicios_de_comunicación} CAL(x) * Cob(x) * Op(x)$$

donde Servicios_ de_comunicación ={ Tpa, TPfc, Tep, Rvj, Tep, Cha, Rem, Ai, Cp, TVc}
CAL(x)= Servicios_de_comunicación → [0..10]
Cob(x)= Servicios_de_comunicación → [0..1]
Op(x)= Servicios_de_comunicación → [0..1]

N4= Servicios Sociales= {Ss, Se, Sg, Sb, Rr, Dp, Ev, Ic, Ve, Ap, Pha }
Básicos. (Ss Servicio de Salud, Se Servicio de Educación, Sg Servicio de Seguridad, Sb Servicio de Bomberos, Rr Recolección de Residuos, Dp Desagüe Pluvial, Ev Espacios Verdes)
Otros. (Ep Espacios Públicos, Icu Infraestructura Cultural, Ic Iluminación Callejera, Ve Veredas, Ap Arbolado Publico, Pha Patrimonio Histórico Artístico)

N4 = $$\sum_{x \in Servicios_básicos_adicionales} CAL(x) * Cob(x) * Op(x)$$

Servicios_sociales = { Ss, Se, Sg, Sb, Rr, Dp, Ic, Ev, Ve, Ap, Pha }
CAL(x)= Servicios_sociales → [0..10]
Cob(x)= Servicios_sociales → [0..1]
Op(x)= Servicios_sociales → [0..1]

La calificación de un servicio, su grado de cobertura, la opinión acerca del mismo y el factor de uso (porcentaje de uso/100) se denominan respectivamente Cal(x), Cob(x), Op(x) y Fu(x).

CVUaua = Calidad de aspectos urbano-ambientales.

CVUaua = $\sum_{i=5}^{6} Ni$ = N5+N6

N5= Aspectos_urbanos = {Bas, Apr, Lp, Ai, Li, Air, Rpp, Be, Cv, Rt, Zrd, Se, Ac}
(Bas Existencia de Basurales, Apr Existencia Asentam. Precarios, Ai Áreas Inundables, Li Industrias o Residencias Inactivas, Air Act. incompatibles uso residencial, Rpp Residuos Peligrosos y Patógenos)
Otros (Se Situación Edilicia, Ac Abastecimiento Comercial, Be Barreras Espaciales, Cv Confort Visual, Rt Puntos de riesgo de transito, Zrd Zona de riesgo delictivo)

N5 = $$\sum_{x \in Aspectos_urbanos} CAL(x) * Fa(x) * Gi(x)$$

donde Aspectos_urbanos = { Bas, Apr, Lp, Ai, Li, Ai, Rpp, Be, Cv, Rt,Zrd }
CAL(x)= Aspectos_urbanos → [0..10]
Fa(x)= Aspectos_ urbanos → [0..1]
Gi(x)= Aspectos_ urbanos → [0..1]

N6= Aspectos_ambientales = {Cs, Cai, Ct, Ca}
(Cs Contaminación Sonora, Cai Contaminación del Aire, Ct Contaminación de la Tierra, Ca Contaminación del Agua)

N6 = $$\sum_{x \in Aspectos_ambientales} CAL(x) * Fa(x) * Gi(x)$$

donde Aspectos_ambientales = { Cs, Cai, Ct, Ca }
CAL(x)= Aspectos_ambientales → [0..10]
Fa(x) = Aspectos_ambientales → [0..1]
Gi(x) = Aspectos_ambientales → [0..1]

Fa(x) y Gi(x) significan factor de afectación y grado de impacto respectivamente. El factor de afectación se refiere a la superficie afectada y el grado de impacto se refiere a la magnitud del impacto. Cal(x) se refiere a la calificación del aspecto.

Cuadro 1. *Algoritmo. Modelo de Calidad de Vida Urbana (CVU).*

La estructura del Modelo de CVU plantea en el caso de la calidad de los servicios urbanos y equipamiento:

i. Calificar los servicios de infraestructura y de saneamiento a través de la evaluación de cualidades.
ii. Relacionar el grado de cubrimiento del servicio.
iii. Sistematizar la opinión declarada por los usuarios.
iv. Y considerar un factor de uso en los que existen alternativas mixtas de servicios (GNr Gas Natural por red/Ge Gas Envasado; Ge Gas Envasado/Le Leña; Scr Saneamiento Cloacal por red/Pab Pozo Absorbente; etc.)

En cuanto a la calidad de aspectos urbano - ambientales, se califican las variables según la importancia de la perturbación en la zona (tipo de efectos, destinos de las afecciones, escala, peoridicidad, persistencia, etc.), a la que se le incorpora un factor de área afectada y un factor que manifiesta el grado de impacto.

Las experiencias realizadas hasta el momento (Discoli et al., 2005) permitieron establecer algunas limitaciones en los procesos de calificación de los servicios a través de sus cualidades. Su valoración se determinaba a través de una evaluación subjetiva estableciendo rangos numéricos cuyo juicio final dependía de la disponibilidad de diferentes servicios para un mismo fin y de sus ventajas y desventajas relativas (GNr Gas Natural por red Vs. Ge Gas Envasado Vs.; Cl Combustibles Líquidos Vs. Le Leña etc.). Con el objeto de perfeccionar y profundizar metodológicamente esta etapa de cuantificación del modelo, se analizaron métodos que permitieron elaborar un sistema de valoración mas objetivo, sin dejar de considerar la diversidad y subjetividad de alguna de las variables en juego. Para tal fin y a partir de experiencias anteriores (Discoli C. A. y Romero F., 1996, 1997) se empleó la técnica de lógica difusa o borrosa, para calificar con mayor precisión la variedad de servicios considerados en el modelo. Esta lógica permitiría una mayor versatilidad en las etapas de cuantificación y calificación de los distintos servicios y de las perturbaciones ambientales, incluyendo en su desarrollo el análisis de cualidades como atributos de valoración.

MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN EN LA CALIFICACIÓN DE UN SERVICIO A TRAVÉS DE SUS CUALIDADES.

La utilización de lógica borrosa como instrumento complementario a la lógica clásica en la determinación de la calificación de los servicios, tiene como objetivo lograr una herramienta que aproxime con importantes grados de certezas al sistema real. Dicha herramienta permitirá ensayar correcciones durante la instancia de calificación, en búsqueda de una valoración óptima teniendo la opción de poder simular en forma dinámica diferentes escenarios posibles.

La lógica difusa cuenta con procedimientos de razonamiento aproximados tendientes a obtener resultados perfectibles más que exactos. Bajo este aspecto consideramos su importancia, ya que existe cierta semejanza con el razonamiento humano y el sentido común dado que son aproximados por naturaleza. La lógica difusa difiere de la lógica clásica en los detalles y en su espíritu (Kosko B., 1995). La última responde a una lógica bivalente donde el valor de verdad puede tener dos opciones a saber: verdadero o falso; 0 o 1; si o no. En cambio, en un sistema multivaluado (borroso) el valor de verdad puede ser: un conjunto cardinal finito (ej: {alto, medio, bajo}) o un intervalo real (ej: [0...1]).

La inclusión realizada en 1965 por Zadeh de la lógica multivaluada a la teoría de conjuntos (Zadeh L.A., 1965), nos permite introducir el concepto de conjunto borroso. En consecuencia, un conjunto clásico o de pertenencia bivaluada o bivalente incluye (o excluye) enteramente a sus elementos. En cambio, un conjunto borrosa no tiene un límite claramente definido, y puede contener elementos con sólo un grado parcial de pertenencia. Es decir que en lógica borrosa, la verdad de cualquier sentencia es una cuestión de grados, el razonamiento borroso da la posibilidad de responder una pregunta si - no con una respuesta si o no en determinado grado.

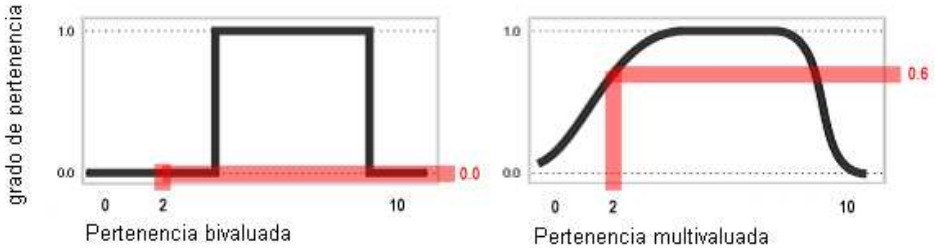

Figura 1. Conjunto NO Borroso – Conjunto Borroso.

En la figura 1 se muestra sintéticamente la diferencia conceptual en cuanto al grado de pertenencia entre ambos conjuntos (clásico y borroso). La curva suave que grafica el conjunto borroso o multivaluado, mapea el espacio de entrada (en este ejemplo = 2) en el espacio de salida (grado de pertenencia al conjunto = 0.6) esta curva se conoce como función de pertenencia. Esta define cuanto de cada punto en el espacio de entrada se corresponde a un valor de pertenencia (o grado de pertenencia) entre 0 y 1, donde a los posibles valores que puede tomar la entrada se lo llama universo de discurso.

La complementariedad de ambas lógicas, relacionadas a través de una metodología abarcativa de análisis y diagnóstico (como es la del Modelo de Calidad de Vida), y la utilización de sistemas de control moderno de múltiples entradas y salidas (tipo MATLAB®), permitió generar un instrumento apropiado para poder cuantificar de forma precisa a los servicios de infraestructura y de saneamiento a través de la evaluación de ciertas cualidades que lo identifican y caracterizan.

Como antecedente podemos mencionar las experiencias realizadas aplicando lógica borrosa en los servicios sociales, por ejemplo aplicadas al servicio de salud, considerado como un sistema complejo de redes productoras de servicios de gran heterogeneidad (Discoli C. A. y Romero F., 1997). La implementación se justificó por su diversidad de variables críticas y estructurales con características mixtas de comportamiento (lineales, no lineales, invariantes y variables en el tiempo). En consecuencia, y dada la similitud de escenarios en cuanto a complejidad y diversidad de condicionantes, se consideró que esta herramienta es apta para ser utilizada en la calificación y consecuente valoración de los servicios urbanos.

En el caso de los servicios de infraestructura o saneamiento, con el objeto de establecer procesos de valoración cuantificables en términos de calidad, intervienen un conjunto de cualidades que caracterizan la naturaleza del servicio. Estas son: accesibilidad, continuidad, costo, calidad, traslado - manipuleo, riesgo de utilización, existencia de organismos o empresas que respalden técnica y administrativamente el servicio, contaminación entre otras.

La implementación de los mecanismos de evaluación de la calificación por lógica borrosa se están llevando a cabo con software que permiten la resolución de cálculos numéricos por medio de vectores y matrices. La utilización de programas tipo MATLAB®, permitieron la utilización de rutinas orientadas a poner a punto métodos numéricos. Sus capacidades más atractivas responden a la posibilidad de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. También cuenta con un lenguaje de programación propio y poseen una interfaz grafica (GUI, graphic user interfase) de fácil comprensión y manejo. Por ser herramientas de alto nivel, el desarrollo de programas numéricos con estos software permite minimizar los esfuerzos de programación en relación con otros lenguajes convencionales.

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA EN LÓGICA BORROSA. EJEMPLO DE CÁLCULO.

A los efectos de sistematizar la calificación se vio la necesidad de establecer un sistema de valoración que comprenda o implemente una metodología reiterativa en el modelo de CVU. En consecuencia se comenzó su instrumentación con la calificación del *Servicio básico de Infraestructura* GNr (Gas Natural por red), provisto por redes físicas y se compara con su servicio *alternativo* principal Ge (Gas envasado). Ambos cuentan con cierto grado de organización, pero su valoración se diferenciará en función de la descalificación de algunos de sus atributos. También se tiene en cuenta dentro del sistema a otros servicios *sustitutos* que poseerán posibles valoraciones menores, estos son combustibles líquidos y sólidos, que en general no cuentan con una distribución minorista preestablecida, y afectan significativamente al resto de los atributos (contaminación y eficiencia energética del vector).

El sistema desarrollado que permite valorar la calificación del servicio GNr y sus alternativos (o sustitutos) cuenta con 4 entradas, 5 reglas y 1 salida. La estructura básica de este ejemplo se muestra en la figura 2.

Figura 2. Sistema para calificar el Servicio básico de Infraestructura GNr y los posibles servicios alternativos (o sustitutos).

Analizando y resumiendo la gráfica podemos decir que el concepto de inferencia borrosa es un método que interpreta los valores de un vector de entrada, basado en una lista de sentencias if-then (si...entonces...) llamadas reglas, y asigna valores a un vector de salida. (MATLAB®, Fuzzy Logic Toolbox, 2004). En cuanto a la configuración de las reglas, las mismas se conforman en función de las cualidades consideradas en un servicio (Continuidad, Costo, Propiedades y Riesgo); a la cual se le asigna una etiqueta (Ej. Muy Baja, Baja, Regular, Buena y Ideal), estableciendo cadenas lógicas de comportamiento en función de la salidas requeridas. Por ejemplo en el caso del servicio de GNr, cuando se analiza la cualidad "Continuidad", la información pertinente manifiesta alta continuidad del sistema, dado que se trata de un insumo en red de alta peligrosidad, donde las consecuencias de un corte pueden ocasionar problemas significativos de operación, de uso y de riesgo. Para otros servicios esta cualidad puede ser etiquetada de diferente manera (Por ejemplo la red de Energía Eléctrica presenta mayores dificultades de continuidad). En consecuencia, la configuración de reglas debe abarcar la diversidad de servicios considerando y respetando la base de conocimiento sobre los mismos.

En el funcionamiento de este tipo de sistemas de control borroso se pueden distinguir 3 etapas fundamentales (Hilera J. R. y Martinez V. J., 1995):

i. *Fuzzificación* de los valores de entrada.
ii. Evaluación y formulación de *reglas* de control.
iii. Y *Defuzzificación* para obtener valores concretos de salida.

Fuzzificación.

En este proceso se deben definir las entradas y el grado con el cual ellas pertenecen a cada uno de los conjuntos borrosos estableciendo funciones que caractericen cada cualidad. En nuestro caso, se tratan de cualidades del servicio que queremos evaluar. La entrada siempre tiene un rango en el universo del discurso de la variable de entrada (en nuestro caso, el intervalo va entre 0 y 10) y la salida es un grado de pertenencia de un conjunto lingüístico borroso (entre 0 y 1). Establecer las funciones de pertenencia de los elementos, permite determinar a partir de un valor su grado de pertenencia al conjunto. Estas funciones pueden definirse a partir del análisis de la información previa (estadística determinística); la experiencia; la intuición y/o simplemente utilizando el sentido común; y suelen ser triangulares, trapezoidal, gaussiana o combinación de

ellas. La elección de las funciones definitivas dependerá del grado de sensibilidad requerida por el sistema (a mayor sensibilidad se requieren funciones de pertenencia continuas y derivables en todos sus puntos). La figura 3 muestra como ejemplo la función de pertenencia gaussiana de la cualidad *costo* y la figura 4 grafica la evaluación de un caso hipotético donde el costo es calificado con una puntuación de 8, la cual según el grado de pertenencia (μ) significa que el costo (o precio) de ese servicio es *bajo* con un grado μ = 0.6.

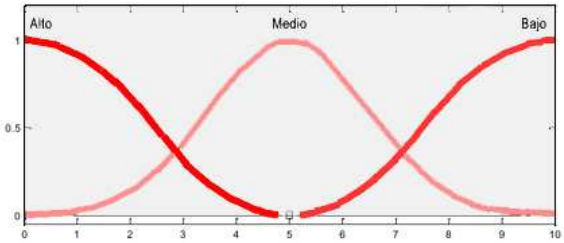

Figura 3. Función de pertenencia.

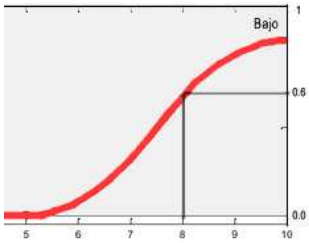

Figura 4. Resultado de una Fuzzificación.

Los datos necesarios para la fuzzificación, tales como universo de discurso, etiquetas lingüísticas, funciones de pertenencia etc. dependen directamente de la base de conocimientos que se tenga de la cuestión. Dicha base debe cumplir con ciertas condiciones: completitud, consistencia y interacción entre reglas. (Discoli C. A. y Romero F., 1997).

Reglas de control.

El sentido de la lógica borrosa es mapear un espacio de entrada en un espacio de salida y el mecanismo para hacerlo se resuelve a partir de una lista de sentencias if-then (si...entonces...) llamadas reglas. Para gobernar el comportamiento del sistema, se debe establecer una serie de reglas para indicar la acción a realizar. Una simple regla borrosa if-then (si-entonces) tiene la forma: Si (X es A) entonces (Y será B), donde A y B son variables lingüísticas definidas por medio de conjuntos borrosos sobre los rangos X e Y respectivamente. La parte del if (si) se llama antecedente o premisa y contiene una o varias condiciones referidas a si cada una de las entradas del sistema pertenece a tal o cual conjunto borroso. Mientras que la parte then (entonces) se denomina consecuente o conclusión y contiene los nombres de los conjuntos borrosos a los que deben pertenecer las salidas del sistema si se cumple el antecedente correspondiente.

Una vez fuzzyficadas las entradas sabemos el grado con el cual cada parte del antecedente satisfizo a cada regla. Si el antecedente de una regla dada tiene más de una parte, para obtener un número que representa el resultado del antecedente de la regla se aplica un "operador borroso" y luego este número será aplicado a la función de salida. En nuestro caso se trabajó con el operador "OR máx." que selecciona el máximo de los valores resultantes.

Posteriormente definimos el proceso de "implicación" donde la entrada es un simple número dado por el antecedente, y la salida es un conjunto borroso. Este proceso de implicación se aplica para cada regla y existen 2 métodos predefinidos en sorfware tipo MATLAB® que pueden usarse, el "AND": min. (mínimo), el cual trunca el conjunto borroso de salida, y el "Prod" (producto), el cual escala el conjunto borroso de salida. La figura 5 muestra una síntesis de los pasos que se realizaron hasta aquí para obtener una salida (ej: calificación) en forma de variable difusa.

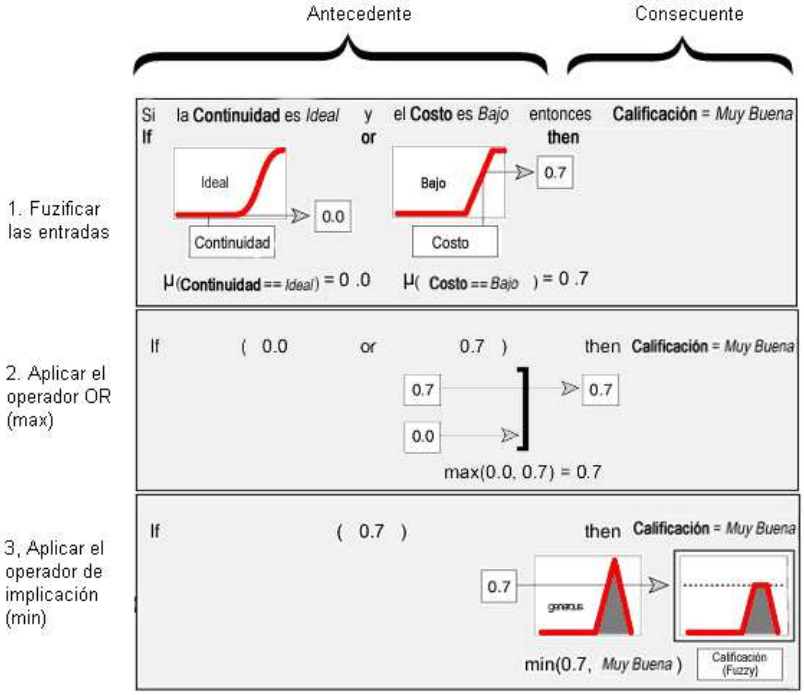

Figura 5. Síntesis del proceso de mapeo.

Defuzzificación.

La lista de funciones de salidas truncadas retornadas por el proceso de implicación da como resultado un nuevo proceso: el de "agregación". En tal proceso los conjuntos borrosos que representan las salidas de cada regla son combinados en un único conjunto borroso final. La agregación sólo ocurre una vez para cada variable de salida justo antes del último paso (la "defuzzificación") que consiste en obtener un valor numérico para cada una de las salidas del sistema. Existen varias técnicas de defuzzificación: centroide, la media de los máximos y el más grande de los máximos. En nuestro caso adoptamos el método del centroide que se basa justamente en hallar la abcisa del centro de masa del área de la poligonal resultante del proceso de agregación. Este método conduce a la siguiente formulación (1):

$$x = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu(x_j).\, x_j}{\sum_{j=1}^{n} \mu(x_j)} \qquad (1)$$

Donde *n* es el número de niveles que cuantifican la salida.

La razón de haber adoptado este criterio, es que basados en estudios realizados anteriormente sobre los métodos de defuzzificación (Bracc M. y Rutherford D. A. ,1978), se llego a la conclusión que este produce en general un error medio cuadrático menor que los demás.

La figura 6 representa el diagrama de inferencia borrosa completo en el caso concreto del cálculo de la calificación del *Servicio básico de Infraestructura* GNr (Gas Natural por red). El mismo diagrama es el utilizado para el cálculo de *Alternativos* y/o *Sustitutos* de este servicio, ya que asignando nuevos valores del vector de entrada (es decir revalorando cada cualidad), se obtendrán en consecuencia nuevos valores de salida. Se muestra la síntesis del funcionamiento simultáneo de todas las partes del proceso que hemos examinado (*Fuzzificación*, *Reglas* de control y *Defuzzificación*) y se indica por medio de flechas como fluye la información a través del gráfico resultante.

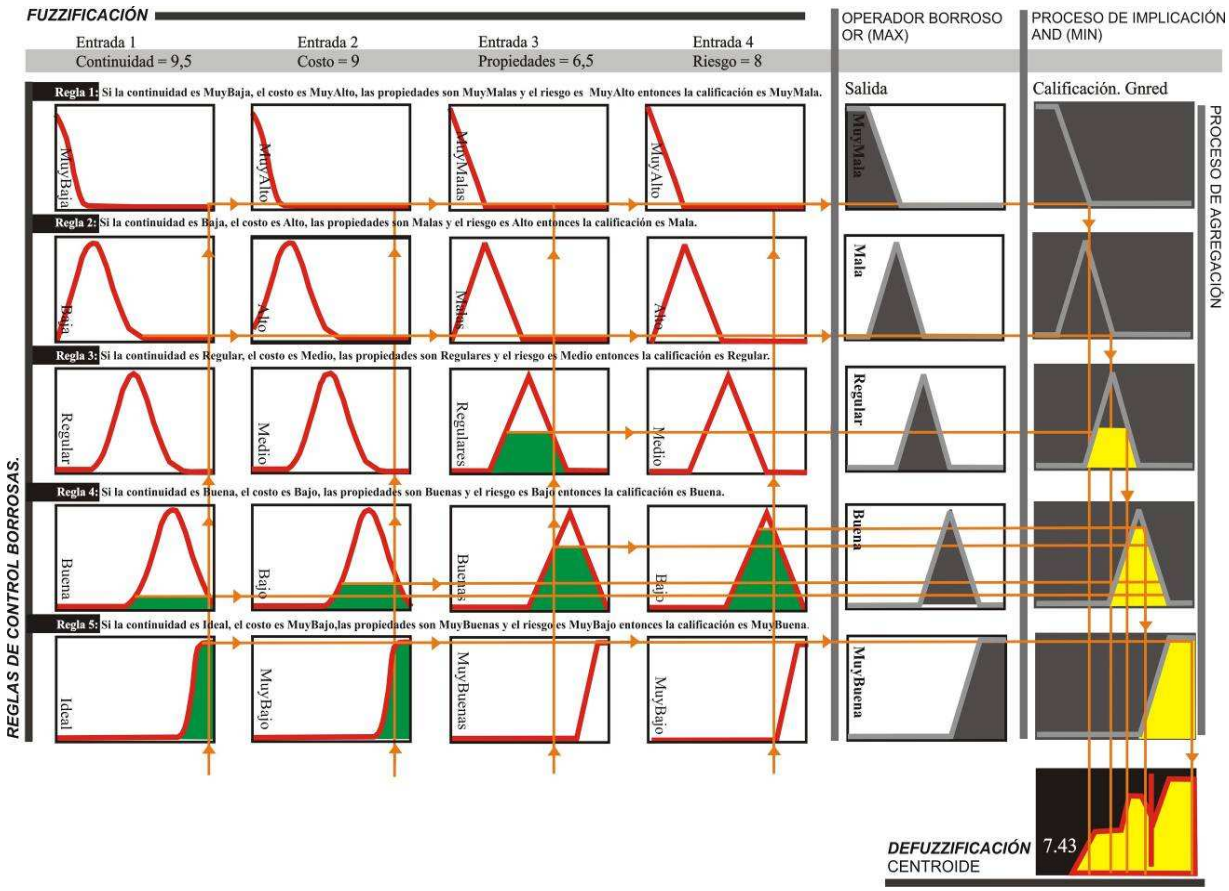

Figura 6. Diagrama de inferencia Borroso.

PRIMEROS RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES.

La implementación de lógica borrosa en la metodología de calificación del modelo de CVU ha permitido incluir una herramienta muy útil en el proceso de análisis y valoración de las cualidades de los servicios urbanos y perturbaciones ambientales. Los resultados obtenidos demuestran que esta herramienta, en sus etapas iniciales de implementación, tiende a dar respuestas razonables y sensibles a la realidad, considerando que se parte de diferentes fuentes tanto objetivas como subjetivas, de las cuales se obtienen valoraciones numéricas para cada cualidad, cuya posterior integración formaliza una calificación síntesis para cada servicio y/o patología.

La calificación síntesis responde a un rango de valor normalizado de cero a diez (0-10) obtenido a partir de un análisis de las cualidades que tipifican, por ejemplo, a los servicios urbanos a analizar. La lógica implementada considera a cada cualidad como un conjunto borroso (a partir de establecer variables lingüísticas y grados de aceptación o pertenencia según los alcances de cada variable), y a partir de su disímil importancia modifican la calificación final del servicio. Los valores obtenidos afectarán el nivel de CVU en su conjunto, remarcando que las calificaciones cercanas al máximo valor (10) representan un estado tendiente al óptimo en cuanto a la prestación de un servicio urbano, o de nula incidencia degradante en el caso de aspectos ambientales; y las calificaciones menores (cercanas a 0) corresponden a una pésima prestación de servicios o una alta degradación del ambiente.

En el caso particular de este trabajo, se evaluaron los Servicios *Básicos* relacionados al consumo de Gas y sus fuentes *alternativas-sustitutas*. Los resultados obtenidos para el Servicio *Básico* GNr (Gas Natural por red) han dado como resultado una calificación de 7,43 representando para el modelo en cuestión una calificación definida como *buena*. En ella intervinieron como cualidades las *propiedades caloríficas*, consideradas en su caracterización lingüística como *regular*; el *costo* caracterizado como *muy bajo*; el *riesgo de utilización* caracterizado como *bajo*; y la *continuidad del servicio* caracterizada como *muy buena*. La respuesta obtenida para este servicio suministrado por red, fue inferior a la esperada y a la utilizada con los mecanismos anteriores de evaluación (Opinión calificada), pero perfectible a partir del ajuste en las etapas intermedias del sistema de calificación (Fuzzificación, Reglas y Defuzzificación).

En el caso del Servicio *Alternativo* Ge (Gas envasado), este es distribuido en áreas no servidas por redes físicas de GNr. En consecuencia su infraestructura se sustituye con redes de distribución y venta con un mayor grado de informalidad, afectando las cualidades relacionadas a continuidad - practicidad, aumentando el riesgo de utilización y los costos. Por lo tanto la calificación resultante es de 5.34, menor a la obtenida para GNr, ya que se vio afectada con niveles lingüísticos de valoración menores en las cualidades descriptas.

Para los Servicios *Sustitutos*, Cl (Combustibles líquidos, en este caso kerosén) y Le (Leña), las calificaciones obtenidas han sido más bajas y del orden de 4,43 y 3,68 respectivamente. Estos valores responden a que los servicios sustitutos en general cuentan con características inferiores a los anteriores (GNr y Ge), y con el agravante de que sus usuarios se localizan en los sectores de menor consolidación urbana. En consecuencia las redes de distribución prácticamente son inexistentes, con una gran dependencia asociada a la accesibilidad del servicio a partir de la cercanía del despacho (afectando la continuidad), y en el caso de la leña se ve también afectada por sus propiedades caloríficas. Estas características llevan a una calificación menor en las cualidades relacionadas a la practicidad, el traslado, el manipuleo y sus riesgos de utilización, con costos variables en el mercado. Se tiene en cuenta también la no aceptación de los usuarios, ya que su utilización involucra eficiencias térmicas en general menores, así como también problemas indirectos derivados de la presencia de humo y en consecuencia una necesidad mayor de ventilación.

En síntesis, los resultados logrados por el sistema de valoración muestran una significativa sensibilidad a partir de la diversidad de cualidades, demostrada en la lógica amplitud de rangos obtenida en la calificación de los diferentes servicios. Los valores advierten en términos relativos importantes diferencias evidenciando la realidad de cada situación. En cuanto a los valores absolutos, aún se deben ajustar las etapas intermedias del sistema con el objeto de precisar el rango numérico de cada servicio, etapas que se prevee abordar en el futuro.

Dada la gran potencialidad demostrada en la implementación de metodologías que incluyan lógica borrosa en su instrumentación, y en función de la experiencia obtenida a partir de este trabajo, se plantea a futuro abordar la calificación de los demás servicios que componen el Modelo de CVU. Para tal fin debemos partir de una identificación acertada de las cualidades que caracterizan los diferentes aspectos que incluye el modelo con el objeto de lograr una valoración justa y representativa. Teniendo en cuenta que el territorio es un área extensa y con diversos grados de heterogeneidad, la sistematización y agilización en las etapas de calificación del modelo, permitirán obtener respuestas más acertadas en términos de niveles de calidad de vida urbana y localización de demandas.

REFERENCIAS.

Zadeh, L. A. (1965) **"Fuzzy sets. Information and control".** Vol 8. pp. 338 – 353.

Bracc M. y Rutherford D. A. (1978) **"Fuzzy relation in a control setting"** Kybernites Vol 7 Nº3 pp 185-188.

Kosko, B. (1995) **"Pensamiento borroso"**. Editorial DRAKONTOS.

Hilera J. R. y Martinez V. J. (1995) **"Redes Neuronales artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones."**. 1º edición, Editorial RA-MA. Madrid, España. ISBN: 84-7897-155-6.

Discoli C. y Romero F. (1996). **"Desarrollo metodológico aplicando control borroso a las bases de datos del sector terciario, subsector salud",** Actas de la 19na reunión de ASADES, Universidad Nacional de Mar del Plata . Tomo I, pp. 621-624.

Discoli C. A. y Romero F. (1997). **"Control borroso aplicado a las bases de datos del sector terciario. Primer modelo simple capa para el subsector salud".** Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. ISSN 0329-5184. Vol. 1 nº 2, pp. 129-132.

Pirez P.et al (1997-2000) **"Proyecto REDES. Políticas de uso racional de la energía en áreas metropolitanas y sus efectos en la dimensión ambiental".** PIP-CONICET 0509 CA4733/97.

Rosenfeld E., Pirez P., Discoli C., Karol J., San Juan G., Czajkowsi C., Martín I., Hoses S., Olivera. (2000) . **"Calidad de vida urbana y su relación con las redes de servicios e infraestructura en la gestión eficiente del territorio".** VII Encontro nacional de Tecnologia do Ambiente Construido. Modernidade e Sustentabilidade. Salvador de bahía, Brasil.

Rosenfeld E., San Juan G., Discoli C. (2000). **"Índice de calidad de vida urbana para una gestión territorial sustentable"**. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. ISSN 0329-5184. Volumen 4, Nro 2, pp. 01.35-38. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente.

Rosenfeld E., Discoli C., San Juan G. et al. (2001). **"Estudio del comportamiento de redes e infraestructura y servicios de la aglomeración del gran buenos Aires-La Plata. Evaluación de eficiencia energética y calidad de Vida Urbana".** Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. ISSN 0329-5184. Volumen 5, pp. 07.61-66. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente.

Discoli C. (2003). **"Sistemas de Diagnóstico de necesidades básicas en infraestructuras, servicios y calidad ambiental en escala urbano - regional".** PICYT 13-14509 ANPCyT.

Rosenfeld E., Discoli C., San Juan G., Martini I., Hoses S., Barbero D., Dominguez C. (2002). **"Modelo de calidad de vida urbana. Determinación de índices y especialización de áreas homogéneas".** Revista AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 6, N°1. ISSN 0329-5184.

MATLAB® (2004) for Windows **"Fuzzy Logic Toolbox".** MATLAB® producto desarrollado por MathWorks. **http://www.mathworks.com/**

Discoli C., Rosenfed E., San Juan G., Martini I., Barbero D., Ferreyro C., Ramirez Casas J., Dicroce L., Dominguez C. (2005). **"Niveles de calidad de vida urbana y el estado de necesidades básicas en servicios e infraestructura"**. pp. 01.07-12 Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 9, 2005. ISSN 0329-5184.

ABSTRACT.

The work tends to improve the implementation of an Urban Life Quality Model through the formulation and adjustment of an evaluation system of the urban basic services and the environmental aspects. Complementary methodologies based on fuzzy logic were experienced and included. It was implemented in order to qualify urban services and/or environmental pathologies from the analysis and evaluation of the main qualities that characterize them. The methodology includes stages such as fuzzification, rules construction and a later defuzzification. Variables and procedures are described for each one.

Keywords: Urban Quality, Urban management, Model, Fuzzy Logic, Services, Infrastructure.

View publication stats