

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Desarrollo de un sistema experto para interpretar la
generación de envases y comportamiento de los generadores
residenciales

Tesis

Que para obtener el grado de Doctor en Ciencias

Presenta

Gabriela Lozano Olvera

Dra. Sara Ojeda Benítez
Directora de Tesis

Mexicali, Baja California Agosto del 2008

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que contribuyeron para finalizar una etapa más, en el largo camino de la educación y por compartir sus conocimientos para el buen desarrollo de este trabajo.

A CONACYT por el financiamiento para la realización de esta investigación.

A la Dra. Sara Ojeda Benítez, por todos los consejos, experiencia y tiempo dedicado a las correcciones que me hizo, que sin duda sirvieron para enriquecer esta investigación y lograr terminar esta meta.

Al comité revisor por su valiosa aportación al desarrollo de esta investigación, por su tiempo dedicado en la revisión de este trabajo. Por sus recomendaciones, asesorías y consejos para mejorar la investigación.

En especial al M.C. Juan Ramón Castro Rodríguez, por su invaluable aportación al compartir conmigo sus conocimientos, que fue una herramienta que sin duda sirvió para reforzar los resultados obtenidos.

Resumen

En esta tesis se presentan los resultados de una investigación cuyo objetivo es el desarrollo de un sistema experto para determinar perfiles de generación de envases y el comportamiento de los generadores residenciales. Para esto se llevó a cabo el análisis de los residuos en tres colonias de la ciudad de Mexicali B.C. las cuales representaron, por su nivel de ingreso tres estratos socioeconómicos diferentes.

Este estudio se realizó en dos etapas; la primera etapa fue identificar las variables cuantitativas que consistieron en analizar los pesos y cantidades de los envases y empaques que se generan en las diferentes familias, para llevar a cabo este análisis se utilizaron las herramientas de lógica difusa y clusterización para obtener resultados concisos.

La segunda etapa consistió en analizar los datos cualitativos, los cuales se obtuvieron de las encuestas aplicadas a los participantes del proyecto, esta encuesta evalúa las actitudes ambientales de las personas que habitaban en cada vivienda. Con esta información se evaluaron las actitudes de las amas de casa, jóvenes y mayores de 24 años.

Los resultados de este estudio aportan información sobre la cantidad y peso de los tipos de envases que se desechan con mayor frecuencia en los hogares de la ciudad de Mexicali B.C., así mismo se evaluaron las actitudes ambientales que los habitantes de las viviendas poseen. Con estos datos se puede contribuir para el análisis de los diversos proyectos de investigación, así mismo se da una pauta para la utilización de nuevas herramientas computacionales que puedan ayudar a dar soluciones con mayor exactitud y rapidez. Otra de las contribuciones de este trabajo es la evaluación que presenta, ya que puede predecir la generación de envases por material dependiendo de las características que tenga una familia.

Índice

| | |
|---|-----|
| Agradecimientos..... | i |
| Resumen..... | ii |
| Índice..... | iii |
| Lista de figuras | vi |
| Lista de Tablas | vii |
| CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN | |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 6 |
| 1.3 Planteamiento del problema..... | 7 |
| 1.4 Objetivo..... | 11 |
| CAPITULO 2 MARCO TEORICO-REFERENCIAL | |
| 2.1 Comportamiento ambiental y contaminación..... | 13 |
| 2.2 Consumo y generación de envases..... | 17 |
| 2.3 Panorama general del envase y los empaques..... | 24 |
| 2.3.1 La industria del envase en México..... | 26 |
| 2.4 La lógica difusa una herramienta de aplicación..... | 28 |
| 2.5 Aplicación de la lógica difusa en la problemática de residuos sólidos..... | 33 |
| CAPITULO 3 METODOLOGÍA | |
| 3.1 Extracción de los datos..... | 37 |
| 3.2 Análisis de los datos..... | 38 |
| 3.3 Análisis de los datos cuantitativos..... | 39 |
| 3.3.1 Aplicación de las herramientas difusas en los datos cuantitativos..... | 40 |
| 3.3.2 Proceso de extracción de la base de datos | 41 |
| 3.3.3 Desarrollo del sistema con la herramienta de Matlab®..... | 46 |
| 3.4 Análisis de los datos cualitativos..... | 51 |
| 3.4.1 Generación de conjuntos difusos y definición de variables lingüísticas..... | 56 |
| 3.4.2 Reglas de Inferencia difusa..... | 58 |
| 3.4.3 Procedimientos para identificar actitudes con la herramienta de Matlab®..... | 59 |
| CAPÍTULO 4 RESULTADOS | |
| 4.1 Análisis cuantitativo de la composición de los envases generados..... | 66 |
| 4.1.1 Generación de envases por tipo de familia en el estrato bajo..... | 71 |
| 4.1.2 Generación de envases por tipo de familia en el estrato medio..... | 74 |
| 4.1.3 Generación de residuos por tipo de familia en el estrato alto..... | 77 |
| 4.2 Análisis de los datos cualitativos: evaluación de actitudes ambientales..... | 80 |
| 4.3 Aplicación de las herramientas difusas para determinar actitudes ambientales de los generadores de residuos..... | 84 |
| 4.3.1 Evaluación de los datos cuantitativos con lógica difusa..... | 84 |
| 4.3.2. Evaluación de los datos cualitativos con lógica difusa..... | 91 |

CAPÍTULO 5
Discusiones..... 94
Conclusiones..... 98

Bibliografía

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Sistema básico de necesidades..... | 18 |
| Figura 2 Esquema general de un sistema basado en lógica difusa..... | 29 |
| Figura 3 Función de membresía para la variable lingüística..... | 30 |
| Figura 4 Factores de escala de la base de datos..... | 31 |
| Figura 5 Estructura básica de un sistema basado en reglas difusas TSK..... | 40 |
| Figura 6 Razonamiento difuso de Sugeno..... | 42 |
| Figura 7 Función de membresía para la variable lingüística de estrato..... | 44 |
| Figura 8 Función de membresía para la variable lingüística de escolaridad..... | 45 |
| Figura 9 Estructura básica del sistema basado en reglas difusas aplicando TSK para determinar perfiles de generación de envases..... | 46 |
| Figura 10 Función del editor FIS..... | 47 |
| Figura 11 Etapas de generación de nuevo conocimiento..... | 47 |
| Figura 12 Sistema Difuso tipo TKS para la estimación de generación de envases cartón..... | 48 |
| Figura 13 Agrupamiento de la entrada de datos..... | 49 |
| Figura 14 Definición de la forma y geometría de los conjuntos difusos para variables de las viviendas..... | 50 |
| Figura 15 Base de reglas del sistema difuso..... | 51 |
| Figura 16 Esquema tridimensional del sistema difuso para las variables de entrada Número de habitantes y número de bolsas generadas en la vivienda..... | 51 |
| Figura 17 Dimensiones de la actitud..... | 53 |
| Figura 18 Universo difuso de las actitudes..... | 56 |
| Figura 19 Función de membresía para la variable lingüística afectiva..... | 57 |
| Figura 20. Representación de las variables de entrada de la actitud cognitiva.... | 58 |
| Figura 21 Reglas de inferencia difusa..... | 59 |
| Figura 22 Estructura básica del sistema basado en reglas difusas aplicando Mandani para determinarlas actitudes ambientales..... | 60 |
| Figura 23 Sistema difuso tipo Mamdani para la estimar la actitud de las personas..... | 61 |
| Figura 24 Definición de la forma y geometría de los conjuntos difusos para las dimensiones de la actitud..... | 62 |
| Figura 25. Generación de conocimiento envase a reglas..... | 63 |
| Figura 26 Reglas del sistema difuso..... | 64 |
| Figura 27 Defusificación de Mamdani..... | 65 |
| Figura 28 Categorías de uso de los envases..... | 67 |
| Figura 29. Generación por composición de envases por porcentaje con base al peso..... | 68 |
| Figura 30 Generación por composición de envases por porcentaje con base a la cantidad..... | 68 |
| Figura 31 Peso de envases per-capita/semana..... | 69 |
| Figura 32 Generación de envases per-capita/semanal por cantidad..... | 70 |
| Figura 33 Porcentaje habitantes del estrato bajo por tipo de familias..... | 72 |
| Figura 34 Peso y cantidad de envases generados en el estrato bajo..... | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura 35 Generación por estrato bajo..... | 73 |
| Figura 36 Porcentaje habitantes del estrato medio por tipo de familias..... | 74 |
| Figura 37 Generación de envases por peso y cantidad en el estrato medio..... | 75 |
| Figura 38 Generación por estrato medio..... | 76 |
| Figura 39 Porcentaje habitantes por tipo de familia en el estrato alto..... | 77 |
| Figura.40 Generación de envases/per cápita/semana del estrato alto..... | 78 |
| Figura 41 Generación de envases por peso y cantidad del estrato alto..... | 79 |
| Figura 42 Composición de la población analizada..... | 80 |
| Figura 43 Actitudes ambientales de los habitantes del estrato bajo..... | 81 |
| Figura 44 Actitudes ambientales de los habitantes del estrato medio..... | 82 |
| Figura 45 Actitudes ambientales de los habitantes del estrato alto..... | 83 |
| Figura 46 Actitudes ambientales de todos los miembros de las familias..... | 83 |
| Figura 47 Estructura básica del sistema basado en reglas difusas aplicando TSK para determinar perfiles de generación de envases..... | 84 |
| Figura 48 Interfas grafica de Matlab®..... | 85 |
| Figura 49 Evaluación de la generación de envases por escolaridad y tipo de material..... | 86 |
| Figura 50 Generación de envases por tipo de material Vs escolaridad e Ingreso... | 87 |
| Figura51 Promedio de generación con respecto al peso de los envases..... | 88 |
| Figura 52 Generación de envases por tipo de material Vs. número de habitantes e ingreso..... | 89 |
| Figura 53 Generación de plástico considerando tipo de familia y número de habitantes..... | 90 |
| Figura 54 Evaluación de las actitudes ambiéntales de las amas de casa..... | 91 |
| Figura 55 Evaluación de las actitudes ambiéntales de los mayores de 24 años..... | 92 |
| Figura 56 Evaluación de las actitudes ambiéntales de los jóvenes de 13 a 24 años..... | 92 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Producción de envases y embalajes en México..... | 27 |
| Tabla 2. Industria de envase y embalaje en México durante 2006..... | 28 |
| Tabla 3. Definición de las variables para el modelo..... | 38 |
| Tabla 4 Matriz de datos de entrada y salida..... | 39 |
| Tabla 5 Formato de la escala de Likert..... | 52 |
| Tabla 6 Matriz para evaluar la actitud afectiva..... | 53 |
| Tabla 7 Matriz para evaluar la actitud cognitiva..... | 54 |
| Tabla 8 Matriz para evaluar la actitud conductual..... | 54 |
| Tabla 9 Matriz de actitudes..... | 55 |
| Tabla 10 Propuesta para el análisis de las actitudes..... | 55 |
| Tabla 11 Conjuntos borrosos..... | 56 |
| Tabla 12 Variables lingüísticas..... | 57 |
| Tabla 13 Promedio de cantidad de envases muestreados por estrato socioeconómico..... | 66 |
| Tabla 14 Matriz con los datos de entrada y salida para la inferencia..... | 71 |
| Tabla 15 Generación percapita por tipo de empaque en el estrato bajo..... | 74 |
| Tabla 16 Generación percapita por tipo de empaque en el estrato medio..... | 76 |
| Tabla 17. Generación de envases por composición en el estrato Alto..... | 79 |
| Tabla 18. Propuesta para el análisis de las actitudes..... | 80 |
| Tabla 19. Evaluación de los errores del sistema..... | 85 |
| Tabla 20 Ejecución del sistema..... | 90 |

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

El acelerado crecimiento poblacional y los patrones de producción y consumo han traído como consecuencia una serie de problemas a escala mundial, tanto por la falta de control ambiental en los procesos industriales, como por las instalaciones inadecuadas o insuficientes para el manejo y tratamiento de los residuos generados.

El crecimiento urbano ha propiciado un incremento en la generación de residuos provenientes de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios de servicios privados y públicos, construcciones, demoliciones, establecimientos comerciales y de servicios. Éstos son considerados como residuos sólidos municipales y su disposición final es la última etapa del sistema de aseo urbano de cualquier ciudad y está íntimamente relacionada con la preservación del ambiente, así como con la salud de la población, por lo que su control y tratamiento debe ser mediante un sistema adecuado que minimice los impactos negativos hacia los ecosistemas.

La generación y el manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) es un tema de interés mundial, éstos conforman un ciclo compuesto por diversas etapas estrechamente vinculadas entre sí. El ciclo se inicia con la producción de bienes de consumo y continúa con la generación, almacenamiento, barrido, recolección y disposición final. El incremento en la generación de residuos se ha dado debido a factores como el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, la producción a gran escala y difusión del estilo de vida de “consume y desecha”, entre otros.

Se han realizado diversos estudios para explicar el problema y proponer alternativas. Hockett, et al (1995) identificaron y midieron las variables que influyen en la generación per cápita de residuos municipales en Estados Unidos. Parfitt, et al, (1997) proponen una metodología para establecer la relación entre la generación de residuos y variables socioeconómicas. En otro trabajo, Ato y et al (2007) identificaron perfiles de generación en un área de rápido crecimiento para posteriormente implementar un programa de manejo. Bandara, et al (2007), señalan que para implementar estrategias efectivas de manejo es necesario conocer la generación y composición de residuos y proponen una metodología para realizar este tipo de estudios; en otro estudio Yousuf y Rahman (2007), indican que es importante realizar estudios que presenten datos confiables sobre la generación para que se planeen en forma apropiada la gestión de residuos. Xiao, et al (2007) estudian las tendencias de la generación, composición y manejo de los residuos sólidos y estiman las emisiones de carbón del manejo de los residuos sólidos en una ciudad. Zia y Devadas (2008) evalúan los obstáculos que se presentan en la gestión de residuos sólidos y proponen alternativas de manejo enfocadas a una visión más sustentable.

Generalmente el propósito de los estudios que se realizan es alcanzar beneficios tales como implantar un sistema de manejo de los residuos sólidos municipales (Bovea y Powell 2006; Burnley, 2007; Erkut, et al. 2008; Jewasikiewitz, 2005; Karani, 2007 y Salhofer, 2008); promover la participación y el bienestar de los ciudadanos (Grodzinska-Jurczak, et al. 2003 y Harder, 2006;), contribuir a la conservación ambiental, así como analizar y proponer sistemas de reciclaje, (Jenkins, 2003; Lave, 2007; Simoes, et al, 2008) entre otros.

En México, también se ha estudiado el problema de los residuos en diversos estudios que abordan la problemática de algunas ciudades mexicanas, Bernache (2003), analiza la problemática que se presenta en la ciudad de Guadalajara; Buenrostro, et al, (2001); Buenrostro y Boccio (2003); Buenrostro & Israde (2003) e Isarde, et al (2005), evalúan la problemática del manejo de los residuos en Morelia. Ojeda y Beraud, (2003) realizaron una investigación en la que comparan métodos de disposición final en cuatro ciudades del país. En un estudio más reciente, Bernache (2007) analiza los estudios de residuos que se han hecho en México desde 1980 hasta el 2006, destacando las problemáticas y alternativas de manejo que se han propuesto para nuestro país a lo largo de este periodo.

Dada la complejidad del problema, en nuestro país se han realizado diversos estudios de caracterización y cuantificación para conocer la composición física de los residuos entre ellos están los realizados por Bernache-Pérez, et al, (2001), Buenrostro (2001), Escamirosa, et al (2001), Gaxiola (1995), Gómez, et al, (2008), González, et al (2007), Luna (2002), Morelos, et al (2007), Ojeda et al (2003), Saldaña y Bernache (2007) entre otros. Estas investigaciones son importantes porque los estudios de caracterización, incluyen diversos análisis; en los que se determina la composición física de los residuos, en otros se cuantifican y analizan por tipo de residuo para conocer el potencial de aprovechamiento. Para ello, se utilizan tanto métodos cuantitativos, como cualitativos. Los estudios de caracterización son esenciales para conocer la composición y volumen de los residuos lo cual arroja información para la planeación y manejo de los residuos en su aprovechamiento y disposición final.

Sin embargo la toma de decisiones para implementar sistemas de manejo de residuos es compleja por el número y clase de variables que intervienen. En este sentido algunos estudios se han centrado en aplicar herramientas de lógica difusa para desarrollar sistemas de planeación y manejo. Chang y Wang (1997) aplicaron el enfoque difuso para la planeación de un sistema de manejo de residuos, analizando las alternativas de manejo de residuos a través de las funciones de membresía. Ojha, et al (2007), señalan que uno de los problemas ambientales que enfrentan los municipios es el tratamiento que le deben dar a los residuos y la disposición final de éstos, por ello aplican la lógica difusa para determinar criterios para seleccionar sitios de disposición.

En otro estudio Xi, et al (2008) aplicaron el enfoque de la lógica difusa y el análisis factorial para caracterizar los efectos de la incertidumbre en el manejo de residuos sólidos municipales, en el proceso de compostaje. Nasiri y Huang (2008) proponen un marco metodológico para la evaluación de los programas de reciclaje aplicando las herramientas difusas.

Chang y Wei (2000); desarrollaron un modelo utilizando lógica difusa para ubicar sitios para el reciclaje y optimizar la rutas. Chen y Chang (2000) proponen un modelo dinámico para predecir la generación de residuos, utilizando la modelación difusa. En otros estudios se han aplicado las herramientas difusas para manejar la incertidumbre que existe en los sistemas de manejo de residuos sólidos en diversas ciudades del mundo. Entre ellos Chang, et al (1997), aplicaron las herramientas difusas para la plantación de un sistema de manejo de residuos sólidos en el que además de incluir la planeación económica a largo plazo, también se incluyen los

impactos ambientales. En otro estudio, Karavezyris, et al (2002), además de aplicar las herramientas difusas, utilizaron la dinámica de sistemas, para proponer un modelo de planeación, en el que incluyeron variables lingüísticas para ocuparse de los expertos, incorporando variables cualitativas y cuantitativas como base para la simulación. Li, et al (2008), aplicaron el método TFRIP (Two-stage fuzzy robust integer programming, por sus siglas en inglés), para planear bajo incertidumbre un sistema de residuos sólidos.

Otro problema asociado a los sistemas de manejo de residuos sólidos, es el flujo de envases que se generan, en el que los generadores juegan un papel importante y es necesario explicar el comportamiento de quienes consumen los envases para después disponerlos. Ya que diariamente se consumen y tiran a la basura grandes cantidades de productos de corta duración. Los envases de los productos de corta duración representan un importante porcentaje de la basura doméstica, y son nocivos para el medio ambiente (Tsiliyannis, 2005 y Ojeda, 2005). Sin embargo, una vez que las personas colocan la basura en la calle para ser recolectada, se olvidan del problema; a partir de ahí, se convierte en un problema de los municipios.

Hanssen, et al (2003) señalan que los residuos de envases ha sido un problema que tanto a nivel nacional como internacional se ha incluido en las políticas ambientales. En otro estudio, Aarnio y Hamalainen (2008), indican que para aprovechar los residuos de los envases es necesario establecer nuevas prácticas de manejo de residuos.

Williams, et al (2008), afirman que el empaque es necesario para proteger el producto que transportan, pero también juega un rol importante en la marca del

producto y en la comunicación con el consumidor, en el estudio que realizaron presentan un enfoque que ayuda a identificar las mejoras ambientales cuando el empaque es desarrollado, tomando en cuenta la opinión de los consumidores.

1.2 Justificación

Prácticamente todos los productos que se utilizan actualmente traen al menos un envoltorio. Muchos usan el envase primario que contiene directamente el producto requerido, acompañado de una bolsa generalmente de algún material plástico. Otras veces un producto puede traer un envoltorio de papel, más una caja y finalmente una bolsa que contiene todo lo anterior.

La respuesta a este problema se centra en minimizar los residuos provenientes de envases y embalajes empezando por prevenir y reducir en el origen la generación de estos envases.

La reducción en origen permanece justamente como el método preferido para manejar el problema de los residuos sólidos. Los esfuerzos para llevarla a cabo van desde la elección del diseño de los envases, lo que puede incluir la eliminación total de un envase; mayor eficiencia de uso del material; producto más concentrado; tamaño más grande; envasado más simple; envase para recambios; envases retornables; reducción de los posibles grados de toxicidad, en tintas, pigmentos o estabilizantes.

Todas las definiciones de reducción en origen se traducen a reducir material, una idea difícil de rechazar sobre fundamentos teóricos. Es axiomático que produciendo menor cantidad de envases y disminuyendo su volumen, inevitablemente se llega a menos residuo sólido; pero siempre respetando un mínimo que asegura la no

perdida del producto. En este sentido es importante realizar un estudio en esta localidad para identificar la proporción de envases que se encuentran en la generación de residuos domiciliarios, así como determinar los perfiles de los generadores, a través de la aplicación de un sistema experto.

1.3 Planteamiento del problema

La producción de residuos se incrementa con el aumento de los niveles de vida, la urbanización y con el cambio en los patrones de consumo. Teniendo como base una cultura que privilegia lo desechable por sobre lo retornable, se tienen volúmenes cada vez mayores de residuos, transformándose en un problema para las instituciones encargadas de su manejo. Si bien la incorporación de los envases en la vida diaria ha constituido una enorme ayuda en el aumento de la vida útil de los productos a lo largo de extensas cadenas de comercialización, una vez cumplida su función principal, representan un volumen importante en los residuos sólidos domiciliarios. Los envases y embalajes no sólo presentan impactos una vez que su uso principal se ha cumplido, también su fabricación requiere el uso de recursos naturales no siempre renovables, lo cual está llegando a niveles críticos de sobreexplotación.

Existen muchas causas por las que se genera el gran volumen de residuos y que explican por qué la tendencia va en aumento. Una de ellas es que, existe un gran desconocimiento en la ciudadanía en cuanto a la cantidad y calidad de los desechos que se generan y a las posibilidades de reciclarlos. Por otro lado, una gran parte de las empresas aún no adopta prácticas para minimizar aquellos residuos asociados a los envases de los productos de consumo; y las actividades de recuperación de materiales

aún son en su mayor parte de tipo informal, como en el caso de los llamados pepenadores (Martínez, 2003).

Es por esto que para conocer el problema del impacto que los envases y empaques provocan, es necesario conocer las funciones que estos desempeñan en la vida diaria de los consumidores. Así mismo para evaluar si uno de los principales factores responsables de los grandes volúmenes de desechos se debe a la gran cantidad y variabilidad de envases y embalajes. (SEDESOL, 2003)

Dumer (2003) señala que los envases y empaques son inventos que han mejorado la calidad de vida de los seres humanos; sin embargo, lo negativo de ese desarrollo y transformación es el enorme problema ambiental provocado por la acumulación de los materiales de desechos que se generan.

Se pueden enlistar y comparar las ventajas y desventajas ecológicas de los diversos sistemas de envasado, así como las similitudes y diferencias en los patrones de vida de consumo entre México y el resto del mundo, pero esto no significa que se pueda adaptar a este país las soluciones extranjeras al problema particular de la contaminación ambiental que generan las diversas fases de la industria y el consumo de los envases. De igual forma esta misma situación surge al analizar los diversos comportamientos que existen en el interior de la república mexicana, los métodos para combatir los problemas ambientales son diferentes, ya que tiene mucho que ver el clima, cultura y población.

Es posible que se puedan adaptar metodologías existentes, pero es necesario llevar a cabo un estudio detallado que incluya los datos y parámetros que definan las

costumbres ambientales de la ciudad o región para la cual se requiere determinar los impactos.

SEDESOL (1993) explica que es importante analizar el ciclo de vida de los empaques para conocer todos los elementos que intervienen en la producción y uso de dicho sistema, así como la composición de tales elementos en las condiciones específicas de cada zona urbana para cualquier tipo de toma de decisiones sobre la promoción o restricción de algunos materiales o sistemas de envasados.

En la actualidad, uno de los fenómenos que causa mayor preocupación es la contaminación, el origen de este problema, no es de este siglo, desde que el hombre hizo su aparición en la tierra, se ha caracterizado por su constante emisión de desechos sólidos, líquidos y gaseosos que han contribuido en gran medida a la contaminación del medio ambiente en el que se desarrolla la sociedad actual.

Tal situación, surge como consecuencia del largo proceso en el que la civilización ha creado cada día más productos de consumo, la gran mayoría de ellos desechables a corto plazo. Esto ha generado un incremento exagerado de productos que van a convertirse en basura, pues la vida útil de muchos objetos se ve reducida al mínimo ante la producción de objetos sustitutos considerados como novedades; además, el tipo de material que se utiliza para envolver dichos productos incrementa la cantidad de residuos de los que hay que deshacerse; a todo lo anterior se suma una característica muy especial para este tipo de basura que en su mayoría no es degradable, por lo cual el problema adquiere matices más complejos.

Por ello, en este contexto, la producción de envases y de artículos de embalaje no puede quedar excluida del debate, a partir del cual existe inquietud por la

búsqueda de soluciones que sean compatibles en la relación minimización de costos/efectos ambientales.

El impacto ambiental de los envases va más allá del efecto de su disposición una vez que son desechados. Los efectos negativos para el medio ambiente están ligados a la fabricación, el transporte, la utilización y la eliminación de estos envases.

En la actualidad existe una gran cantidad de productos no biodegradables, esto hace mucho más difícil la reducción de la contaminación ambiental. De esta forma se está aprendiendo, a un elevado costo, que el desperdicio de recursos genera productos difíciles de degradar, lo cual además conlleva riesgos para la salud y el medio ambiente, por lo que es necesario rediseñar los sistemas productivos para reutilizar en mayor cantidad los materiales de los productos desperdiciados, para lograr ahorros en el consumo de energía y prevenir daños al medio ambiente, así como educar a los consumidores para concientizarlos de las repercusiones que se generan en la degradación del ecosistema con estos productos.

Conocer sobre la generación y composición de los envases que están en el flujo de residuos domiciliarios representa un reto para los estudiosos de la basura. Por que la composición del material de los envases, la función que tienen y el volumen que se genera entre otros, implica proponer estrategias para estudiar esta problemática y presentar alternativas de manejo. En este sentido es importante buscar formas de analizar la problemática para presentar alternativas de solución, por ello en esta tesis se aplica la lógica difusa, para la evaluación de los datos y generar conocimiento.

La lógica difusa, es una herramienta que responde a la problemática de análisis de los datos que se presentan en esta tesis, porque puede combinar variables

cuantitativas y cualitativas. Las dos bases de datos con las que se está trabajando son distintas en estructura y manejan ambas variables, esta herramienta permitirá extraer conocimiento, porque trabaja con reglas para generar conocimiento de las bases de datos y las reglas son reconocidas como un medio efectivo e incluso natural para transmitir conocimiento entre los humanos, tomar decisiones y justificar las mismas. (Moreno, 2006).

Uno de los problemas a los que se enfrentan los expertos en residuos, es conocer las tasas de generación y de composición, por ello es importante trabajar con herramientas que promuevan la generación de conocimiento utilizando las bases de datos que ya existen para extraer información y tener un mayor conocimiento de los comportamientos de generación que ya se han registrado.

Entre los residuos que se generan, se encuentran los envases; por ello en este trabajo se aplica la lógica difusa para proponer un sistema que pueda proporcionar información respecto a los perfiles de generación por familia, considerando que involucra variables cualitativas y cuantitativas, esta herramienta es adecuada para obtener perfiles de generación de envases en cuanto a cantidad y peso por las características que identifican a una familia.

1. 4 Objetivo General

Desarrollar un sistema experto para determinar perfiles de generación de envases y el comportamiento de los generadores residenciales.

Objetivos específicos

- Aplicar la lógica difusa para evaluar las tres dimensiones (Afectiva, Cognitivo y Conductual) de la conducta ambiental.

- Analizar las variables cuantitativas de la generación de envases para asignar los rangos de entrada al sistema experto.
- Determinar la generación de envases por tipo de vivienda en cantidad peso y material.

Capítulo 2 Marco teórico-referencial

En este capítulo se presenta, el marco teórico-referencial que sustenta la tesis que se desarrolla, el capítulo se ha organizado en cinco apartados. En el primero, se analiza la relación entre el comportamiento ambiental y los problemas de contaminación, entre ellos el que ocasiona la generación de residuos.

En la segunda parte se estudia la problemática que ocasionan los envases como parte de las prácticas de consumo.

En la tercera parte se presenta una visión del impacto de la industria de los envases en México, para explicar la importancia que tiene este sector en la economía de nuestro país y como influye en el problema de la generación de envases.

El cuarto apartado de este capítulo, presenta los principios de la lógica difusa como una herramienta para evaluar problemas ambientales, entre ellos el de la generación de residuos y su relación con el comportamiento ambiental y establecer un sistema experto para predecir el comportamiento y la generación de envases. En el último apartado se presenta un panorama de los problemas relacionados con los residuos sólidos y se explica cómo la lógica difusa los puede abordar.

2.1 Comportamiento ambiental y contaminación

La conservación de la naturaleza ha sido una preocupación antigua sobre el problema de cómo evitar o mitigar que la participación del hombre sobre el medio natural lo degrade o destruya excesivamente.

Los problemas de contaminación que se viven en México presentan un escenario en el que es importante considerar que alcanzar un tipo de desarrollo viable, tanto en términos ecológicos como económicos, no depende únicamente de la puesta en marcha de nueva tecnología y de medidas de regulación sobre el uso de los recursos. En este sentido Durand V. y Durand L. (2004), señalan que la sustentabilidad implica, en sí misma, generar nuevas formas de vida en sociedad, es decir, nuevas normas, valores, actitudes y comportamientos que permitan construir una relación

sociedad-ambiente distinta. Por lo que se vuelve indispensable, entonces, conocer de qué forma y bajo qué circunstancias los valores ambientales se difunden dentro de una sociedad y cómo éstos son reflejados a través del comportamiento ambiental.

El comportamiento ambiental se estudia a través de las acciones que el sujeto realiza y que contribuyen a la protección y/o conservación del ambiente a través del reciclaje de envases y la reducción de residuos; así como prácticas de consumo sustentable (Stern, 2000).

La crisis ambiental que el mundo vive actualmente, ha llevado a la búsqueda de predictores del comportamiento proambiental. Como tales, han sido estudiadas las actitudes y creencias positivas hacia el ambiente (Fraj y Martínez, 2007), variables demográficas y situacionales (Schultz, et al, 1995), conocimientos y habilidades relacionadas con el ambiente y el reciclaje (Corral, 2003), entre otros.

Es importante resaltar que para predecir el comportamiento se deben considerar variables que puedan ser integradas lógicamente en un modelo explicativo, el cual incluiría como variable no a los eventos puntuales, los cuales son únicos, sino a colecciones de éstos. Estas categorías identifican propensiones, tendencias o circunstancias de acción y son comúnmente denominadas factores disposicionales.

En este sentido el sistema experto puede ser una herramienta, que apoye no sólo en la predicción, sino también en la generación de conocimiento a través del aprendizaje que realice el sistema (Adegoke y Okunowo, 2004). Así mismo la lógica difusa, es una técnica útil para explicar las imprecisiones y manejar esas variables cualitativas.

Es así que es importante, revisar que variables son las más adecuadas para incluir en la explicación del comportamiento pro-ambiental. Las investigaciones sobre variables relacionadas con la conservación del medio han abordado diferentes dimensiones lógicas de este comportamiento. Como variables disposicionales predictoras del comportamiento proambiental (CPA) se han estudiado las actitudes hacia el ambiente. Definidas con base en el aspecto afectivo (Newhouse, 1990; Iozzi, 1989) se ha reportado una relación moderada entre estas actitudes y el CPA. De igual manera, ha sido considerado el conocimiento del ambiente como un potencial predictor del comportamiento protector del medio (Borden y Schettino, 1979; Blum,

1987; Schan y Holzer, 1990). Por otra parte, se ha encontrado que los individuos que reportan niveles altos de responsabilidad con respecto a la problemática del medio también reportan involucrarse en actividades de protección del ambiente (Fraj y Martínez, 2004).

Otra variable que se ha estudiado son las creencias sobre el ambiente, las cuales han sido tratadas por diferentes investigadores. Cary (1993) encontró que las creencias instrumentales, son aquéllas que maximizan los intereses personales, se relacionan significativamente con la conducta proambiental.

A las creencias se les ha dado una noción de orientación al comportamiento, como algo que antecede a la acción misma, imprimiéndole dirección. Así, las creencias constituirían sistemas informativos (McGuire, 1986) para la acción. De esta manera, el comportamiento de protección del medio puede ser explicado considerando factores disposicionales, en adición a las variables demográficas y situacionales.

Las creencias también han sido equiparadas a las opiniones (Oskamp, 1977). Sin embargo, estas últimas se limitan a expresiones verbales espontáneas, constituyendo más que una disposición a la acción una forma de conducta.

A las creencias se les ha considerado también como una estructura cognoscitiva, o sistemas de asociación, que actúan como marco de referencia previo para el procesamiento de información. Corral, et al, (1995) señalan que una creencia es una tendencia o disposición a describir o relacionar objetos, eventos o situaciones, usando premisas individuales o convencionales. Las creencias se refieren a aspectos evaluativos, atributivos, informativos, culturales o individuales, que predisponen una acción o comportamiento.

Uno de los comportamientos proambientales de mayor interés lo constituyen las prácticas de la conservación. Estas incluyen aspectos como la reducción en el consumo de energéticos (Tracey y Oskamp, 1984), consumo racional de productos (Linn, Vinning y Feeley, 1994), reuso de productos (De Young, 1986), y en el reciclaje de éstos (Ebreo y Vinning, 1994). La importancia de dichas prácticas estriba en el enorme problema que promueven las prácticas consumistas irracionales: degradación del ambiente, derroche de recursos no renovables y contaminación del medio.

De acuerdo con De Young (1991) las prácticas de reuso y reciclaje refieren actividades de reducción de gasto y reducción de la fuente de consumo, respectivamente. Es decir, el reuso implica consumir menos, mientras que reciclar, aunque conlleva gasto, implica disminuir la extracción de nuevos recursos. Estas dos actividades son entonces representativas de las prácticas conservacionistas, por lo que las utilizaremos como ejemplos pertinentes de conducta proambiental en lo que resta de este trabajo. Diferenciamos además el reuso del reciclaje en términos de que el primero implica dar a un objeto específico un uso diferente (o el mismo uso dado por otra persona), mientras que el segundo se caracteriza por reintegrarlo a la producción como materia prima. Uno se ejemplifica en el uso de un frasco de conservas para depositar botones (reuso) y el otro en reintegrarlo mediante la fundición o la producción de vidrio (reciclaje).

Estos comportamientos, como prácticas de individuos dentro de grupos sociales, deben verse influidos por creencias particulares, de forma tal que los objetos y las acciones hacia ellos puedan ser mediados lingüísticamente por las relaciones implicadas en las creencias.

Además, como el reuso y el reciclaje se refieren a dos procesos que, si bien forman parte de la misma categoría de práctica proambiental (conservación), también refieren a dos prácticas diferentes, complementarias y ocasionalmente antagónicas; entonces los sistemas de creencias proambientales debieran correlacionarse de manera diferencial con cada práctica. Si el reuso implica una conducta que evita el gasto, los reportes de esta práctica debieran correlacionarse con creencias referidas a una vida austera, en primer término, y con creencias de conservación, en segundo, pero no con creencias de gasto (materialistas).

El reporte verbal del reciclaje, por su parte, estaría relacionado con creencias de conservación e incluso con creencias materiales (dado que reciclar implica gastar), y quizá no estar relacionado con creencias de austeridad (de nuevo, porque el reciclaje implica gasto).

Para evaluar las actitudes, Fernández, et al, (2003), señalan que se deben considerar tres elementos:

- Los conocimientos o creencias sobre el tema; lo cual corresponde al aspecto cognitivo de la actitud.
- La disposición (favorable o desfavorable) a actuar en una dirección determinada; se conoce como aspecto afectivo de la actitud.
- La conducta, de hecho, ante una situación determinada; es el aspecto conativo de la actitud

2.2 Consumo y generación de envases

Los residuos como un subproducto de la actividad humana, pierden su valor al ser desechados. Al respecto Mc Dougall, et al, (2004) señalan que la falta de valor está relacionada con la composición mixta y a menudo desconocida de los residuos. Por lo que la separación de los residuos generalmente incrementa su valor cuando existen usos disponibles para los materiales recuperados.

En la actualidad el consumo es uno de los grandes distractores de la sociedad, porque cada familia trata de satisfacer sus necesidades de la forma más práctica posible. Así mismo la generación de residuos ha aumentado, debido a que la economía de mercado ofrece mayor cantidad de productos desechables, que además los ofertan en una gran cantidad de presentaciones y con una vasta variedad de empaques, lo cual genera envases y empaques tales como bolsas, latas, cartón, vidrio, plástico, madera, papel, aluminio y tetra-pack entre otros, los cuales son arrojados a la basura. Por ello se debe analizar el comportamiento del consumidor el cual es complejo a causa de la multitud de variables que influyen en el comportamiento, entre ellas están las actitudes.

La sociedad del siglo XXI requiere de una enorme cantidad de satisfactores, los cuales son provistos a través de procesos de industrialización y comercialización, esto representa una explotación de recursos naturales y generación de residuos en grandes volúmenes y de diversa composición, Grodzinska-Jurczak et al (2004) mencionan que puede ser atribuido al lanzamiento de los empaques, principalmente el plástico. De esta forma, el consumo como una práctica de la sociedad de este siglo provoca problemas de contaminación por la cantidad de desechos que genera sin recuperar el

valor que tienen como residuo, al respecto Tsilyannis (2005) señala que los residuos de empaque constituyen una parte significativa de los residuos municipales por el volumen que representan.

Es así que la generación de empaques y envases está ligada al consumismo, el cual está fuertemente relacionado con el sistema básico de necesidades, en el que la sociedad moderna influye para incorporar al consumidor a la cultura de lo desechable (Ojeda, 2005).

La cultura del consumo influye en el individuo de tal forma que éste adquiere los productos de moda o los que más se anuncian en los medios de comunicación; la sociedad consumista influye en la adquisición de productos lo cual provoca un fuerte impacto en el ambiente, por la gran cantidad de artículos que se consumen y se tiran. El consumismo está fuertemente relacionado con el sistema básico de necesidades, en que la sociedad moderna influye para incorporar al consumidor a la cultura de lo desechable. En el esquema 1 se presenta gráficamente el sistema básico de necesidades conformado por tres subsistemas: el subsistema de las necesidades, el de los satisfactores y el de los bienes (Elizalde, 2003).

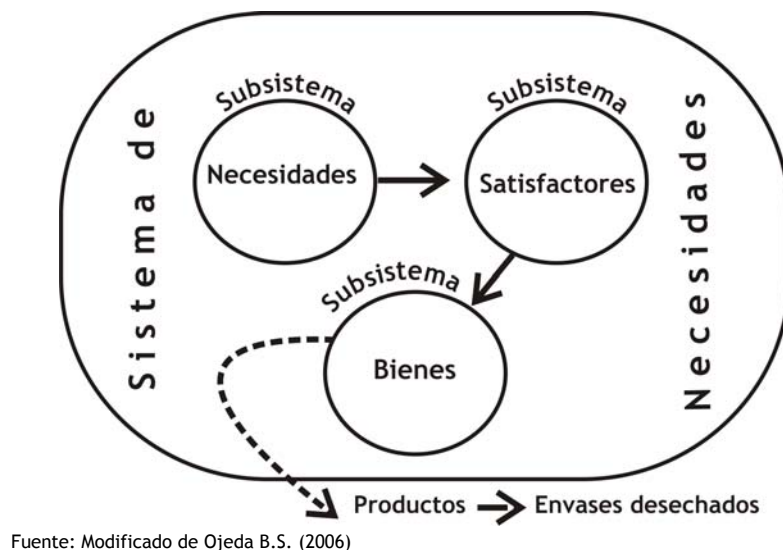


Figura 1. Sistema básico de necesidades

Los tres subsistemas, como parte del sistema de necesidades, se afectan mutuamente; el subsistema de las necesidades incluye lo que podríamos describir como nuestra interioridad y solo las podemos vivir en forma subjetiva. Por lo que la necesidad siempre se vive en un plano absolutamente personal. La satisfacción de

necesidades de los consumidores genera desechos en forma de envases y embalajes que contiene los productos consumidos.

Los satisfactores constituyen las formas mediante las cuales en cada cultura, en cada sociedad, en cada circunstancia histórica se buscan y diseñan las mejores formas de actualizar las necesidades de sus integrantes. El tercer subsistema, el de los bienes, son los artefactos materiales de la cultura, son objetos o cosas que potencian la capacidad de los satisfactores para poder dar cuenta de la necesidad.

Assael (1998) explica que la situación de consumo es la base para la introducción de un producto y las influencias situacionales son condiciones temporales o escenarios que tiene lugar en el entorno; en un tiempo y lugar específico y esta situación es aprovechada por los productores de bienes y servicios. De acuerdo a Roozen & De Pelsmacker (2000), el ciclo del consumo consiste en tres etapas: compra, uso y la disposición final.

El consumismo es un comportamiento social consistente en adquirir y desechar bienes en plazos muy breves, por razones de moda, prestigio o imitación, dejando de lado el consumo por necesidades reales. En este contexto, como analiza Castillo (1997), la basura se convierte en un eslabón más que permite hacer circular el ciclo de distribución de las mercancías, en el que aparecen los envases y embalajes que resultan de la circulación de la mercancía.

El hombre ha tomado de la naturaleza todo lo que necesita para llevar a cabo sus actividades vitales y con ello asegurar su supervivencia. Sin embargo, con el transcurso de los siglos fue consumiendo bienes que no eran necesarios para su supervivencia, pero que le eran agradables, con ello creó necesidades secundarias, además la mercadotecnia y la publicidad mantienen al consumidor condicionado en el hábito de consumo, a tal grado que se generan artículos y luego se inventan necesidades. De esta forma el consumo indiscriminado de productos ha provocado que se incremente la cantidad y peso de los desechos sólidos, en empaques y embalaje como el plástico, las latas, el papel, vidrio y el cartón.

Los productos de plástico cada día aumentan su presencia en el entorno, el plástico se elabora a partir del petróleo y en muchos casos es difícilmente reciclable. El papel y el cartón son materiales elaborados de celulosa que se obtiene de los

árboles. Sin embargo, en la actualidad estos materiales se consumen sin ninguna restricción, sobre todo en la elaboración de envolturas. De tal forma que el consumidor al comprar sus productos paga por una gran cantidad de cartón de los empaques que terminan en la basura. Esto implica que como afirma McHarry (1994) aumente la proporción de envases, encontrando que el 60 por ciento de la basura generada en el mundo son envases y empaques, éste es un símbolo de la sociedad del consumo.

La sociedad consumista influye directamente en el abuso en la adquisición de productos y servicios lo cual provoca un fuerte impacto en el ambiente, pues en la producción industrial se consume energía y recursos; además, se generan desechos de muchos tipos. Diariamente se producen millones de toneladas de artículos para que las personas los consuman y los tiren, provocando con esto producción de desechos que contaminan. Aunado a lo anterior, los productores de bienes y consumo estudian al consumidor para influir en su decisión de compra.

Assael (1998), indica que la frecuencia de compras puede especificarse por los roles que juegan los miembros que integran la familia y los califica en roles instrumentales y expresivos. Los primeros están relacionados con el desempeño de las tareas que ayudan a la familia a tomar la decisión de compra; esto significa que las decisiones sobre los presupuestos asignados a las compras, la oportunidad y las especificaciones del producto están orientadas a la tarea. El segundo tipo de roles, facilita la expresión de las normas de la familia y proporcionan a ésta el apoyo emocional necesario. Las decisiones en cuanto a color, estilo y diseño son expresivas ya que reflejan las normas del grupo. A través del tiempo los roles instrumentales se han asociado al esposo y los expresivos a la esposa.

La EPA (1994) y Sitarz (1998) proponen que el consumidor participe en la disminución del problema que ocasiona la basura tomando decisiones ambientales conscientes sobre lo cotidiano al hacer sus compras y manejar esos productos. Una solución básica es reducir desde la fuente generadora, porque el problema no se soluciona encontrando más lugares donde depositar la basura, se soluciona al reducir desde la fuente porque esto es prevención de los desechos, lo que incluye medidas que reducen la cantidad total o la toxicidad de los desechos generados. Esto

necesariamente implica prácticas sustentables de la ciudadanía. Pero también implica tener información desagregada sobre los empaques que se desechan y una forma de generar esta información es iniciado el análisis desde el momento en el cual los materiales se convierten en desecho (pierden su valor) y finaliza cuando se convierten en un producto de uso benéfico, material inerte en el sitio de disposición final.

Los envases han despertado gran polémica entre las autoridades públicas y las diferentes instituciones dedicadas a la preservación del medio ambiente, las cuales los juzgan como uno de los principales factores de la contaminación urbana, y causante de los mayores problemas que hay que enfrentar para la eliminación de los residuos sólidos. (Vidales, 2003)

El incremento sistemático del consumo causa el aumento de la cantidad de envases usados, lo que supone un peligro para el medio ambiente. El número de tiraderos aumenta y los residuos que se desechan no se desintegran espontáneamente. (Kaczmarek, 2003)

México al igual que muchos países del mundo enfrenta grandes retos en el manejo de sus residuos municipales, especialmente a causa del elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país y las costumbres de la población, orientada al consumo de artículos desechables.

Buenrostro (2001) señala que en una comparación de resultados de estudios realizados en los 80's y 90's reflejan una modificación en los patrones de consumo en la población urbana de México. En este estudio se encontraron más de 30 subproductos, de los cuales el 17% correspondió a materiales plásticos, a diferencia del 7% encontrado en 1987. En contraste, los metales y vidrio mostraron una tendencia decreciente del 2.4 al 1.8 y de 7 al 4.7% respectivamente.

El Instituto nacional de ecología (2005) señala que en la ciudad de México cerca del 38% de los RSM está constituida por desechos de envases, embalajes (situación parecida a la de los países desarrollados). Por lo que los residuos de envases representan una problemática importante que debe ser estudiada.

Escamiroso, (2001) señala que en Tuxtla Gutiérrez Chiapas se identificaron los envases y empaques que se desechan con frecuencia entre la población, encontrando

un 9.16% de plásticos, 3.22% de vidrio, 3.49% cartón y 8.17% papel, entre los más desechados.

El exceso de residuos ha terminado por convertirse en un fenómeno característico de la cultura. Los envases y empaques son inventos que ha mejorado la calidad de vida de los seres humano de tal forma que se han modificado las costumbres, hoy en día es común comprar y tirar, así se pueden encontrar una gran diversidad de materiales en la basura domiciliaria: Plástico, vidrio, metales, papel y cartón son los materiales más comúnmente empleados para envasar los productos.

Se sabe que el plástico es uno de los procesos de fabricación que requiere de un alto costo de energía y toda esta energía se pierde porque el envase es desechado incorrectamente desde su primer uso, además la destrucción de este tipo de material resulta muy costosa energéticamente y muy contaminante en la mayoría de los casos. García y Prado (2005) señalan que la incineración de determinados tipos de plásticos es una de las causas de la lluvia acida que destruye los bosques y la salud de los seres humanos. Cuando estos materiales son desechados a la intemperie sus cadenas moleculares se resisten a romperse por la acción de cualquier agente natural, por lo tanto tarda más en biodegradarse.

El vidrio al igual que el plástico exige un alto consumo de energía, su desventaja principal es que es un material que no es biodegradable, por lo que tiene un fuerte impacto ambiental. El vidrio puede reciclarse indefinidamente, al contrario que el papel, actualmente, se calcula que con el 15 por ciento del vidrio reciclado se ahorra 1.2 toneladas de materia prima, 100 litros de petróleo y se disminuye igual cantidad de basura, Demure y Verdalet (2004)

Los metales tanto en su fabricación como en su destrucción tienen un costo ambiental realmente alto. Filippone y cols (2005) estiman que los principales desechos de este tipo de material son las latas de refrescos y jugos, los cuales están hechos de acero, hojalata y sobre todo de aluminio. La producción del aluminio es energéticamente caro y requiere una gran cantidad de bauxita (4 toneladas por cada tonelada de aluminio), y un mineral escaso. Como se sabe estos envases no son recuperables para reutilizarse, además los metales son escasamente biodegradables. Por lo tanto al ser desechos sin un tratamiento previo (reciclado) a la naturaleza se

genera un gran problema, la única solución para este tipo de envase es el reciclaje. Al reciclar aluminio se ahorra el 95 por ciento de energía respecto a la fabricación y reduce la contaminación en una proporción similar. Con la energía que se necesita para producir una tonelada de aluminio se puede fabricar 20 toneladas de aluminio reciclado.

Con respecto a los envase de papel y cartón, estos son reutilizados y aunque estos materiales son biodegradables, su elevado costo energético y ambiental desaconsejan desecharlos sin un proceso de reciclado. Un caso especial en este tipo de material es el tetra-pack o similares elaborados con cartón, polietileno y en algunos casos, una delgada capa de aluminio. Este tipo de empaque es ligero y resistente, pero su incineración requiere de mucha energía, y su aprovechamiento sistemático requiere una infraestructura que en el momento no se tiene.

Relis y Dominski (1990) señalan que el problema de los envases se debe a que siempre se ha tratado de definir si la recuperación de los envases reciclables, compost, incineración o relleno sanitario es la mejor técnica de gestión. Al contrario es necesario determinar en qué proporción será más apropiado conjugar cada una de ellas. La forma de cómo articular mejor estos métodos es el desafío proponen que para solucionar la crisis que provoca el problema de la basura, es necesario extraer tomar lo más importante de un análisis de gestión de residuos el máximo de las opciones disponibles para su gestión. (Consoni, 2000)

Los envases son objetos destinados a brindar servicios específicos como son contener, proteger, transportar y conservar un producto; por tanto su función dependerá de la manera en que habrán de satisfacer las distintas necesidades para las que han sido creados. En este sentido Vidales (2003), señala que desde sus primeras apariciones comerciales hasta nuestros días, el envase se ha presentado como un elemento de gran utilidad dentro de la compleja red que se ha tejido para satisfacer muchas de las necesidades de los seres humanos. Por ello es importante analizar la generación de envases tomando como referencia las características de los generadores, para el caso que nos ocupa en esta tesis es la familia.

2.3 Panorama general del envase y los empaques

El *envase* es indispensable en la sociedad moderna, ya que permite que multitud de productos lleguen a manos del *consumidor* intactos, en condiciones higiénicas correctas y con información sobre la marca, el producto y su utilización.

Williams, et al, (2008) señalan que el empaque es necesario para proteger el producto durante su transportación y almacenaje en el proceso que implica la cadena de producción hasta llegar al consumidor, señalan que también juega un rol importante en crear una marca de fábrica del producto y en la comunicación con el consumidor. Pero asociado a estas ventajas esta el problema que provoca en lo ambiental, lo cual ha generado que esta problemática se incluya en la agenda de las políticas ambientales de los países, principalmente por la cantidad de basura que se genera como producto del uso de envases y empaques.

En este sentido Hanssen, et al, (2003) señalan los desechos de los envases y empaques ha sido durante largo tiempo uno de los problemas a los que se han enfocado las políticas ambientales, tanto nacionales como internacionales. Entre las políticas que se han establecido están los esquemas de reciclaje de los principales materiales como el plástico, los metales, el papel y el vidrio

Sin envase, tanto para el consumidor como para la industria, será imposible utilizar la mayora cantidad de productos que existen actualmente en el mercado. Esto implica que, nos es difícil prescindir de los envases porque facilitan el almacenaje y uso de la mercancía además de proteger protegen las cualidades del producto envasado o empaquetado.

Los envases son útiles durante la vida comercial de los productos (que puede durar desde días hasta varios meses), mientras que los residuos de envase en un relleno sanitario o en un espacio natural pueden durar décadas, lo que supone que los residuos de envases constituyan una fuerte preocupación medioambiental.

De hecho los envases originan gran parte del deterioro medioambiental actual porque constituyen más de un tercio en cuanto a peso y más de la mitad respecto al volumen de la bolsa de basura de un domicilio (Ojeda, 2005). Además, se genera contaminación en el proceso productivo de embalajes y recipientes, los cuales una vez usados se convierten en residuos. Además cuando los envases y empaques no son

amigables al medio ambiente, es muy difícil su disposición o reciclado ante los grandes volúmenes de desechos sólidos que genera la sociedad moderna consumista.

Por ello, es necesario que el empaquetado, así como las regulaciones futuras, busquen reducir las consecuencias para el medio ambiente. Además hay que tomar en cuenta que el consumidor es cada vez más demandante en lo que se refiere al uso de envases y empaques. Esto significa que la función de empaquetado para proteger el contenido y para facilitar almacenaje y transporte no debe ser suficiente desde una perspectiva del consumidor; el empaquetado también tiene que ser informativo y fácil de utilizar y, por lo tanto, deseable para los clientes. Por lo que se deben combinar la función del envase y del empaque, la información que proporciona, el diseño físico y que provoque el menor impacto al ambiente.

Calver (2004) señala que la transformación que ha sufrido el envase, se debe al cambiante estilo de vida de los consumidores. El envase es indispensable en la sociedad moderna, ya que permite que multitud de productos lleguen a manos del consumidor intactos, en condiciones higiénicas correctas y con información sobre la marca, el producto y su utilización.

Los residuos de envase representan alrededor del 17 por ciento en peso de los residuos sólidos urbanos y un tres por ciento del flujo total de residuos. (Ojeda, 2005). Este porcentaje ha sufrido un incremento importante en los últimos años, como consecuencia de los cambios en los hábitos de los consumidores y de las formas de distribución comercial, que han propiciado que los productos se envasen cada vez más y en cantidades más pequeñas (raciones individuales, unidades de producto, pequeños packs*, etc).

Los envases son objetos destinados a brindar servicios específicos como son contener, proteger, transportar y conservar un producto; por tanto su función dependerá de la manera en que habrán de satisfacer las distintas necesidades para las que han sido creados. En este sentido Vidales (2003), señala que desde sus primeras apariciones comerciales hasta nuestros días, el envase se ha presentado como un

* Un pack es una unidad múltiple es decir es un paquete del mismo artículo. Generalmente coincide con el envasado del fabricante.

elemento de gran utilidad dentro de la compleja red que se ha tejido para satisfacer muchas de las necesidades de los seres humanos.

2.3.1 La industria del envase en México

Durante 2006 la actividad económica en el país registró una expansión significativa. De hecho, el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) resultó el más elevado en seis años y lo mismo ocurrió para algunos de los principales renglones de la demanda agregada. No obstante, el dinamismo que mostraron el producto y la demanda se atenuó ligeramente en el segundo semestre y, especialmente, en el cuarto trimestre

En 2006, al igual que ocurrió en 2004 y 2005, el gasto interno y la producción nacional se beneficiaron de varios aspectos que caracterizaron al entorno externo. Por un lado, la demanda del exterior por productos de México, especialmente la proveniente de Estados Unidos, presentó una evolución favorable.

Un aspecto que merece destacarse en la evolución de la economía mexicana durante 2006 es la mejoría significativa que mostró el sector industrial, aunque su expansión haya perdido fuerza durante los últimos meses del año. Con todo, la recuperación de ese ramo en el año en su conjunto fue un reflejo de avances en los cuatro sectores que lo integran, sobresaliendo los repuntes que experimentaron el manufacturero y los de construcción y electricidad.

En la tabla 1 se muestra el comportamiento de la producción de 1997 al 2006, la industria mexicana de envase y embalaje, registró durante el año 2006 una producción total de 8,506,853 toneladas, lo que representa un incremento de 2.3% con respecto al año inmediato anterior. Lo cual demuestra el dinamismo de la industria en un entorno muy competido y en el que ahora, más que nunca, se busca la preferencia de un consumidor más informado y exigente para con los productos que adquiere.

Es importante mencionar que la industria mexicana del envase y embalaje representa el 1.6% del PIB nacional y el 8.9% del PIB manufacturero.

Tabla 1 Producción de Envases y Embalajes en México (Toneladas)

| Material del envase | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Madera</i> | 1,267,909 | 1,554,748 | 1,478,995 | 1,474,770 | 1,368,620 | 1,264,189 | 1,273,602 | 1,290,159 | 1,246,464 | 1,196,465 |
| <i>Metal</i> | 435,528 | 472,813 | 499,147 | 529,096 | 417,554 | 404,291 | 410,220 | 421,190 | 480,645 | 506,120 |
| <i>Papel y Cartón</i> | 1,956,600 | 2,093,500 | 2,097,800 | 2,185,500 | 2,193,300 | 2,222,000 | 2,155,340 | 2,191,762 | 2,224,143 | 2,201,503 |
| <i>Plástico</i> | 762,596 | 844,885 | 935,288 | 1,103,640 | 1,147,785 | 1,182,219 | 1,249,605 | 1,283,341 | 1,302,591 | 1,348,819 |
| <i>Vidrio</i> | 2,433,000 | 2,625,207 | 2,703,963 | 2,758,042 | 2,811,733 | 2,952,320 | 2,863,750 | 2,915,298 | 3,063,979 | 3,253,946 |
| <i>Total</i> | 6,855,633 | 7,591,153 | 7,715,193 | 8,051,048 | 7,938,992 | 8,025,019 | 7,952,517 | 8,101,750 | 8,317,822 | 8,506,853 |

Fuente: Asociación Mexicana de Envases y Embalajes (AMEE)

Durante 2006 la actividad económica en el país registró una expansión significativa. De hecho, el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) resultó el más elevado en seis años y lo mismo ocurrió para algunos de los principales renglones de la demanda agregada. No obstante, el dinamismo que mostraron el producto y la demanda se atenuó ligeramente en el segundo semestre y, especialmente, en el cuarto trimestre.

Cabe destacar que el sector que mostró un mayor crecimiento fue el de envases de vidrio, que al comparar la producción de 2006 con la del año anterior, ésta se incrementó en 6.2%. Otro sector que también mostró dinamismo fue el de envases metálicos, al incrementar su producción en 5.3%. Por su parte, el sector de envases de plástico, continúa con un crecimiento sostenido al reportar un incremento de 3.5% durante el año pasado.

Los sectores que presentaron decremento en la producción fueron los de papel y cartón con un crecimiento negativo del 1.0%, así como el de madera con 4.0%

En la tabla 2 se presenta una descripción general del comportamiento de la industria del envase y embalaje en México durante el 2006. El valor de la producción de la industria, que es el valor total de los productos elaborados por el establecimiento con sus propias materias primas durante el 2006, independientemente de que se hayan vendido o no, ascendió a 7,350.4 millones de dólares (mdd), lo que significa un aumento de 8.2%, con respecto al año anterior.

Tabla 2. Industria de Envase y Embalaje en México durante 2006

| Características de la industria | Madera | Metal | Papel y Cartón | Plástico | Vidrio | Total de la Industria |
|--|-----------|---------|----------------|-----------|-----------|-----------------------|
| Producción Nacional (Toneladas) | 1,196,465 | 506,120 | 2,201,503 | 1,348,819 | 3,253,946 | 8,506,853 |
| Valor de la Producción (Millones de Dólares) | 50.7 | 1,274.1 | 2,574.8 | 2,087.1 | 1,363.7 | 7,350.4 |
| Valor de las Ventas (Millones de Dólares) | 50.7 | 1,325.9 | 2,520.3 | 2,030.0 | 1,400.0 | 7,326.9 |
| Personal Ocupado | 1,170 | 8,550 | 22,435 | 24,246 | 12,227 | 68,628 |
| Aprovechamiento de la capacidad instalada | 83.3% | 80.2% | 78.5% | 82.3% | 92.6% | 83.4% |

Fuente: AMEE con datos de INEGI, CANAFEM y SHyCP

Por lo que respecta al valor global de las ventas de envases y embalajes, es decir, el monto total de las ventas realizadas durante el periodo de referencia, de los productos elaborados por el establecimiento o fuera de él con materias primas de su propiedad, independientemente del periodo en que fueron producidos, registró un incremento de 8.8%, al reportar un valor de 7,326.9 mdd.

2.4 La lógica difusa una herramienta de aplicación

La lógica difusa, es una teoría que fue introducida por Loffi A. Zadeh, a mediados de los años 60. Uno de los desarrollos importantes de la lógica difusa se dio en 1974, cuando Assilian y Mamdani desarrollaron en el reino unido el primer controlador difuso diseñado para una máquina de vapor, pero la primera implementación real de un controlador de este tipo fue realizada en 1980 por F.L. Smidth & Co. en una planta cementera en Dinamarca. En 1983 Fuji aplica la lógica difusa para el control de inyección química en plantas depuradoras de agua por primera vez en Japón. A partir de ahí surgen nuevas aplicaciones de la lógica difusa, y paralelamente investigadores desarrollan nuevos métodos de análisis, tal es el caso de Takagi y Sugeno que en los años ochentas siguieron el camino iniciado por Mamdani y desarrollaron la primera aproximación para construir reglas difusas a partir de datos de entrenamiento, y aunque en un principio no tuvo mucha repercusión, mas tarde sería el punto de partida para investigar la identificación de modelos difusos.

Así la lógica difusa ha demostrado ser de gran utilidad para representar el comportamiento o dinámica de los sistemas mediante reglas difusas del tipo IF-THEN,

de tal forma que un sistema difuso permite modelar sistemas no lineales, y aprender de los datos haciendo uso de determinados algoritmos de aprendizaje.

Los sistemas difusos actualmente se componen de tres partes principales: 1) una interfaz de fusificación, 2) Base del conocimiento, 3) una interfaz de defusificación. (ver figura 2)

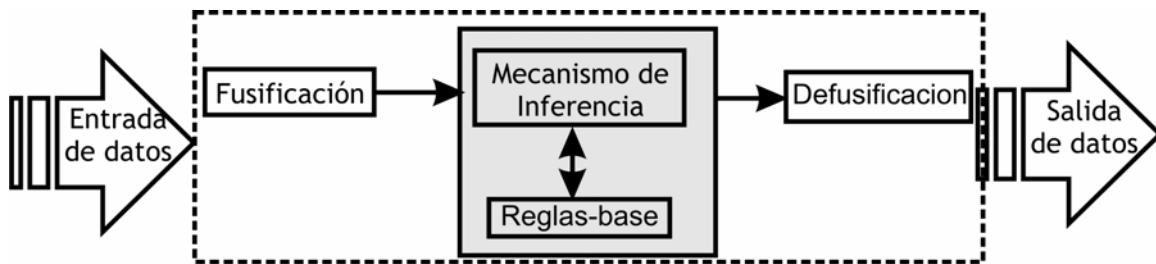


Figura 2 Esquema general de un sistema basado en la lógica difusa

1. Fusificación: Esta interfaz transforma las entradas numéricas en grados de pertenencia con valores lingüísticos. En este bloque cada variable de entrada se le asigna un grado de pertenencia (o función de membresía) a cada uno de los conjuntos difusos que se ha considerado, mediante las funciones características asociadas a estos conjuntos difusos. Las entradas a este bloque son valores concretos de las variables de entrada y las salidas son grados de pertenencia a los conjuntos difusos considerados.

Para llevar a cabo esta primera etapa es necesario definir las variables lingüísticas, las cuales definirán los términos inexactos, vagos o inciertos de los datos, con este tipo de variables se establecen los conjuntos con restricciones o límites elásticos que se mantienen vigentes para un universo de discursos dada en un momento determinado. $F(\text{estatura}) = \{\text{bajo}, \text{Medio}, \text{Alto}\}$ Aquí para la variable F se definen tres variables lingüísticas.

Bajo, como “estatura menor a 1.50 mts”

Medio, como “estatura alrededor de 1,70 mts”

Alto, como “estatura mayor a 1.90 mts”

Una vez definidas estas variables se establecen los grados de pertenencia (o la función de membresía) los cuales consisten en un conjunto de pares ordenados

$F = \{(u, \mu_F(u)) / u \in U\}$ si la variable es discreta, o una función continua si no lo es. El valor de $\mu_F(u)$ indica el grado en que el valor u de la variable U está incluida en el concepto representado por la etiqueta F . Ver figura 3

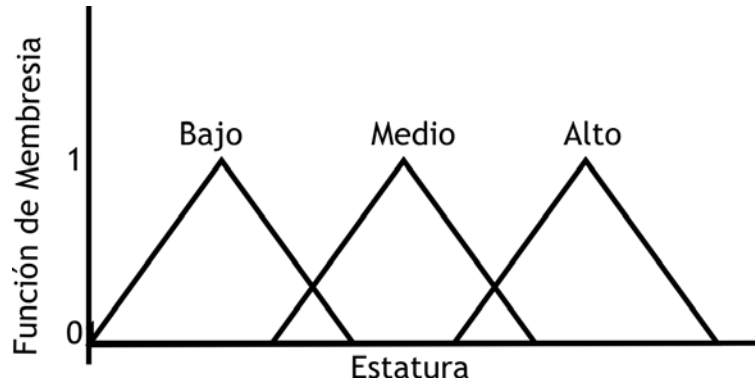


Figura 3 Función de membresía para la variable lingüística

Al definir los conjuntos difusos y las variables lingüísticas se asocian a la función de membresía.

2.- Base difusa de conocimiento. La base del conocimiento de un sistema difuso típico esta integrada por lo menos de dos elementos. a) base de datos y b) una base de reglas difusas.

a) La base de datos es la que define las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos utilizados en las reglas difusas. Ésta proporciona la información necesaria para el funcionamiento del modulo de fusificación y de defusificación, así como la base de reglas; la cual contiene la definición lingüística de las variables. (ver figura 4), En esta figura se puede observar que existe tres entradas de datos (X_1 , X_2 , y X_3) y una salida (y) estas se encuentran representas en forma de funciones de membresía las cuales contienen cinco variables lingüísticas (TD: Totalmente de acuerdo, D: De acuerdo, I Indeciso, A: Acuerdo, TA: Totalmente de acuerdo) y se obtiene una sumatoria de salida.

b) La base de reglas contiene un número de reglas difusas IF-THEN, estas reglas son un conjunto de acciones a realizar en función del estado. La función de estas reglas es establecer una vinculación lógica entre los grados de pertenencia de las distintas variables de entrada.

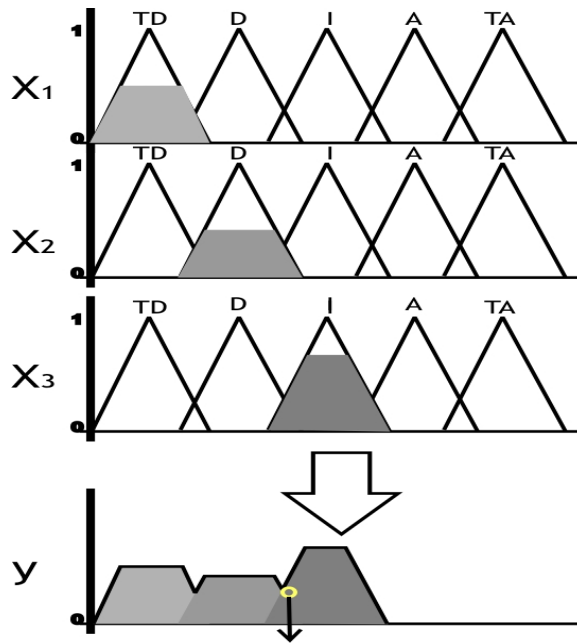


Figura 4 Factores de escala de la base de datos

3) El mecanismo de inferencia consiste en cuantificar cada premisa que es la aplicación del operador difuso en el antecedente (and, or) y activa las reglas que es la aplicación del método de implicación o sea la conclusión de la regla. Existen diversos métodos para la inferencia, tales como:

- Inferencia de Mamdani: que consiste en que la entrada y la salida son expresiones difusas.
“Si X_1 es Alto y X_2 es Bajo Entonces Y es Alto”
En este caso no necesita la interfase de defusificación.
- Inferencia de Takagi-Sugeno: las entradas son expresiones difusas pero las salidas son funciones determinísticas.
“Si X_1 es Alto y X_2 es Bajo Entonces $Y=f(x_1, x_2)$ ”

Este método tiene la ventaja de incrementar la preedición, así como aumenta la eficiencia computacional, ya que responde de una forma más rápida y proporciona elementos para analizar el sistema.

La lógica difusa a pesar de su corta historia, presenta un crecimiento muy rápido, ya que es capaz de resolver problemas relacionados con la incertidumbre de la

información o del conocimiento, proporcionando un método formal para la expresión del conocimiento en forma entendible y comprensible por los humanos.

Las bases teóricas de la lógica difusa, en las que están basados los controladores difusos están mucho más cerca de la manera de razonar del hombre y del lenguaje natural, que los sistemas lógicos tradicionales. Básicamente, proporciona un medio efectivo de captar más fácilmente la naturaleza inexacta del mundo real.

La matemática de los conjuntos difusos, como su nombre lo indica, trabaja con conjuntos que no tienen límites bien definidos, es decir, la transición entre la pertenencia y la no pertenencia de una variable a un conjunto es gradual. Se caracteriza por las funciones de pertenencia que dan flexibilidad a la modelación utilizando expresiones lingüísticas tales como mucho, poco, leve, severo, escaso, suficiente, caliente, frío, joven.

El éxito de la aplicación de la lógica difusa se debe, fundamentalmente, a la capacidad de la misma de utilizar modelos de conceptos ambiguos para reducir la complejidad intuitiva de un *proceso*, de manera que permite realizar operaciones de control, al menos de un modo aproximado o heurístico, sobre procesos no lineales o variantes en el tiempo.

En muchos casos existe incertidumbre en el modelo del proceso, que puede ser por escaso conocimiento sobre el mismo, disponiéndose solo de un modelo intuitivo que describe comportamientos de orden bajo, a escalas de tiempo grandes. En otras ocasiones, la incertidumbre del modelo recae, aún conociendo bien las ecuaciones que lo describen, en los parámetros del mismo, que son conocidos de forma aproximada. El modelado de la imprecisión mediante conjuntos difusos ha permitido tratar estos problemas.

En términos generales las fuentes de incertidumbre, pueden derivarse de tres áreas:

1. Las deficiencias de la información que provoca que se imprecisa (incompleta, errónea, imprecisa)
2. Las características propias del mundo real (no determinista: mismas causas producen efectos diferentes en distintas personas) y
3. Las deficiencias de los modelos que intentan explicarlo (incompleto, inexacto).

La metodología de lógica difusa, basada en la idea de que las variables deben ser manejadas no como un número sino más bien por las características que ellas presentan.

2.5 Aplicaciones de la lógica difusa en la problemática de residuos sólidos.

Los sistemas de gestión de residuos están conformados por elementos que requieren de una planeación bajo incertidumbre, porque son muchos los procesos que deben considerarse para tomar decisiones tales como el sistema de recolección, transporte, tratamiento y disposición. Huang G.H. , et al (1995), combinaron la programación entera con las herramientas difusas para aplicarlo a la planeación regional de sistema de gestión de residuos bajo incertidumbre. Huang Y.F. , et al (2002) propusieron un modelo para la planeación de un sistema de manejo de residuos aplicando la lógica difusa. Este modelo genera varios escenarios para la toma de decisiones bajo varias condiciones e incluyendo tanto objetivos ambientales como económicos.

La incertidumbre es una característica importante que está presente en la mayoría de los problemas asociados al manejo de los residuos sólidos municipales. La cual esta asociada a las expresiones lingüísticas que se manifiestan en la toma de decisiones. Además también se caracteriza por tener multi-objetivos que la mayoría de las veces pueden ser opuestos o implica que el resolver algunos de ellos impacte al logro de otros objetivos. En este sentido Chang , et al (1997), señalan que la teoría de sistemas difusos se aplica para interpretar los diferentes tipos de incertidumbre que se presentan en el mundo real para la planeación de sistema de manejo de residuos. Ya que las técnicas de optimización determinísticas no son adecuadas para proponer un modelo en un problema tan complejo, en el que están asociadas muchas incertidumbres que resultan de la subjetividad de los tomadores de decisiones y las variaciones en los valores de los parámetros en un sistema de manejo de residuos sólidos.

Chang y Wang, (1997), aplicaron la lógica difusa en la planeación de un sistema de manejo de residuos sólidos. Establecer un sistema de manejo de residuos con una

planeación integral en el que se incluyan en forma simultanea los elementos ambientales y socioeconómicos, para proponer un programa de manejo que presente una solución integral. Para tomar en cuenta las incertidumbres que estén asociadas a la toma de decisiones al momento de establecer prioridades e incluir objetivos económicos y ambientales fue necesario mezclar herramientas de difusas con un modelo de programación por objetivos, para ello analizaron a través de las funciones de membresías diversas alternativas para el manejo de los residuos sólidos municipales. En el análisis que realizaron, verificaron que el modelo propuesto es una herramienta efectiva para generar un modelo de optimización mas flexible y adecuado para el mundo real.

Otro elemento que se debe analizar en la planeación de los sistemas de manejo de residuos sólidos, es la exactitud con la que predice la generación de residuos. Diversos estudios indican que estimar la generación de residuos es crucial para cualquier sistema de planeación a corto y largo plazo, en el manejo de los residuos.

En la planeación de un sistema de manejo de residuos municipales, quienes toman las decisiones deben tener datos confiables para conocer la cantidad de residuos municipales que se van a generar en el futuro. En este sentido Karavezyris, et al (2002) desarrollaron un modelo basado en la dinámica de sistemas y la lógica difusa, en el que destacan la aportación que hace la herramienta difusa en la simulación porque uno de los problemas a los que se enfrentan quienes aplican modelos de simulación para predecir es que los expertos que se ocupan del problema y que deben ser consultados, incluyen variables cualitativas que necesitan cuantificarse para la simulación.

Pahan y Chen (2002), destacan que la lógica difusa es una herramienta ha sido usada para interpretar vaguedades, analizar información incompleta y contradictoria; para ello se basa en la inteligencia artificial. Es así que con la lógica difusa se puede procesar el lenguaje natural de los expertos, y el conocimiento inexacto puede ser explicado usando variables lingüísticas, las cuales son cuantificadas de acuerdo al grado de pertenencia a las funciones de membresía. De esta forma se procesan las vaguedades e imprecisiones del conocimiento de los expertos y se recupera la

información y los patrones que se presentan de valorar la intuición y experiencia del experto.

Por lo tanto, las herramientas difusas se adaptan de manera excelente a la obtención del conocimiento de los expertos, que describen su experiencia en términos de probablemente y muy probablemente. Por ejemplo, Karavezyris, et al (2002), en el modelo que propusieron analizaron la influencia del comportamiento y las regulaciones como variables cualitativas. Evaluando, en la primera, el comportamiento ambiental como una conducta positiva o negativa hacia el reciclaje del reciclaje; y en la segunda el impacto que tiene en el comportamiento las regulaciones sobre la disposición ilegal. Los expertos pueden describir como influencias que es una conducta mala si recicla poco y que una conducta buena si su participación en el reciclaje es alta.

Otro problema asociado a la predicción de la generación, son la falta de muestreos y la diversidad de metodologías empleadas para determinar la generación de residuos, así como la ausencia de datos históricos de composición y generación por periodos largos. Por ello Chen y Chang (2000), proponen el uso de las herramientas difusas para un manejo efectivo de esta problemática y establecer una predicción con exactitud a pesar de la falta de información que se pudiera presentar. Para resolver este problema aplican una técnica de regresión difusa y proponen un modelo dinámico para minimizar las discrepancias entre los valores observados y los que se van a predecir. Ya que señalan que la mayor dificultad para la predicción, cuando aplica el análisis de regresión convencional es que las bases de datos que contiene información de generación estén incompletas.

Con relación a las aplicaciones de sistemas expertos, Fonseca, et al (2005) desarrollaron un prototipo de un sistema experto para evaluar los residuos sólidos industriales y su potencial uso en las aplicaciones en la construcción de caminos. El sistema proporciona información de los expertos en materiales para el reciclaje, les proporciona a los usuarios potenciales usos de sus materiales de desecho sin poseer conocimientos detallados en aplicaciones de ingeniería civil.

Al-Jarrah y Abu-Qdais (2006), abordan el problema de la ubicación de un sitio para la disposición final de residuos, usando un sistema inteligente basado en un

sistema de inferencia difusa. El sistema incluye diversos factores en el proceso de selección del sitio tales como la topografía y geología del lugar, aspectos socioculturales, económicos y de seguridad entre otros. El sistema experto codifica la experiencia del experto y puede ir actualizando la base del conocimiento. El sistema evalúa las alternativas y presenta la opción más óptima. El sistema puede ser usado como una herramienta para los planeadores y tomadores de decisiones en el proceso de seleccionar un sitio para disponer los residuos sólidos. Chang, et al (2008) combinan los sistemas de información geográfica con las herramientas difusas para ubicar un sitio para un relleno sanitario en un área de rápido crecimiento, este sistema evalúa las incertidumbres que están asociadas a la toma de decisiones para seleccionar el mejor sitio.

Capítulo 3 Metodología

Para desarrollar esta tesis se analizó la información almacenada en dos bases de datos. La primera, contenía datos de generación de residuos de tres colonias de la ciudad de Mexicali, de la cual sólo se analizaron los datos de la generación de envases; la segunda, información sobre las actitudes ambientales de los habitantes de las tres colonias incluidas en la primera base de datos. Para ello se trabajó con herramientas que promueven la generación de conocimiento utilizando bases de datos para extraer información y tener un mayor conocimiento de los comportamientos de generación que ya se han registrado, incorporando variables cualitativas que no pueden ser analizadas con la estadística convencional.

3.1 Extracción de los datos

La información de la primera base de datos, fue obtenida de un muestreo de residuos sólidos por estrato socioeconómico, el cual se realizó para determinar la composición de residuos sólido generados durante ocho días consecutivos. Los datos almacenados en esta base de datos se caracterizan por ser cuantitativos.

En la segunda, se almacenaron datos cuantitativos y cualitativos de los generadores de residuos, los cuales reflejan la composición de la familia y el comportamiento ambiental de los miembros de la familia mayores de 13 años, que fueron quienes respondieron al instrumento que se diseñó utilizando una escala de tipo likert que contenía un conjunto de frases presentadas en forma de afirmaciones o juicios que reflejan el conocimiento y comportamiento ambiental, así como los hábitos de consumo de los miembros de una familia.

Para presentar resultados sobre la información almacenada en las bases de datos, fue necesario extraer la información para desarrollar el sistema experto que determinaría los perfiles de generación de envases.

3.2 Análisis de los datos

Para el análisis de estos datos se llevó a cabo la validación de la información, para lo cual se aplicaron tres procesos de normalización a las dos bases de datos, esto con el fin de eliminar errores de captura y redundancia en la información, para evitar generar una interpretación errónea de la información extraída de ambas bases de datos.

Una vez realizada esta validación se aplicó la estadística básica (media, varianzas, correlación y análisis factorial), para identificar los diversos escenarios del comportamiento de los datos y encontrar las variables dependientes e independientes existentes, con el propósito de encontrar perfiles de generación de envases por familia e identificar las actitudes ambientales de los habitantes de las viviendas seleccionadas para la investigación.

Para el proceso de identificación de variables se incorporó la propuesta generada por Morelos (2007) en donde establece las variables que se deben considerar al estudiar en la generación de residuos. Sólo que en el análisis que se desarrolló en esta tesis se agregaron dos variables más, Número de bolsas y tipo de familia. La variable de número de bolsas fue agregada para obtener la proporción de los envases dependiendo del número de bolsas muestreadas, y el tipo de familia para explicar los resultados con base a esta variable. En la tabla 3 se presentan las variables incluidas.

Tabla 3. Definición de las variables para el modelo

| <i>Nombre de variable</i> | <i>Simbología</i> | <i>Unidad de medida</i> |
|--|-------------------|-------------------------|
| Num. de bolsas | X_1 | #Bolsas/semana |
| Tipo de familia | X_2 | Familia/vivienda |
| Número de personas por vivienda (Densidad) | X_3 | habitantes/vivienda |
| Escolaridad promedio por vivienda | X_4 | Escolaridad/vivienda |
| Ingreso por vivienda | X_5 | Ingreso/vivienda |
| Generación de envases por vivienda | Y_1 | Envases/vivienda |

La matriz esta compuesta de 123 tuplas, con 13 atributos de los cuales; cinco describen las características de las viviendas (variables de entrada), las ocho variables siguientes describen la cantidad y peso de las cuatro categorías de envases que se están analizando en este trabajo.

3.3.1 Aplicación de las herramientas difusas en los datos cuantitativos

Una vez analizada la información se aplicaron las herramientas computacionales, ya que tienen la capacidad de apoyar a los usuarios en el análisis automático e inteligente de grandes volúmenes de datos para encontrar conocimiento útil.

El primer paso fue tratar de obtener el conocimiento de las bases de datos generadas, para esto se trabajó con la propuesta generada por Moreno (2006) en donde realizó un proceso de búsqueda a través de la totalidad de los datos, en este proceso se utilizó la técnica de agrupamiento (C-medias, c-medias-difusas, Substractivo) para encontrar los patrones más significativos relevantes de los datos y un sistema de lógica difusa para la extracción de reglas de producción (IF-THEN).

Para obtener los antecedentes de las reglas se utilizó la técnica de agrupamiento, de los resultados de estos agrupamientos se establecen inferencias utilizando el método de Takagi-Sugeno-Kang (TSK), las cuales son expresiones difusas, y las salidas son funciones deterministas. (Passino and Yurkovich, 1997)

En la figura 5, se muestra una representación gráfica de un sistema basado en reglas difusas para modelado y control difuso.

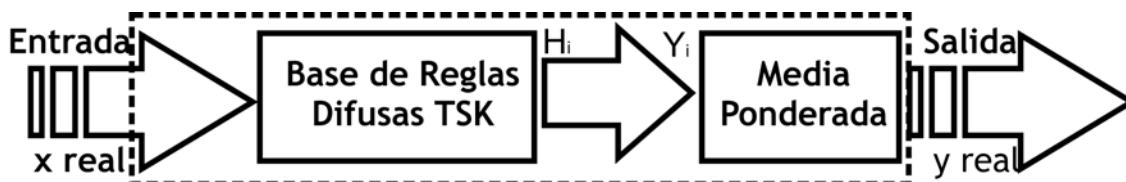


Figura 5 Estructura Básica de un Sistema Basado en reglas Difusas TSK.

En la ecuación 1 se presenta la forma general de este tipo de reglas, en la que el consecuente constituye una combinación lineal de las variables contenidas en el antecedente de la regla:

$$\text{Si } X_1 \text{ es } A_1 \text{ y } \dots \text{y } X_n \text{ es } A_n \text{ entonces } Y = P_1 * X_1 + \dots + P_n * X_n + P_o \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: X_i son las variables de entrada del sistema, Y es la variable de salida y P_i son los parámetros reales, A_i son las etiquetas de las variables lingüísticas asociadas con conjuntos difusos en el caso de X_i sean variables lingüísticas, o bien conjuntos difusos en el caso en que éstas sean directamente variables difusas.

La salida de un sistema basado en reglas difusas de TSK que emplea una base de conocimiento formada por m reglas, de este tipo se obtiene la media ponderada de las salidas individuales aportadas por cada regla, Y_i , $i=1\dots m$, como se presenta en la ecuación 2:

$$\frac{\sum_{i=1}^m h_i Y_i}{\sum_{i=1}^m Y_i} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

| | |
|--------------------------------------|--|
| $h_i = T(A_1(X_1), \dots, A_n(X_n))$ | Es el grado de emparejamiento entre la parte antecedente de la regla i y las entradas actuales al sistema, $x=(x_1, \dots, x_n)$ |
| T | Es un operador de conjuntos que se modela mediante una t-norma. |
| Y_i | Es la variable de salida |
| m | Es el número de reglas |

Este método se ha aplicado con éxito en una gran cantidad de problemas prácticos. Su ventaja principal es que presenta una ecuación compacta del sistema gracias a lo cual es posible estimar los parámetros empleado métodos clásicos, lo que facilita su diseño.

3.3.2 Proceso de extracción de la base de datos

Una vez generada la matriz de datos de entrada y de salida, se realizó la extracción de los datos con los siguientes pasos.

1. Se agruparon los datos de entrada usando las técnicas de agrupamiento (C-medias, C-medias difuso, Substractivo) para calcular el centroide $C_{i,j}^a$ y la

desviación estándar $\sigma_{i,j}^a$ dada por la ecuación 3 que serán los parámetros de la función de membresía $\mu_j^i(\hat{x}_j)$ de los antecedentes dada por la ecuación 4.

$$\sigma_{i,j}^a = \left(\frac{(r_a * (\max(x) - \min(x)))}{\sqrt{8}} \right) \text{ Ecuación (3)}$$

Donde x es una matriz, i es la regla y j la variable, a es el parámetro de asociación definido por la regla y r_a es la regla a de salida. En este caso es la matriz que se mostró en la tabla 4, la cual representa las variables de entrada y salida del sistema.

$$\mu_j^i(\hat{x}_j) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\|x_{p,j} - c_{i,j}^a\|}{(\sigma_{ij}^a)^2} \right)^2} \text{ Ecuación (4)}$$

2. El siguiente paso fue calcular los consecuentes por el razonamiento difuso de TSK. En la figura 6 se presenta gráficamente el razonamiento difuso de Sugeno de primer orden. Éste consiste en analizar las reglas. Cada regla tiene una salida numérica, la salida total se obtiene por medio del “promedio ponderado”. En la práctica, el operador de promedio ponderado a veces es reemplazado por el operador de “Suma ponderada” para reducir los tiempos de análisis, especialmente en el entrenamiento de un sistema de inferencia difusa.

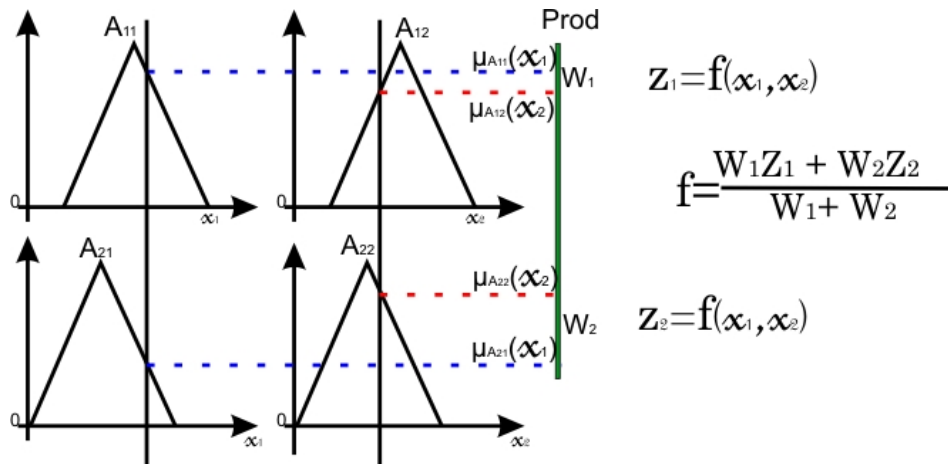


Figura 6 Razonamiento difuso de Sugeno

Donde W_1 y W_2 son el promedio ponderado de las entradas, z_1 y z_2 serian las funciones que permiten calcular el consecuente de cada una de las dos reglas implicadas.

3. Se extrajeron las reglas con base a los parámetros de las funciones de membresía de los antecedentes, $\mu_j^i(\hat{x}_j)$, y los consecuentes, $f_i(x)$, de las reglas del sistema de inferencia difuso de TSK mostrados en la ecuación 5

$$R^i = \text{IF } x_1 \text{ is } \mu_1^i \text{ and ...and } x_j \text{ is } \mu_j^i \text{ and ... and } x_n \text{ is } \mu_n^i \text{ THEN } y \text{ is } f_i = a_{i1}x_1 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n + a_{i0}$$

Ecuación (5)

4 Se evaluó el sistema de inferencia difuso de TSK con los datos de entrada (x_i) que se muestran en la tabla 4. Para obtener la salida (\hat{y}) y calcular el error

cuadrático medio. ($rmse = \sqrt{mse(e)}$).

Donde:

rmse: es la comparación de la entrada real con la que evalúa el el sistema.

mse: es el promedio de los errores al cuadrado

Después de obtener las reglas se utilizó la lógica difusa para evaluar el sistema basado en reglas que se generó anteriormente y así obtener una salida, esta herramienta nos permitió evaluar las variables inexactas o inciertas.

La lógica difusa es una herramienta adecuada para trabajar con este tipo de variables ya que permite establecer conjuntos con restricciones o límites que se mantienen vigentes en un universo dado. En el análisis que se realizó en este trabajo, se aplicó al tratamiento de variables difusas estudiadas, como la familia la cual tiene una estructura y composición difícil de definir, por la variabilidad que tiene, esto se refleja en las actitudes de los integrantes de cada familia, que no permanecen estáticos en el tiempo.

En la etapa de análisis cuantitativo las variables consideradas como difusas fueron el ingreso y escolaridad. Con la variable ingreso, se infirió a la variable de

estrato socioeconómica. Estrato se define como el nivel económico con el cual una familia satisface sus necesidades y refleja sus prácticas de consumo; ésta se define como una variable incierta y es importante evaluar cada uno los elementos que forman parte de este un universo.

Esta variable se considera incierta, porque puede tomar un intervalo de valores para cada familia, el dato con el que se trabajó no es un número exacto, sino que en cada vivienda varía, y es importante analizar cada una de esas variaciones. Para evaluar las variaciones y determinar el patrón se define una función de membresía. En la figura 7 se muestra la función de membresía en donde la variable de entrada es el ingreso y dependiendo de ese rango se establece el estrato socioeconómico por medio de la definición de las variables lingüísticas.

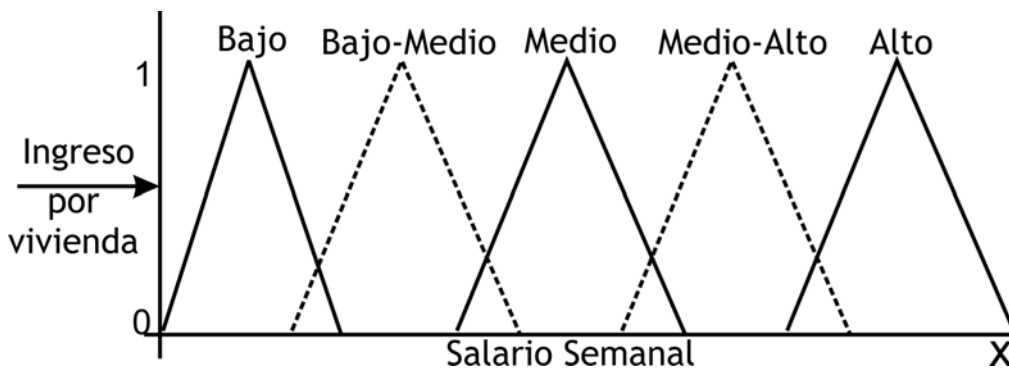


Figura 7 Función de membresía para la variable lingüística de estrato

Como se observa en la figura 7 son cinco variables lingüísticas y el rango de salarios, con esta herramienta difusa se generan los criterios para agrupar las viviendas que tengan un ingreso que se ubique entre los rangos, así como las viviendas con un ingreso superior a su estrato o inferior al rango del estrato siguiente, de esta forma se evaluó la generación de envases considerando su ingreso real, sin necesidad de generar redondeos.

Otra variable incierta que se incluyó en el análisis, fue la escolaridad de los padres, esta variable se obtuvo mediante el promedio de escolaridad de ambos, y se analizó como un conjunto difuso, se evaluaron cada uno de los niveles de escolaridad. Para el análisis se manejaron cuatro niveles lingüísticos que son: sin escolaridad, educación básica, media superior y superior, (ver figura 8)

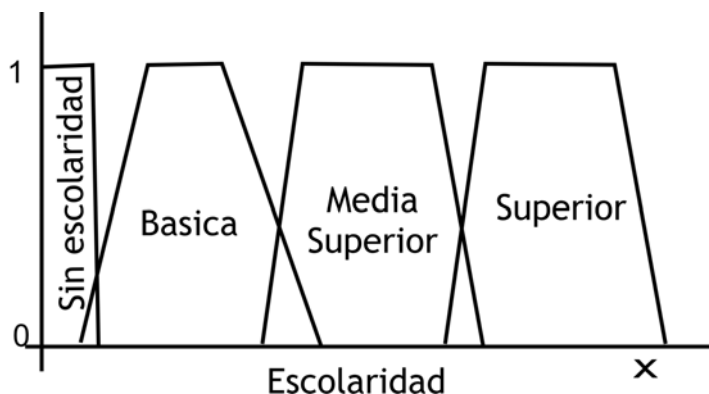


Figura 8 Función de membresía para la variable lingüística de escolaridad

Para el análisis de las variables difusas se generaron funciones de membresía, con el propósito de evaluar cada una de las situaciones difusas que puedan presentarse en el universo analizado. Esta función de membresía se genera, después de obtener los agrupamientos (clustering) la cuales son evaluadas.

La función de membresía de la variable utilizada es representada por una función gauseana, que nos permite evaluar cada uno de los niveles de escolaridad, así como los niveles de escolaridad inconclusos. Ver ecuación 6

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2} \quad \text{Ecuación (6)}$$

En la función de membresía el valor de x corresponde a todos los niveles de escolaridad o ingreso evaluados y m representa los valores medios. Con este análisis se evaluó a detalle cada una de las situaciones que se presentan en el universo analizado, que en este caso correspondió a todas las combinaciones de escolaridad de los integrantes de cada familia incluida en la investigación.

En la figura 9 se presenta gráficamente el sistema que se propone basado en la modelación de reglas difusas para obtener la generación de envases dependiendo las características de las viviendas. Este modelo proporciona la tendencia de generación de envase por tipo de material (plástico, cartón, vidrio, metal) para cada vivienda.

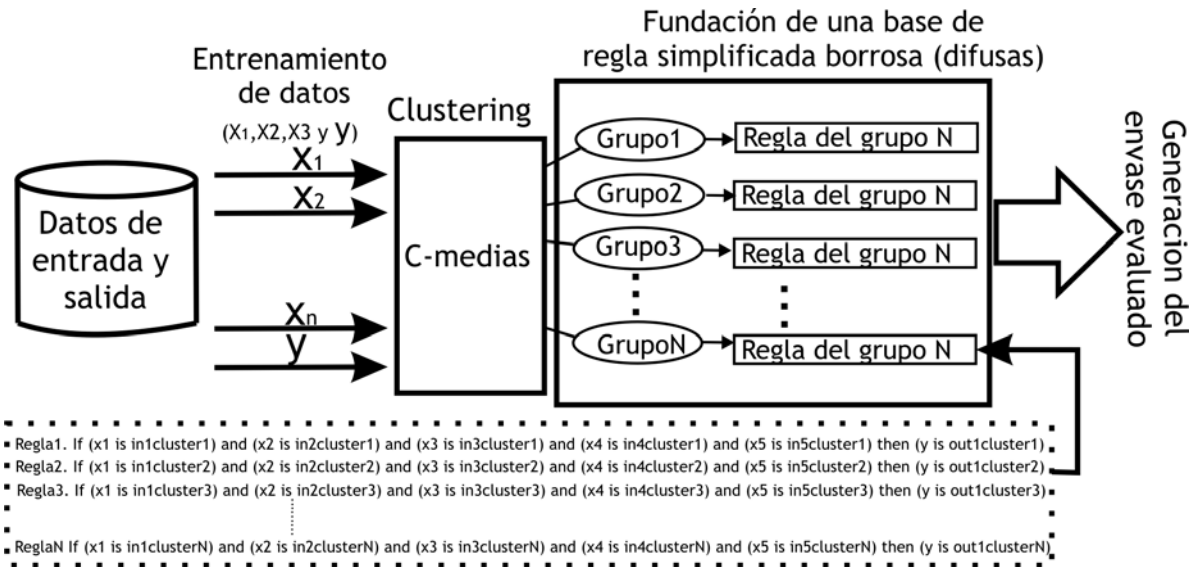


Figura 9 Estructura básica del sistema basado en reglas difusas aplicando TSK para determinar perfiles de generación de envases

3.3.3 Desarrollo del sistema con la herramienta de Matlab®

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron tres programas, el primero fue Access de Microsoft Office 2003 para desarrollar las bases de datos y almacenar la información. El otro programa fue el Excel 2003, este se utilizó para obtener los datos estadísticos y para generar las matrices de entrada al sistema, así como para la normalización de los datos.

Por último se utilizó el Matlab® versión 6 para el desarrollo del sistema ya que proporciona una herramienta para desarrollar programas difusos de manera amigable. Para esto se utilizó la gráfica llamada FIS (Fuzzy Interferente System) la cual permite construir, editar y observar las inferencias difusas dentro de un Fuzzy Logic Toolbox (FLT)

El funcionamiento del editor FIS se muestra en la figura 10. En esta figura se observa la secuencia del proceso de los datos con la herramienta de lógica difusa, la matriz de datos preprocesada es la entrada al sistema fuzzy y se somete a un proceso de agrupamiento (cluster), el cual genera nueva información que permite definir reglas.

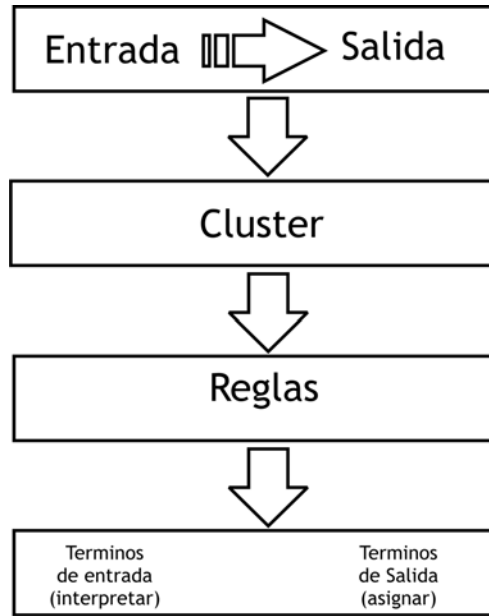


Figura 10 Función del editor FIS

En el caso que estamos analizando es importante generar reglas, porque éstas dan una visión especial acerca del conocimiento y forma en que este puede ser representado. Usar reglas implica formas particulares de concebir a los problemas y de resolver los mismos, en la figura 11 se presenta gráficamente los procesos que se siguen para generar conocimiento de una base de datos.

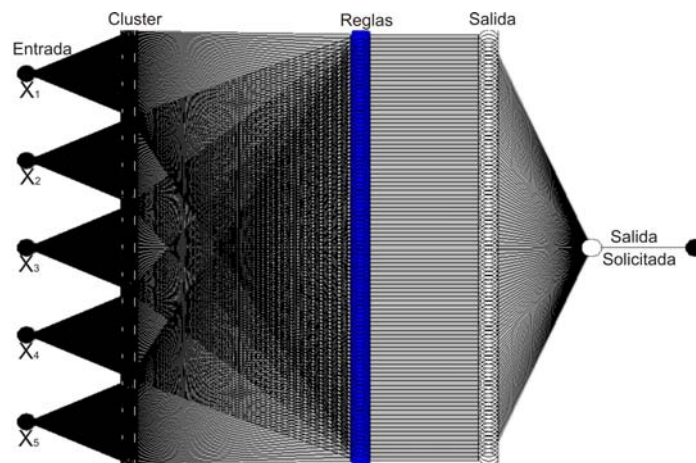


Figura 11 Etapas de generación de nuevo conocimiento

Después de obtener las reglas se utilizó el método de lógica difusa para evaluar el sistema basado en reglas y así obtener una salida, esta herramienta permite

evaluar las variables que se consideran inexactas o inciertas, como es el caso que nos ocupa, donde determinar perfiles de generación para una familia implica trabajar con variables asociadas a las actitudes de la familia y a las características particulares de cada una de ellas, que al combinarlas se tornan inciertas.

Para integrar las cinco variables de entrada para estudiar el comportamiento de la generación de los cuatro principales materiales de envases que se generan en una población, se utilizó la caja de herramienta de Matlab® generar un sistema difuso como se observa en la figura 12.

Las variables de entrada al modelo son: bolsas, tipo de familia (Fam), Número de habitantes/vivienda (hab), Escolaridad de los padres (Esc) e Ingreso por vivienda/semanal (Ing).

La variable de salida es la cantidad de envases o el peso de envases que puede generar una vivienda con determinados parámetros de entrada.

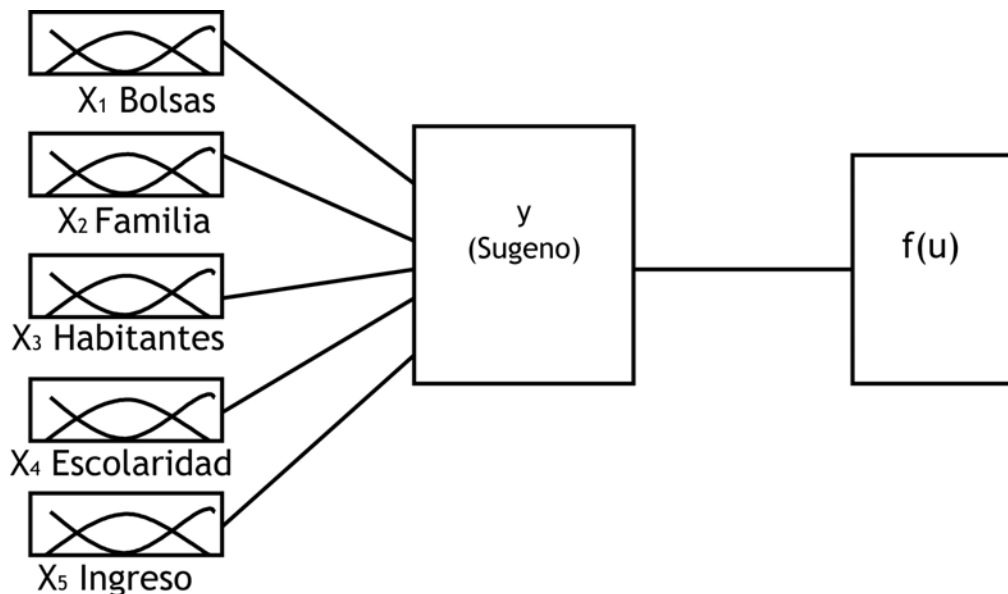


Figura 12 Sistema Difuso tipo TKS para la estimación de generación de envases cartón

Las variables de entrada se sometieron a un proceso de agrupamiento (cluster) para agilizar el procesamiento de los datos, en la figura 13 se puede observar como los grupos se ajustaron a los datos de la matriz de entrada.

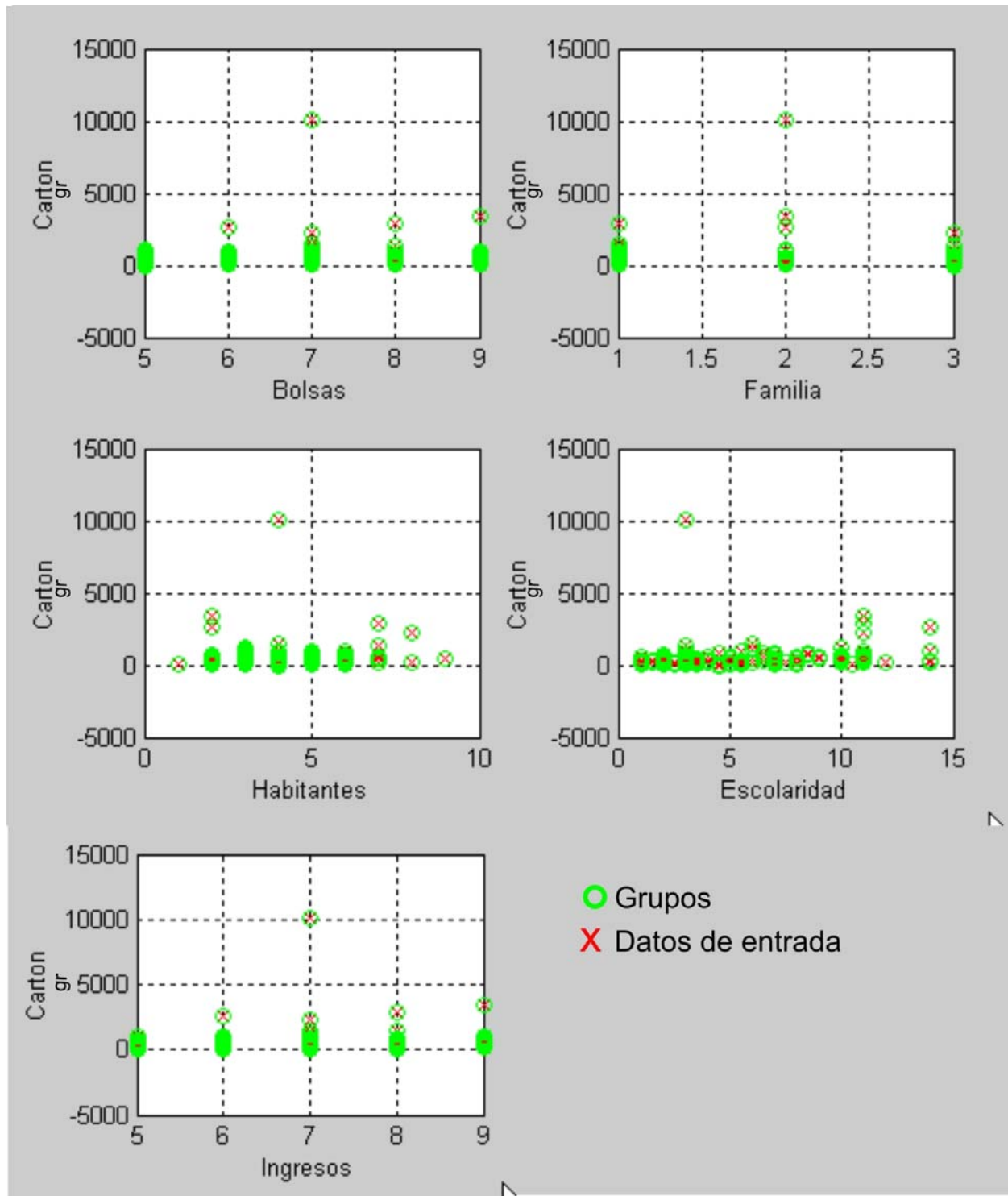
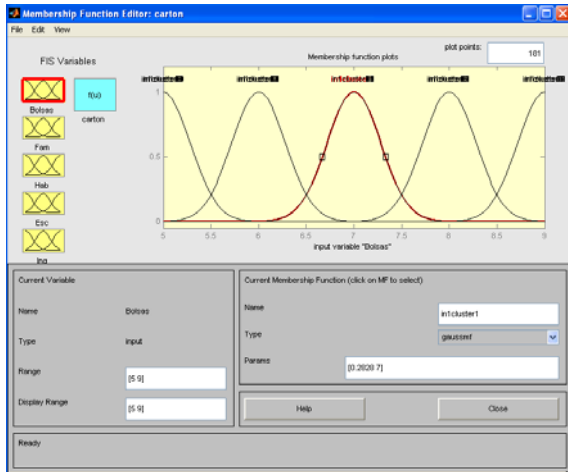
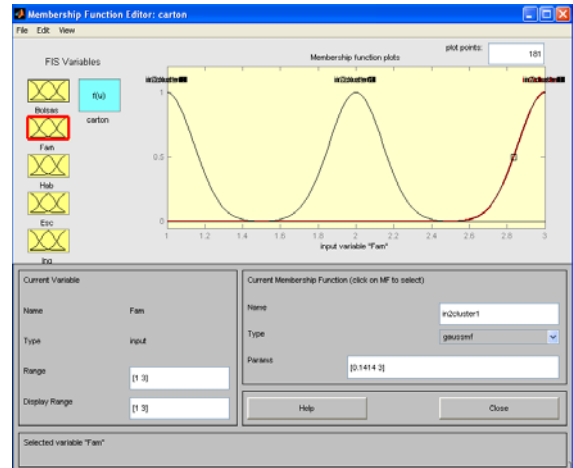


Figura 13 Agrupamiento de la entrada de datos

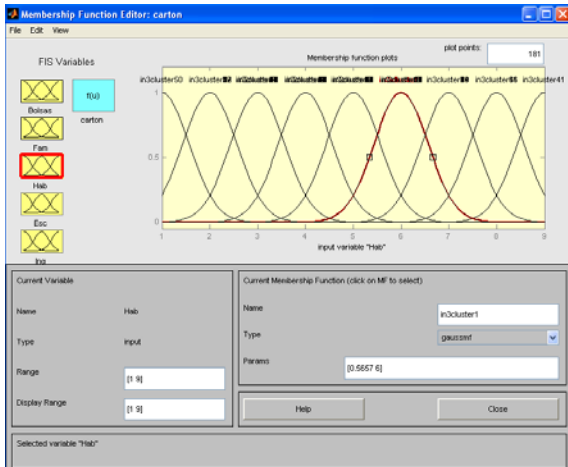
Para cada una de los grupos generados se definieron los conjuntos difusos basándose en la distribución de los grupos (Ver figura 14)



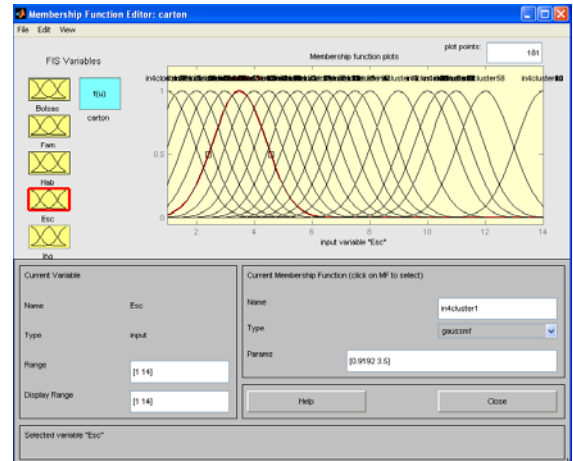
Bolsas



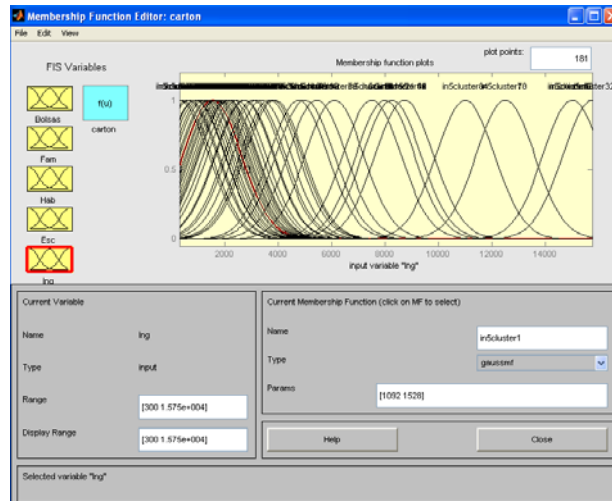
Familia



Habitantes



Escolaridad



Ingreso

Figura 14 Definición de la forma y geometría de los conjuntos difusos para variables de las viviendas

Para generar la base de reglas (Ver figura 15 y 16) se diseñó un sistema que expresara los posibles comportamientos de cada una de las variables y que dieran respuesta a todas las combinaciones existentes, para ofrecer una respuesta de generación dependiendo de los valores de las variables de entradas.

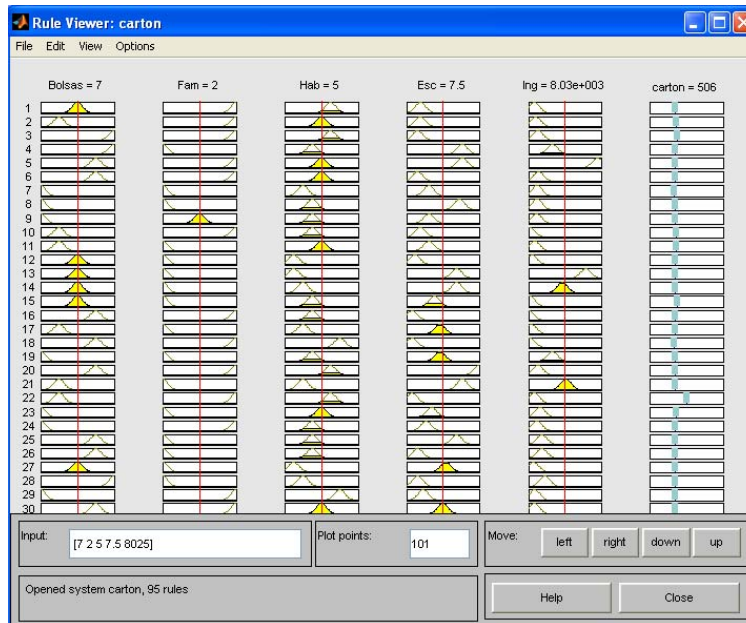


Figura 15 Base de reglas del sistema difuso (cartón)

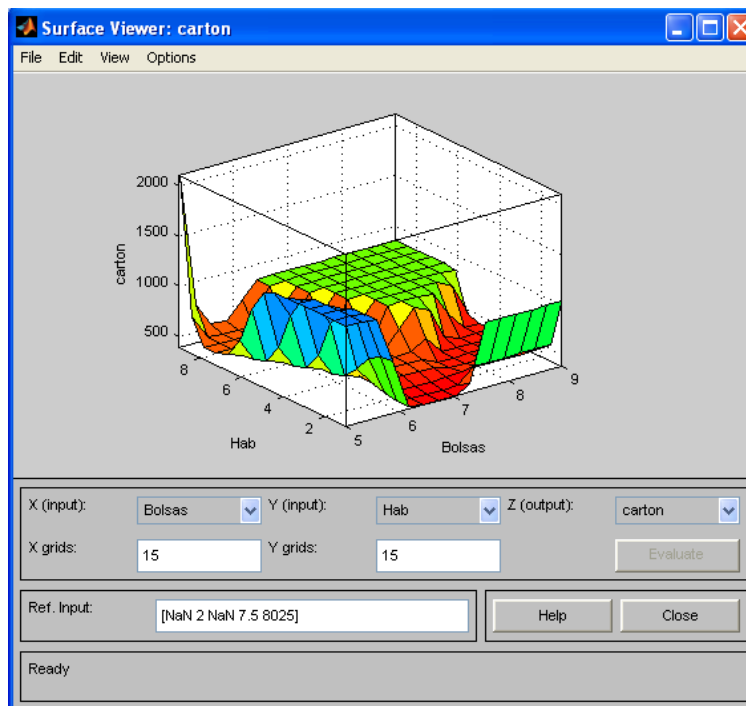


Figura 16 Esquema tridimensional del sistema difuso para las variables de entrada Número de habitantes y número de bolsas generadas en la vivienda

Este procedimiento se llevó acabo con cada uno de los tipos de envases (Plástico, cartón, metal y vidrio)

3.4 Análisis de los datos cualitativos

Esta etapa corresponde al análisis de los datos cualitativos, el cual consiste en analizar los instrumentos aplicados a los participantes de este proyecto, el objetivo fue identificar las actitudes ambientales de los miembros de las familias en tres categorías: Amas de casa, mayores de 24 años y jóvenes de 13 a 24 años. Los tres instrumentos se encuentran en el anexo 1.

El análisis que se incluye en esta tesis, corresponde a una parte del instrumento, que es la que está estructurada con la escala de likert, la cual nos permitirá definir las actitudes de los individuos encuestados. Esta escala se construye con un conjunto de frases que se presentan en forma de afirmaciones o juicios ante los cuales el sujeto encuestado responde. (Ver tabla 5)

Tabla 5 Formato de la escala de Likert

| Pregunta | TD | D | I | A | TA |
|--|----|---|---|---|----|
| 1.- Cuando voy a comprar solo adquiero las cosas que realmente necesito. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2.- Antes de comprar los productos que necesito los comparo para seleccionar el que tenga menos empaques y envolturas. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 11.- Al comprar bebidas, prefiero consumir en envases no retornables. | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 12.- Compró las cosas porque me gustan. | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

TD = Totalmente desacuerdo
D = Desacuerdo

I= Indeciso

A= Acuerdo

TA = Totalmente de acuerdo

En la tabla 5 se presenta un ejemplo de las afirmación, se le pide a cada participante que externe su reacción eligiendo uno de los cinco puntos de la escala. A cada punto se le asigna un valor numérico. Así el sujeto obtiene una puntuación respecto a la afirmación y al final se obtiene su puntuación total sumando las puntuaciones obtenidas en relación a todas las afirmaciones. Estas afirmaciones califican la actitud que está midiendo y deben expresar solo una relación lógica.

Para iniciar este análisis fue necesario identificar los tres componentes que definen la actitud, así como los elementos propuestos por (Aragón y Américo, 2000). Ver figura 17.

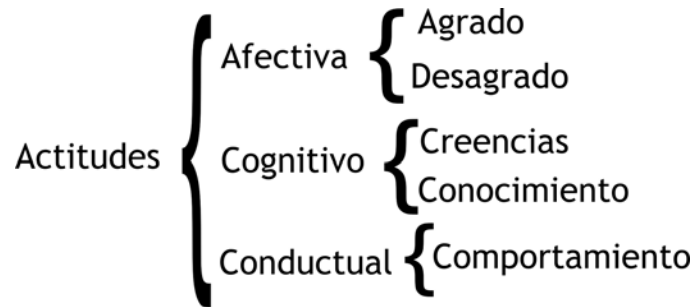


Figura 17 Dimensiones de la actitud

Una vez identificados los componentes de las actitudes se generaron los análisis por tipo de encuesta, ya que cada tipo de encuesta presentaba algunas modificaciones en las preguntas, dependiendo del encuestado, como se menciona anteriormente se generaron tres diferentes encuestas dependiendo las edades de los que sería encuestado. Para el análisis de las tres encuestas se realizaron los siguientes pasos

El primer paso fue generar una matriz de los datos y separar las preguntas que evaluarían la Actitud afectiva del encuestado, para esto se identificaron las preguntas que evalúan el agrado o desagrado hacia el medio ambiente. Una vez identificadas se generó una matriz de datos (ver tabla 6)

Tabla 6 Matriz para evaluar la actitud afectiva

| Afectiva | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-------|-----|----------------------|
| Agrado | | | | | | Desagrado | | | | | |
| P60 | P54 | P11 | P14 | P15 | P20 | P19 | P18 | P37 | | P59 | $\frac{\sum p_i}{n}$ |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

Donde p_i = es la suma de las preguntas.

n = número total de preguntas

Con esta matriz se obtuvo la sumatoria de la dimensión afectiva de las actitudes de las personas encuestadas, así mismo se dividió entre el número total de preguntas realizadas relacionadas con la actitud afectiva para utilizar la misma escala (1 al 5) de las encuestas y manejar los mismos términos propuestos en la encuesta.

El siguiente paso fue realizar el análisis de la actitud cognitiva, esta consistió en identificar las preguntas que evaluaran las partes de creencias y conocimiento, esto nos ayuda a analizar cómo y qué conoce el encuestado del tema evaluado, por medio de creencias, valores, experiencias, ideas/ideologías, opiniones, como define el objeto. Para esto se elaboró la siguiente matriz (ver tabla 7). De esta tabla se obtuvo la sumatoria y se dividió entre el número de preguntas para utilizar los mismos rangos en los datos.

Tabla 7 Matriz para evaluar la actitud Cognitiva

| Cognitivo | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|-------|--|----|----------------------|
| Creencias | | | | | | | Conocimiento | | | | | |
| P23 | P25 | P26 | P28 | P30 | P31 | P34 | P29 | P36 | | | Pi | $\frac{\sum P_i}{n}$ |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

En el tercer paso, se analizaron las actitudes conativas, esta actitud refleja cómo se comporta ante ciertos escenarios que evalué la conducta ambiental, sino que tendencia tiene al comportarse ante esos escenarios. Para ello se analizaron los ítems que tenían que ver con la tendencia del comportamiento ante alguna situación. Se llevó a cabo el mismo análisis que los anteriores y se obtuvo la sumatoria total de esta actitud.(ver tabla 8)

Tabla 8 Matriz para evaluar la actitud Conductual

| Conductual | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|--|--|--|----|----------------------|
| P1 | P7 | P9 | P12 | P13 | P16 | P10 | | | | | Pi | $\frac{\sum P_i}{n}$ |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

l

Una vez obtenidas las sumatorias y normalizadas, se generó una matriz en donde se concentraron las sumatorias de cada actitud. Ver tabla 9

Tabla 9 Matriz de Actitudes

| Afectiva $\frac{\sum p_i}{n}$ | Cognitiva $\frac{\sum p_i}{n}$ | Conductual $\frac{\sum p_i}{n}$ | Actitud = $\frac{\sum (Afectiva, cognitiva, conductal)}{3}$ |
|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Con esta matriz se obtuvieron los valores con un rango de 1 a 5. Con estos rangos establecimos una propuesta para generar respuestas para el usuario. En la tabla 10 presenta la propuesta realizada.

Tabla 10 Propuesta para el análisis de las actitudes

| Actitudes | Nomenclatura | Rango |
|------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1.- Totalmente en desacuerdo | Muy negativo | $1 \leq \text{Actitud} < 2$ |
| 2.- Desacuerdo | Negativo | $2 \leq \text{Actitud} < 2.5$ |
| 3.- Indeciso | Indeciso | $2.5 \leq \text{Actitud} < 3.5$ |
| 4.- De acuerdo | Positivo | $3.5 \leq \text{Actitud} < 4$ |
| 5.- Totalmente de acuerdo | Muy positivo | $4 \leq \text{Actitud} \leq 5$ |

Con esta propuesta nos aseguramos que todos los valores dentro del rango de 1 a 5 fueran evaluados, para no modificar los datos, generando decisiones por aproximaciones.

Una vez clasificados los ítems en su subconjunto se obtuvieron las tres dimensiones de las actitudes, estos tres conjuntos se observan en la figura 18, en la que se presentan tres conjuntos F1, F2 y F3. Se observa que F1 (conjunto de variables afectivas) se componen de un conjunto de preguntas los cuales evalúan una sola variable lingüística que son las tendencias afectivas que consisten en evaluar el agrado o desagrado del encuestado hacia el medio ambiente y de igual forma la variable F2 (conjunto de variables cognitivas) se divide en dos conjuntos que evalúan la parte cognitivas que se relaciona con la creencia y el conocimiento del encuestado,

el conjunto F3 (conjunto de las variables de la conducta) evalúa la conducta de los usuarios hacia el ambiente, (esta variable lingüística no se divide en subconjuntos, ya que todas las preguntas solo evalúan las conductas directamente). Cada uno de los subconjuntos fue analizado individualmente para conocer con exactitud cada respuesta.

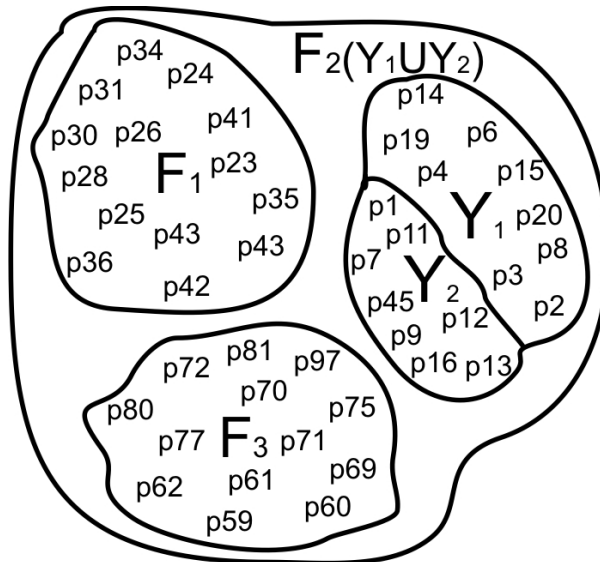


Figura 18 Universo difuso de las actitudes

3.4.1 Generación de Conjuntos difusos y definición de variables lingüísticas.

Después de identificar los conjuntos y subconjuntos se formaron los conjuntos difusos finitos los cuales se describen en la tabla 11.

Tabla 11 Conjuntos borrosos

| Componentes de la Actitud | Conjuntos difusos |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Afectiva | $F_1 = \{x 19 \geq x \leq 24\}$ |
| Cognitiva $F_2 = [Y_1 \cup Y_2]$ | $Y_1 = \{x x \leq 9\}$ |
| | $Y_2 = \{x x \leq 8\}$ |
| Conductual | $F_3 = \{x x \leq 13\}$ |

Posteriormente se definieron las variables lingüísticas (ver tabla 12). Como se mencionó anteriormente, cada uno de los subconjuntos fue analizado de forma individual, para que el sistema generara la información de cada una de las

características, con el propósito de que no fuera sólo una caja negra para los usuarios.

Tabla 12 Variables lingüísticas

| | |
|---|---|
| $F_1 = \{(x, A_{x_1}(x)) : x \in U, A_{x_1} \in \{24,125\}\}$ <p>Donde: X = Afectiva A_{x1}= variables lingüísticas de X₁. X₁={Agrado, Desagrado, indeciso} U= [24, 125]</p> $Y_1 = \{(y, B_{Y_1}(y)) : y \in U, B_{y_1} \in \{9,45\}\}$ <p>Donde: y = Creencia B_{y1}=variables lingüísticas de Y₁. Y₁={Con creencia, Sin Creencia, indeciso} U= [9, 45]</p> | $F_3 = \{(x, A_{x_3}(x)) : x \in U, A_{x_3} \in \{13,65\}\}$ <p>Donde: X = Conductual A_{x1}=variables lingüísticas de X₁. X₁={Comportamiento+,Comportamiento-,Indiferente} U= [13,65]</p> $Y_2 = \{(y, B_{Y_2}(y)) : y \in U, B_{y_2} \in \{8,40\}\}$ <p>Donde: X = Conocimiento B_{x2}=variables lingüísticas de Y₂. Y₂={Mucho, Poco, Medio, Nada} U= [8, 40]</p> |
|---|---|

$$F_{2(X_1 \cup Y_2)}(x) = \max\{F_{Y_1}(x), F_{Y_2}(x)\}$$

Al definir los conjuntos difusos y las variables lingüísticas se asocian a la función de membresía. En la figura 19 se muestra la función de membresía que evalúa la actitud cognitiva. Para lo cual se requiere definir las variables lingüísticas con sus propios rangos. Así como presentar los subconjuntos de creencias y conocimientos, que son las variables de entrada.

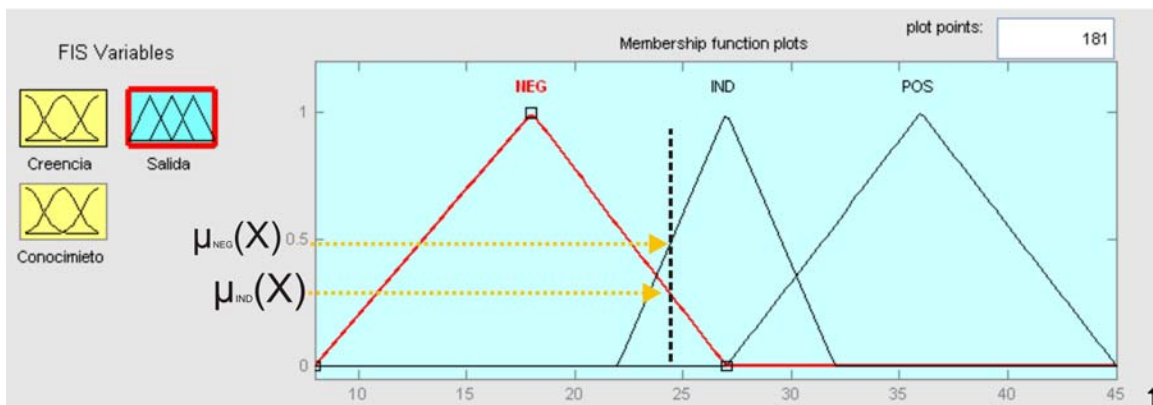


Figura 19 Función de membresía para la variable lingüística afectiva

En la figura 20 se presentan los subconjuntos de creencia y conocimiento, son cinco variables lingüísticas que se incluyeron; TD, D, I, TA, A, que significa totalmente

en desacuerdo, desacuerdo, indeciso, totalmente de acuerdo, acuerdo respectivamente.

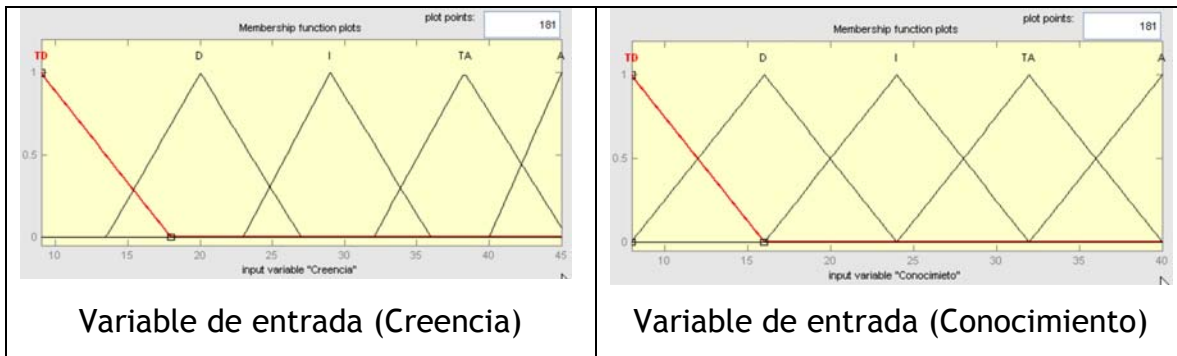


Figura 20. Representación de las variables de entrada de la actitud cognitiva

La función de membresía que corresponde a las actitudes cognitivas se definen en la ecuación 7.

$$\mu_1(x) = \frac{F(x)}{N} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

μ_1 es la función de membresía

N es el total de respuestas relacionadas con (X).

X es el dato real

F(x) es el dato difuso

3.4.2 Reglas de Inferencia difusa

La lógica difusa proporciona un mecanismo apropiado de inferencia para obtener nuevo conocimiento a partir de información con incertidumbre. Este mecanismo se basa en representaciones adecuadas para poner en evidencia que cada premisa o proposición es una restricción sobre una variable, y que la conclusión es una restricción calculada como propagación de la restricción (Pajares y Santos, 2006) De esta forma, el proceso de razonamiento difuso se reduce a la solución de un sistema no lineal de ecuaciones, y por lo tanto es programable en una computadora.

La regla utilizada fue el razonamiento cualitativo que permite modelar el problema mediante un conjunto de relaciones difusas del tipo “*si condiciones entonces acciones*”. Es el que soporta la mayoría de las aplicaciones reales de la lógica difusa. Una vez que se definieron las funciones de pertenencia correspondiente, se desarrollaron las reglas que se presentan en la figura 21, estas reglas se utilizaron en la definición de la dimensión cognitiva.

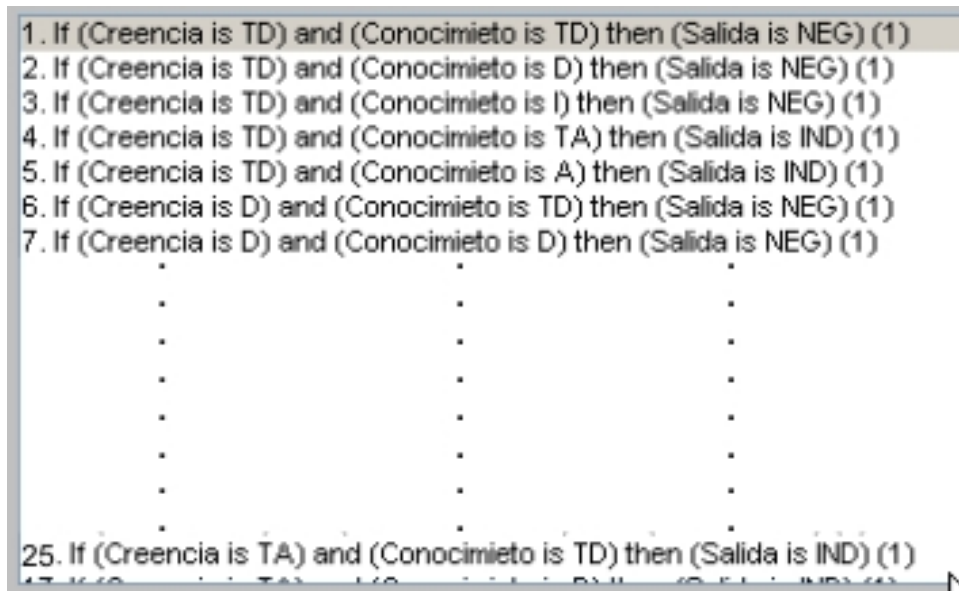


Figura 21 Reglas de inferencia difusa

En la figura 21 se presentan 16 reglas que definen una salida dependiendo de la entrada. Estas reglas de inferencia difusa se estructuran de la siguiente forma:

If (Creencia is TD) and (Conocimiento is D) then (Salida is NEG)

Donde TD, D, I, A y TA son conjuntos difusos.

Este tipo de reglas ha permitido un avance en el razonamiento difuso. La lógica booleana admite solamente dos estados, verdadero y falso, mientras que la lógica difusa trata con un rango continuo.

3.4.3 Procedimientos para identificar actitudes con la herramienta de Matlab®

Para este modulo se utilizó el sistema de Mandani. En la figura 22 se presenta la estructura principal del sistema propuesto,

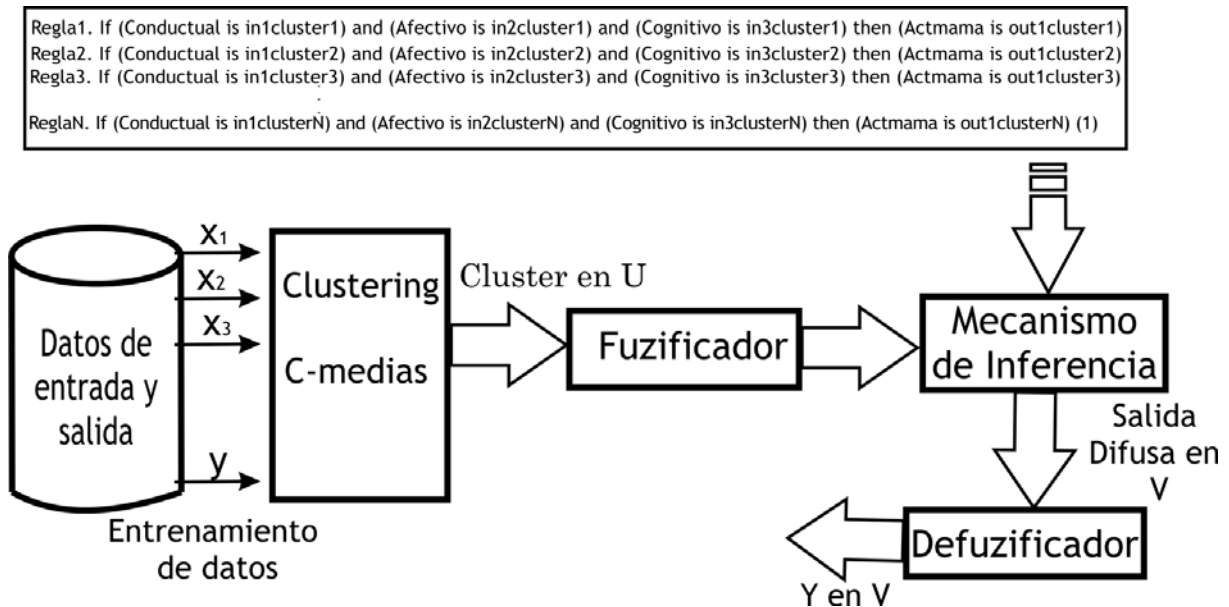


Figura 22 Estructura básica del sistema basado en reglas difusas aplicando Mamdani para determinarlas actitudes ambientales

Para determinar las actitudes ambientales es necesario transformar las entradas del sistema tipo Mamdani, que normalmente son valores numéricos, a un “lenguaje” que el mecanismo de inferencia pueda procesar como son los valores difusos. Para esto el sistema tienen como variables de entrada las tres dimensiones de la actitud, (afectivo, cognitivo, conativo), las cuales también requieren un proceso de agrupamiento en los datos, los cuales son los elementos del universo difuso y posteriormente se convierten en la entradas del fuzzificador. La variable de salida representa la actitud que tienen los individuos con base a los valores que puedan tener los elementos de la actitud (entradas) ver figura 23.

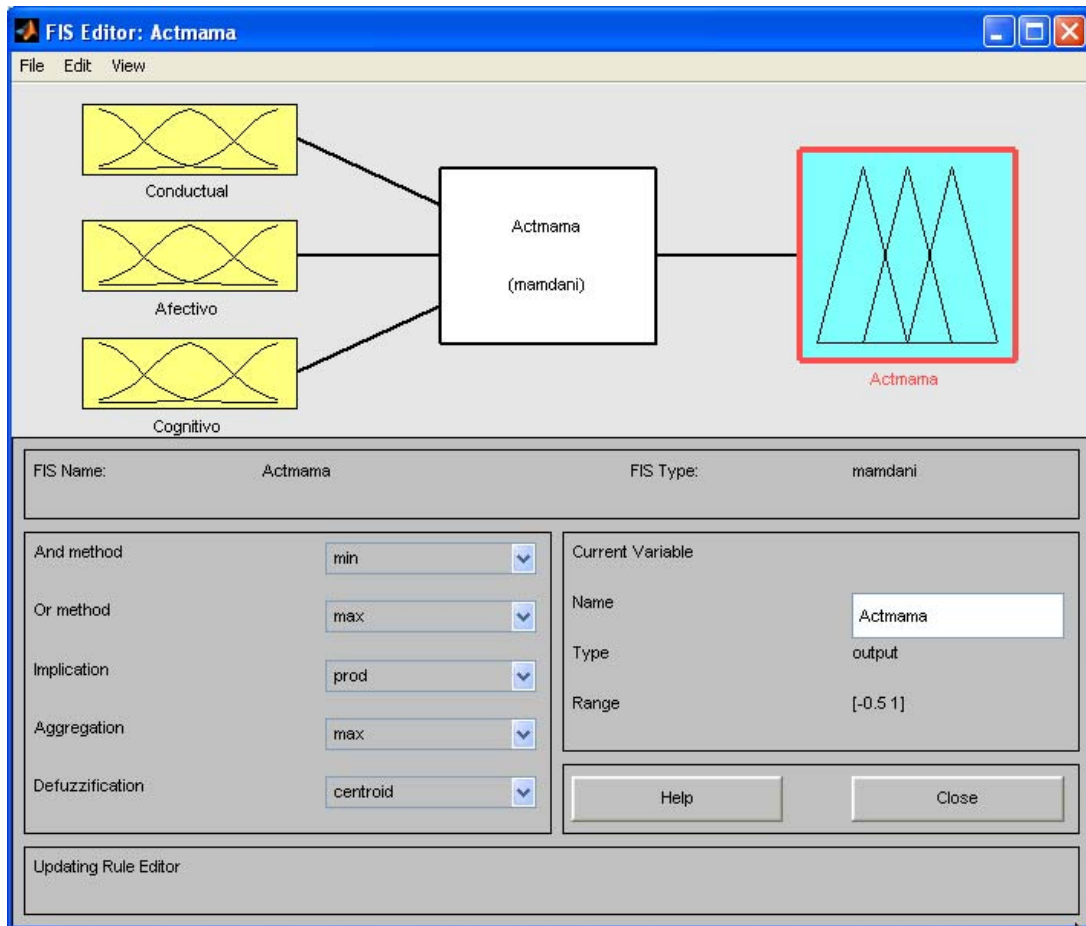
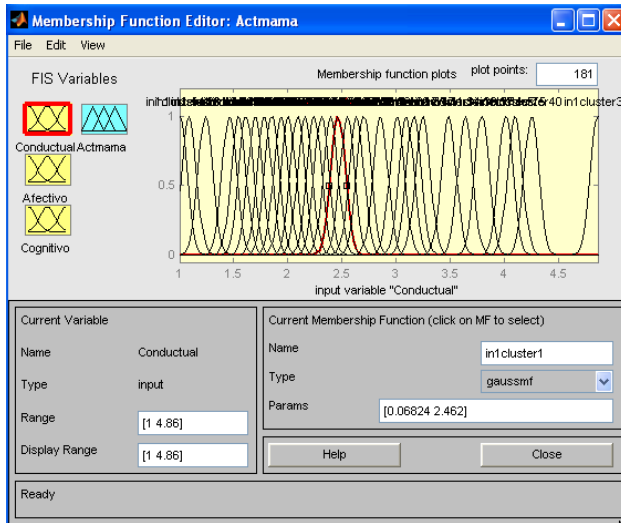
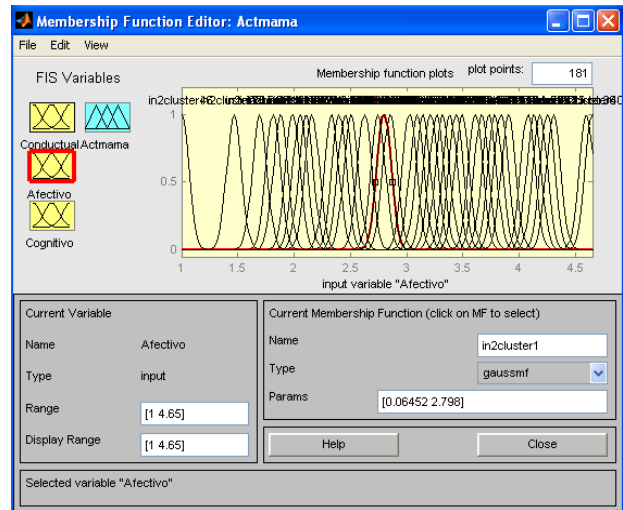


Figura 23 Sistema Difuso tipo Mamdani para la estimar la actitud de las personas

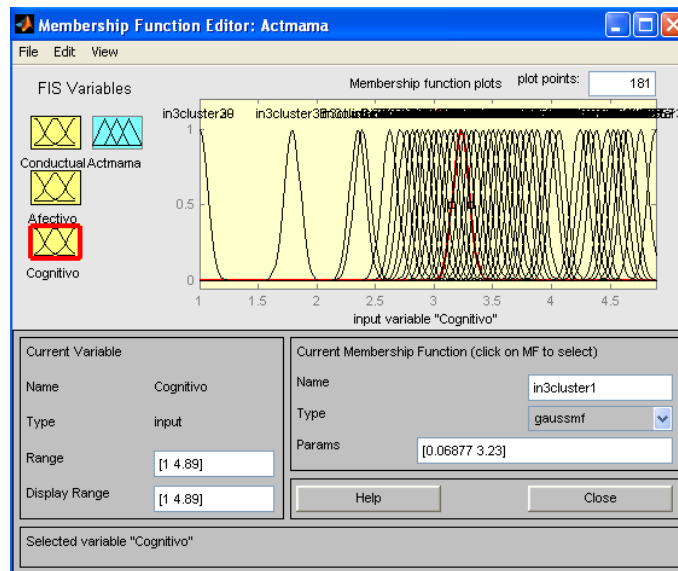
Para cada una de las variables de entrada se definieron los conjuntos difusos (ver figura 24) basándose en una distribución de clases para cada una de ellas.



Conductual



Afectiva



Cognitiva

Figura 24 Definición de la forma y geometría de los conjuntos difusos para las dimensiones de la actitud

Una vez fuzificada la información se establece el mecanismo de inferencia. Este proceso consiste en tomar los niveles de pertenencia provenientes del difuzificador y, apoyado en la base de reglas, generar la salida del sistema difuso. Estas reglas dan una visión especial acerca del conocimiento y forma en que este puede ser representado. (Ver Figura 25)

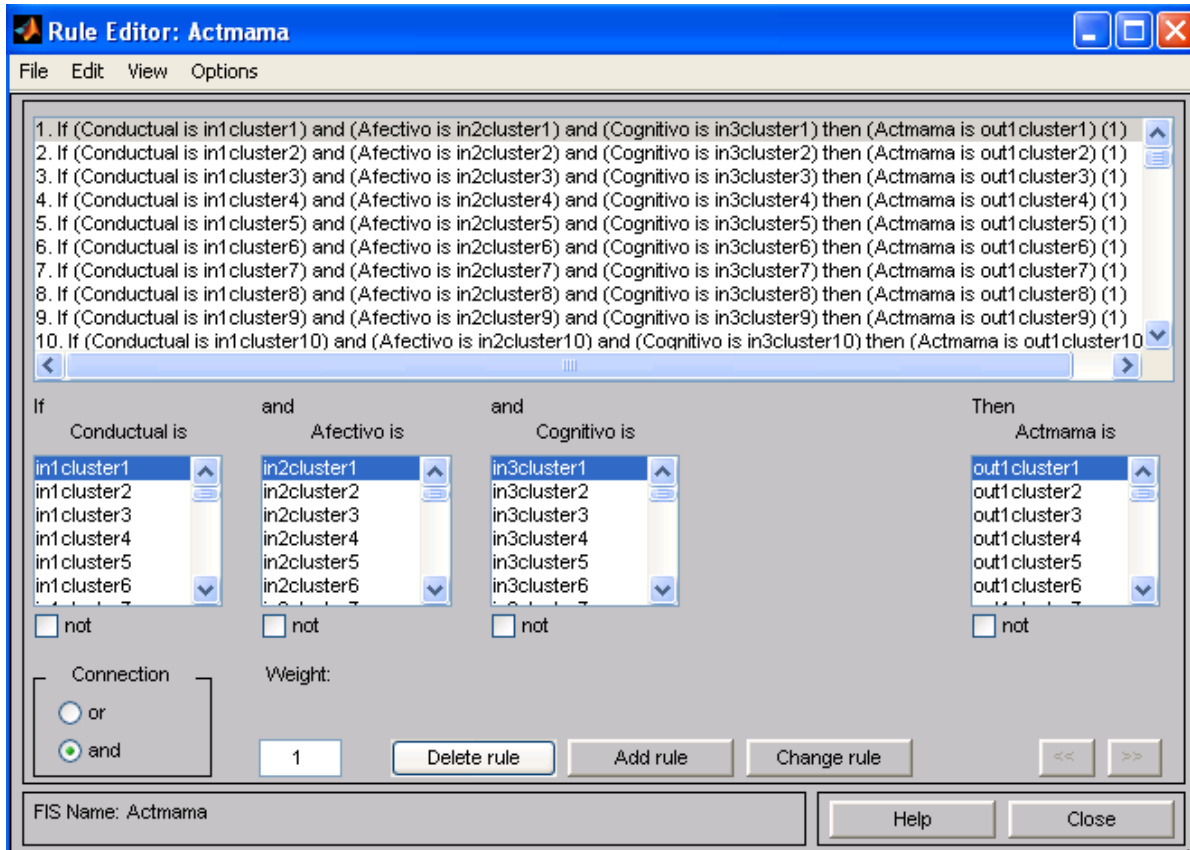


Figura 26 Reglas del sistema difuso

Generadas las reglas, el siguiente paso es la defuzificación. Esta consiste en convertir la salida difusa del mecanismo de inferencia en una salida que pueda ser interpretada por elementos externos que sólo manipulen información numérica. La salida del mecanismo de inferencia es un conjunto difuso y para generar la salida numérica a partir de este conjunto existen varias opciones como el centro de gravedad y los centros promediados, entre otros. Para fines de nuestro estudio se utilizó el centro promediado o también conocido como centroides (Max). En la figura 27 se presenta un ejemplo del proceso de inferencia con solo tres reglas.

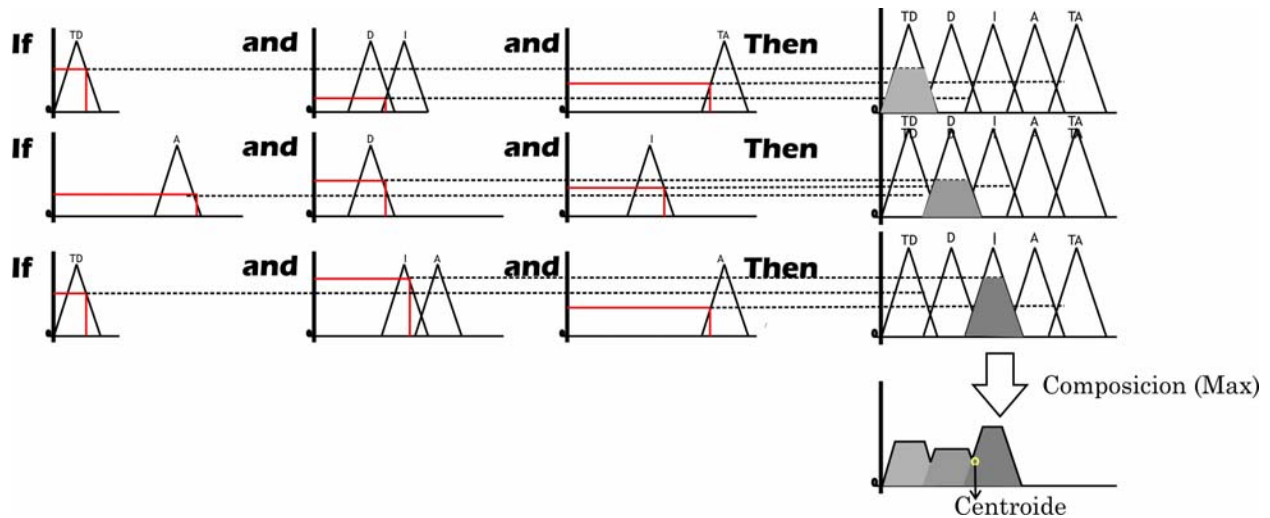


Figura 27 Defusificación de Mamdani

El método de promedios de máximos (Z_{MOM}) se utilizó para defusificar, consiste en un conjunto difuso A de un universo Z, donde el conjunto difuso A se representa usualmente por una salida agregada (función de membresía). Para obtener el centroide se utiliza el promedio de las Z que maximizan la función de membresía para un valor μ^* . (Ecuación 8)

$$Z_{MOM} = \frac{\int_{Z'} z dz}{\int_{Z'} dz} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde $Z' = \{Z \mid \mu_A(Z) = \mu^*\}$.

Capítulo 4 Resultados

En este capítulo se presentan los resultados de aplicar las herramientas de lógica difusa, para analizar la información recolectada de dos bases de datos e inferir conocimiento para determinar perfiles de generación de envases por familia, incluyendo en el análisis, variables cuantitativas y cualitativas.

4.1 Análisis cuantitativo de la composición de los envases generados

Para determinar la generación de los residuos sólo se trabajó con los datos que corresponden a los envases generados por tres colonias de la ciudad de Mexicali. Los datos analizados corresponden a la información de 850 muestras recolectadas -bolsas de basura-, de un total de 123 viviendas, del total de viviendas analizadas 25% corresponden al estrato bajo, el 49% al medio y el 26% al alto.

El peso de los envases analizados fue de 527.874 kg que corresponden a un total de 8,062 envases desechados.

En la tabla 13 se muestra la generación de envases por composición, en la que se presenta el tipo de material de los envases por peso y cantidad. Se observa que los envases de plástico son los que más se desechan, seguidos de los envases de cartón y de metal.

Tabla 13 Promedio de cantidad de envases muestreados por estrato socioeconómico

| | Bajo | | Medio | | Alto | |
|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | Cantidad | Peso (gr) | Cantidad | Peso (gr) | Cantidad | Peso (gr) |
| Plástico | 39 | 1031.47 | 39 | 1560.63 | 289 | 542.34 |
| Cartón | 9 | 251.23 | 11 | 550.80 | 383 | 4071.61 |
| Metales | 8 | 841.47 | 7 | 770.66 | 443 | 6077.62 |
| Vidrio | 3 | 659.06 | 3 | 687.37 | 495 | 10091.85 |

En la figura 28 se presentan las categorías de uso de los diferentes tipos de envases; entre las que se encuentran alimentos, fármacos y bebidas, entre otros. Se observa que la categoría de alimentos es la que tiene mayor frecuencia en la

generación de envases, ahí se puede encontrar todo tipo de material en diversas presentaciones y pesos.

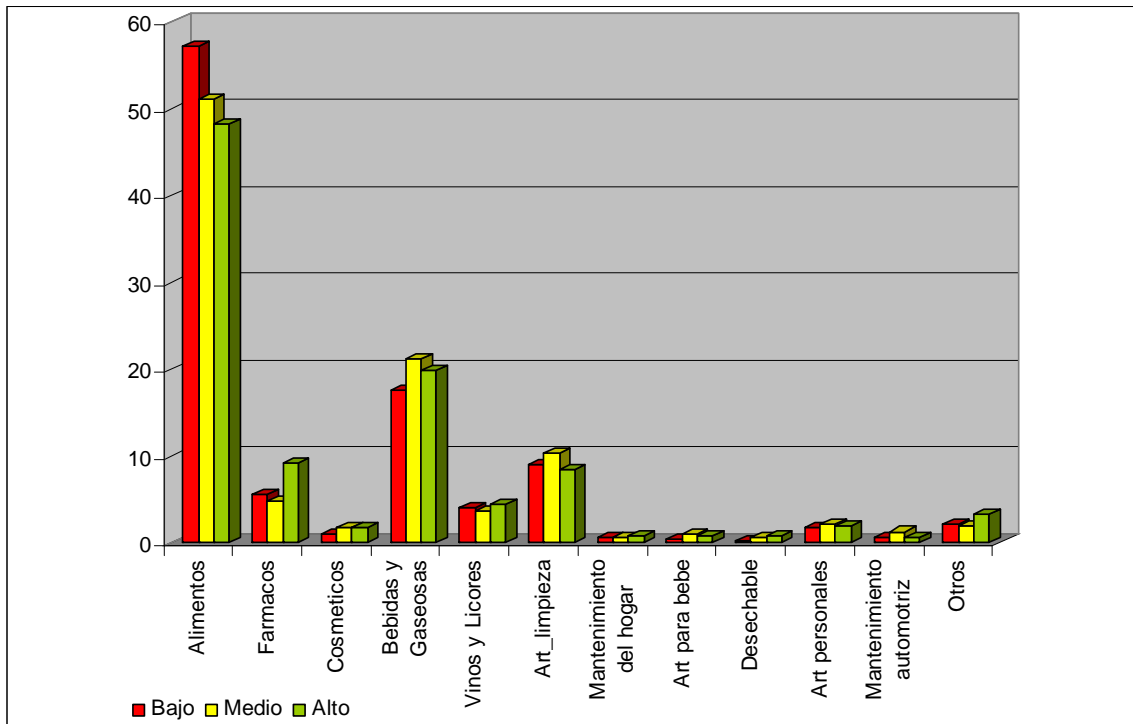


Figura 28 Categorías de uso de los envases

La generación de estos diferentes envases explica las prácticas de consumo por estrato socioeconómico, al realizar la cuantificación de los envases se encontró que las viviendas que pertenecen al estrato bajo consumen productos de presentaciones pequeñas, porque su capacidad económica es muy baja, y desechan mayor cantidad de envases en periodos más cortos, en cambio en el estrato alto compran productos de presentaciones más grandes, por ejemplo refrescos de tres litros en lugar de 600 ml como lo hacen en el estrato bajo. Esto implica que en el estrato alto generan menor cantidad de envases, mientras que en el bajo es mayor el número de envases que desecha.

En la figura 29 se observa la composición de los envases, en la que se presenta la clasificación de los diferentes tipos de materiales de envases que fueron muestreados y su proporción con base al peso. De los envases generados, los de

material de plástico tienen el mayor porcentaje, seguidos de los envases de metal, vidrio y cartón.

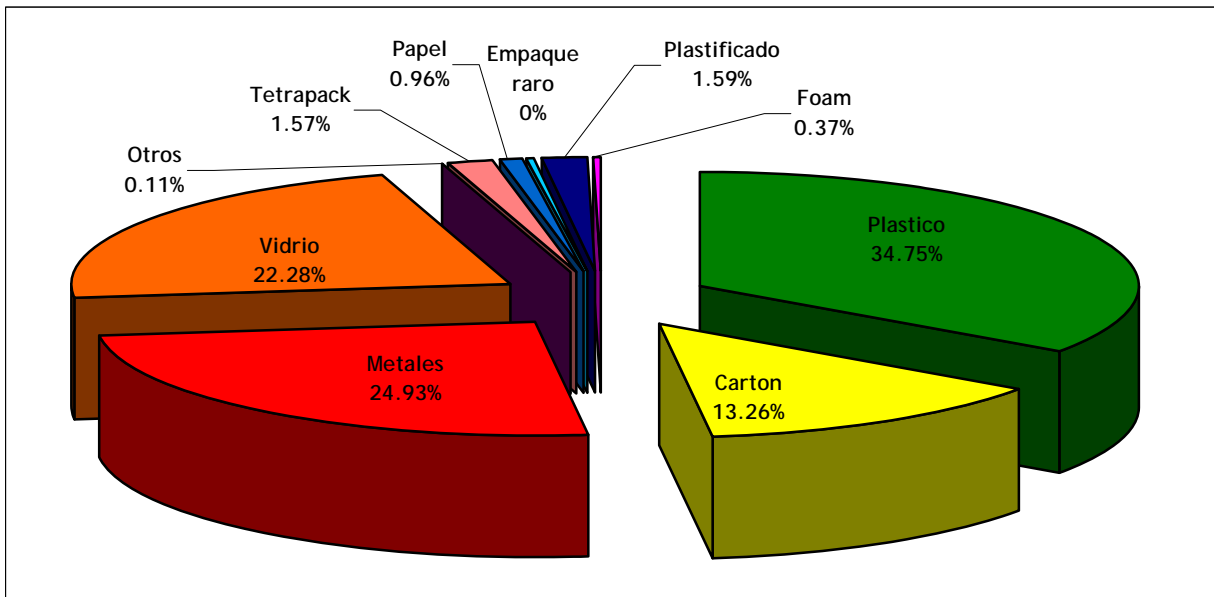


Figura 29. Generación por composición de envases por porcentaje con base al peso

En la figura 30 se observa la composición de los envases por tipo de material y número de envases generados. El mayor porcentaje de envases encontrados fue de plástico, seguido de los envases de cartón y metales.

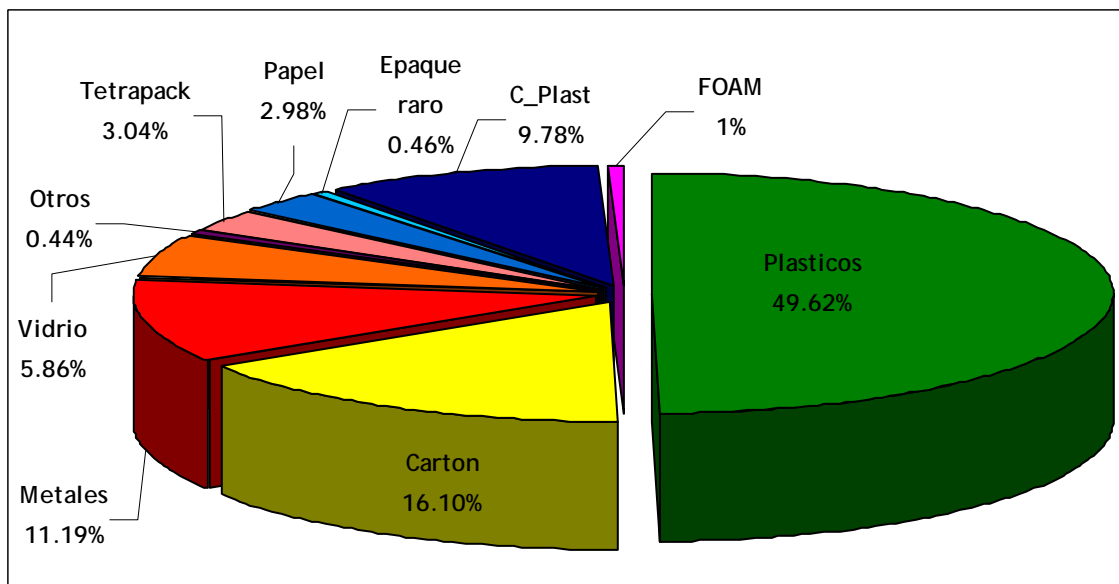


Figura 30 Generación por composición de envases por porcentaje con base a la cantidad

En ambas figuras, se observa que la generación de los envases de plástico, cartón, metales y vidrio son los materiales que tienen mayor representación de los residuos muestreados, tanto en peso como en cantidad.

Al analizar la generación de envases per-cápita semanal, por estrato socioeconómico se encontró que con relación al peso, es el estrato alto el que desecha más envases y el que menos genera es el estrato bajo. (ver figura 31)

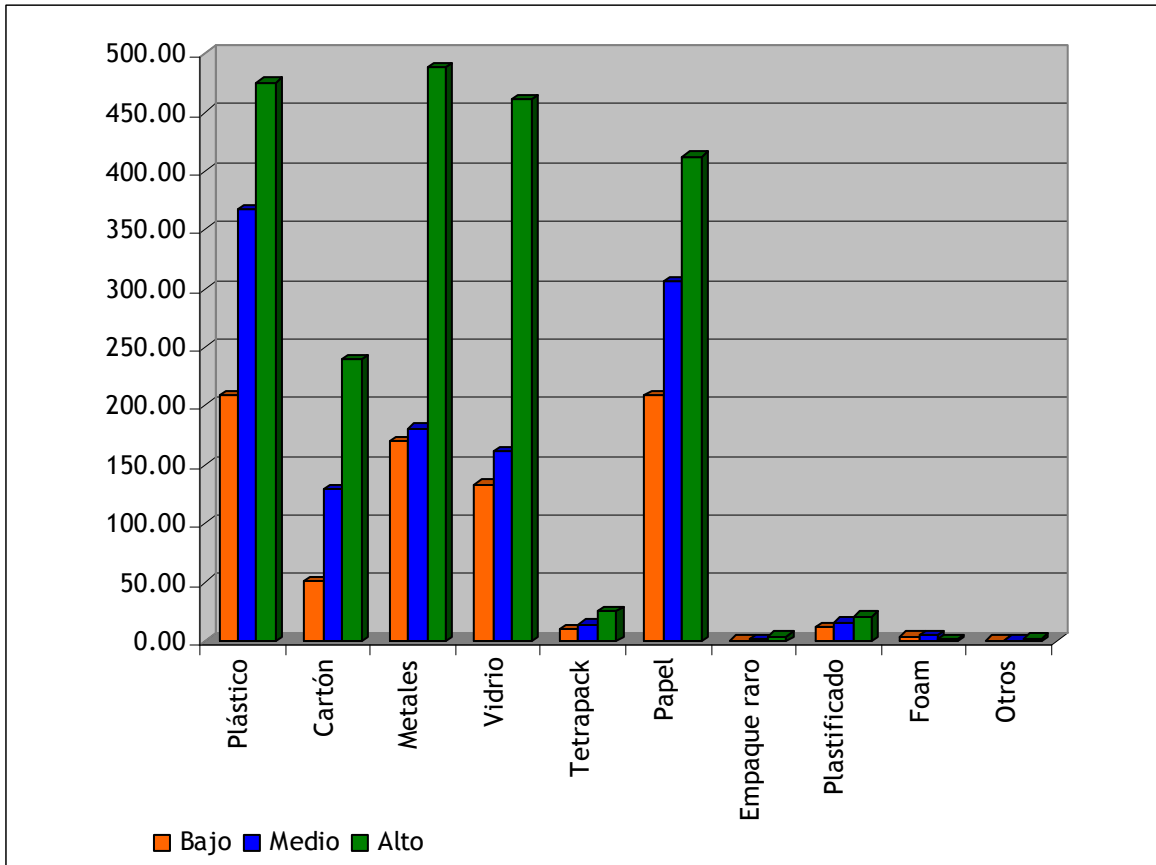


Figura 31 Peso de envases per-capita/semanal

Al analizar la cantidad de envases generados, se encontró que es similar el comportamiento de generación por peso. El estrato alto es el que predomina en las cantidades y peso de envases desechados, seguido del estrato medio. (ver figura 32)

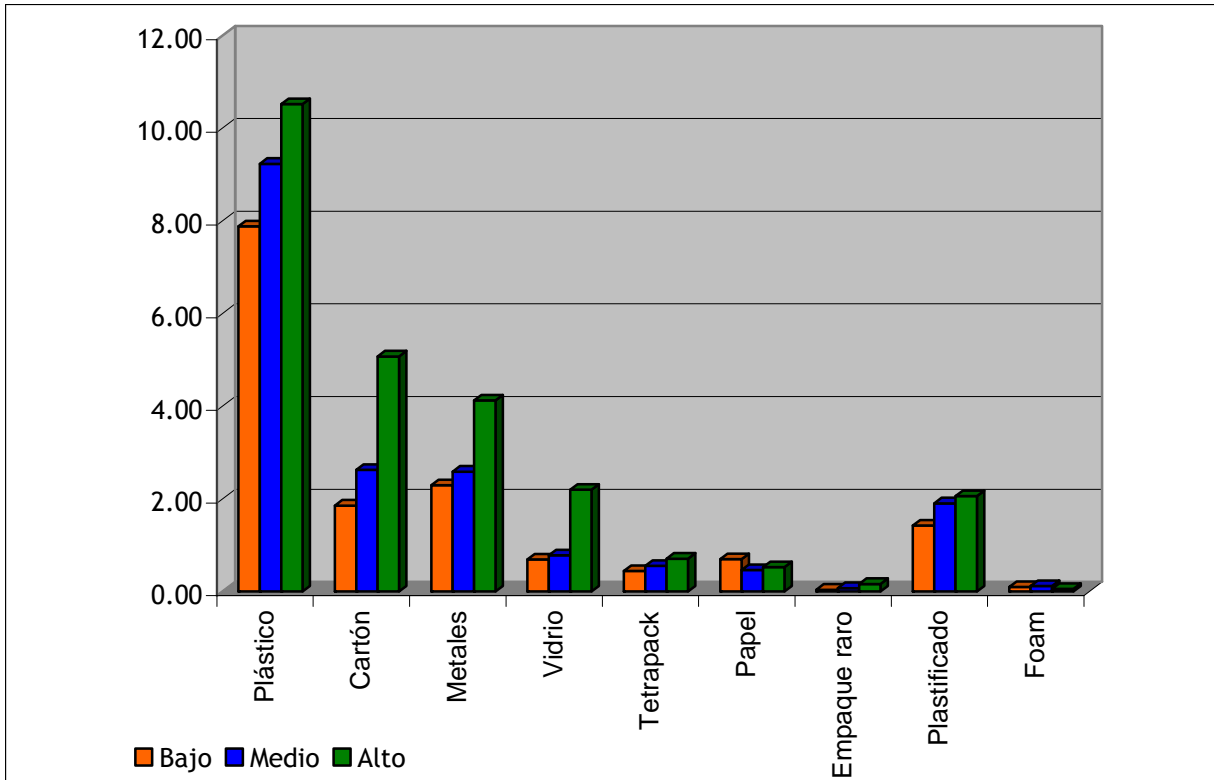


Figura 32 Generación de envases per-capita/semanal por cantidad

Los resultados presentados muestran tendencias muy generales sobre la generación de envases por estrato.

En la tabla 14, se presenta una muestra de la matriz con los datos de generación de envases por vivienda, para definir las reglas y determinar la generación de envases por cantidad y peso de los envases desechados por los habitantes de las viviendas estudiadas con los atributos definidos y está formada por 123 tuplas (renglones), y 13 atributos.

Para obtener el conocimiento de las bases de datos analizadas, el sistema realizó un proceso de búsqueda a través de la totalidad de los datos, para encontrar los patrones más significativos y relevantes de los datos para definir el sistema de lógica difusa y determinar los perfiles de generación de envases.

Tabla 14 Matriz con los datos de entrada y salida para la inferencia

| Variables de entrada Datos demográficos de la vivienda | | | | | Variables de salida Generación de envases por vivienda en peso y número de envases | | | | | | | |
|---|-----------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| No de Bolsas | Tipo de familia | Habitantes | Escolaridad | Ingreso | Plástico | | Cartón | | Metal | | Vidrio | |
| | | | | | Peso | Cantidad | Peso | Cantidad | Peso | Cantidad | Peso | Cantidad |
| X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 3779.61 | 3779.61 | 45 | 1946.33 | 15 | 218.13 | 22 | 926.35 | 4 |
| 7 | 3 | 6 | 2 | 1691.44 | 1691.44 | 32 | 488.39 | 5 | 304.47 | 2 | 424.6 | 1 |
| 8 | 3 | 5 | 14 | 1222.20 | 1222.20 | 34 | 1263.22 | 11 | 303.73 | 22 | 3131.93 | 3 |
| 8 | 1 | 3 | 8 | 2706.30 | 2706.30 | 18 | 836.03 | 7 | 171.21 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 3 | 4 | 4 | 916.65 | 916.65 | 31 | 1005.64 | 7 | 240.5 | 1 | 14.2 | 0 |
| 9 | 1 | 4 | 1.5 | 611.10 | 611.10 | 96 | 2964.13 | 8 | 220.98 | 17 | 2324.63 | 8 |
| 8 | 3 | 4 | 2 | 400.00 | 400.00 | 27 | 612.92 | 2 | 15 | 2 | 348.1 | 2 |
| 6 | 3 | 9 | 9 | 916.65 | 916.65 | 61 | 1163.61 | 18 | 407.06 | 5 | 275.4 | 2 |
| 8 | 3 | 5 | 3 | 2444.40 | 2444.40 | 40 | 1115.47 | 10 | 234.27 | 2 | 170 | 0 |
| 7 | 1 | 4 | 6 | 611.10 | 611.10 | 28 | 540.05 | 9 | 186.6 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 3 | 6 | 3 | 1130.14 | 1130.14 | 21 | 498.13 | 21 | 273.2 | 15 | 1540.9 | 7 |
| 6 | 1 | 6 | 5.5 | 1527.75 | 1527.75 | 57 | 815.06 | 5 | 36.16 | 5 | 638.87 | 4 |
| 5 | 2 | 6 | 2 | 1931.51 | 1931.51 | 59 | 1086.03 | 20 | 577.8 | 11 | 1366.33 | 9 |
| 5 | 1 | 4 | 2.5 | 611.10 | 611.10 | 11 | 348.35 | 4 | 72.31 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 3 | 6 | 2 | 1527.75 | 1527.75 | 13 | 115.58 | 4 | 70.4 | 2 | 145 | 1 |
| 7 | 3 | 6 | 12 | 1416.65 | 1416.65 | 44 | 1158.48 | 7 | 171.52 | 20 | 529.24 | 1 |
| 8 | 3 | 5 | 3 | 916.65 | 916.65 | 35 | 797.4 | 4 | 112.5 | 2 | 482.9 | 2 |
| 7 | 3 | 6 | 3.5 | 1527.75 | 1527.75 | 34 | 853.6 | 8 | 401.3 | 2 | 153.3 | 1 |
| 8 | 3 | 3 | 1 | 1833.30 | 1833.30 | 47 | 923.96 | 11 | 535.94 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 3 | 6 | 1.5 | 1130.14 | 1130.14 | 66 | 1498.28 | 14 | 358.42 | 15 | 3237.66 | 13 |
| 7 | 3 | 8 | 5.5 | 2444.40 | 2444.40 | 33 | 744.74 | 5 | 196.9 | 3 | 535.01 | 2 |
| 7 | 3 | 6 | 4 | 1014.86 | 1014.86 | 36 | 641.9 | 8 | 560.11 | 1 | 14.9 | 0 |

4.1.1 Generación de envases por tipo de familia en el estrato bajo

Para analizar los datos se utilizó el estrato y tipo de familia como variable independiente, para así analizar la generación de los residuos. El estrato bajo esta compuesto por 153 personas que participaron contestando la encuesta y que viven en las 31 viviendas que fueron muestreadas. En la figura 33 se puede observar el porcentaje de habitantes por tipo de familia en el estrato bajo

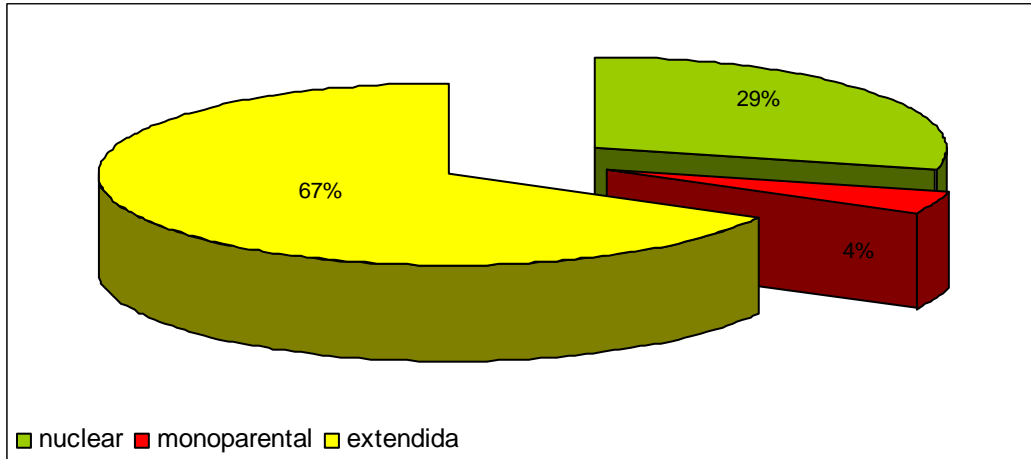


Figura 33 Porcentaje habitantes del estrato bajo por tipo de familia

El tipo de familia que predomina, en el estrato bajo, es la familia extendida. Con relación al ingreso este tipo de familia -extendida- gana entre 27 y 28 salarios mínimo* por semana, y tiene una generación de residuos en cuanto a cantidad y peso del 63 y 60 % respectivamente, con respecto al total generado en este estrato.

El ingreso de la familia nuclear, en este estrato, es de 33 y 34 salarios mínimos por vivienda por semana, la generación corresponde al 32 y 34 por ciento por cantidad y peso respectivamente.

La familia monoparental, es la que tiene la generación de envases mas baja; genera el 5 y 6 % en cuanto a cantidad y peso, el ingreso por semana de este tipo de familia es de 36 a 37 salarios mínimos. En la figura 34 se presenta la generación del estrato medio en cuanto a la cantidad y peso de sus envases.

* salario mínimo del 2008 - \$52.59

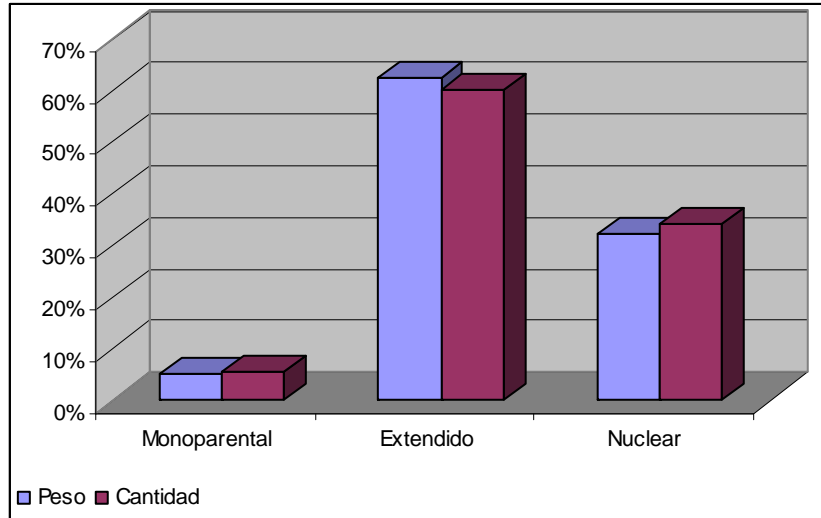


Figura 34 Peso y cantidad de envases generados en el estrato bajo

En la figura 35 se presenta la generación de envases por tipo de familia en el estrato bajo. El comportamiento de la generación de envases por tipo de material, en este estrato, muestra que es la familia monoparental la que mantiene una generación más homogénea con respecto al peso de los envases. En cambio las familias extendidas y nucleares muestran una tendencia diferente en la generación de los envases de plástico, metal, vidrio y cartón, la cual es mayor que en la familia monoparental.

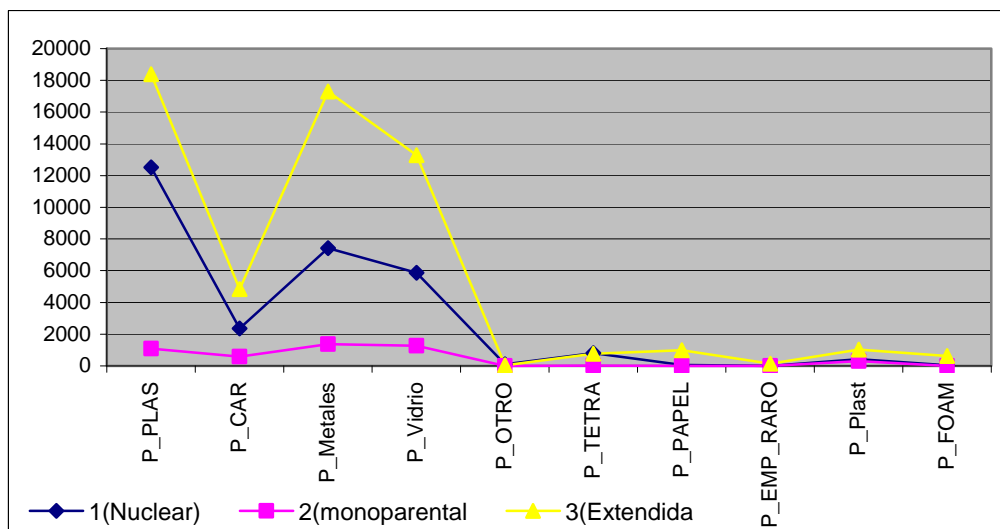


Figura 35 Generación por estrato bajo

Este resultado muestra una tendencia en la generación de envases para el estrato bajo; se observa que la estructura familiar si influye en la composición y

cuantificación de residuos que se generan en una vivienda. Con relación al número de integrantes que componen cada tipo de familia, se encontró que en las familias extendidas, en promedio son cinco personas por vivienda. En las nucleares son cuatro personas y en monoparentales tres o menos. En la tabla 15 se presenta la generación percapita por tipo de familia y composición de envase, se puede observar el tipo de empaque y cantidad que se genera por persona en cada uno de los tipos de familias.

Tabla 15 Generación percapita por tipo de empaque en el estrato bajo

| Tipo de empaque | Plástico | Cartón | Metales | Vidrio | Tetrapack | Papel | Empaque raro | Plastificado | Foam |
|-----------------|----------|--------|---------|--------|-----------|-------|--------------|--------------|------|
| Nuclear | 35.54 | 6.72 | 21.09 | 16.66 | 2.31 | 0.18 | 0.00 | 1.20 | 0.12 |
| Monoparental | 22.63 | 12.04 | 28.47 | 26.53 | 0.55 | 0.00 | 0.00 | 6.27 | 0.00 |
| Extendido | 22.30 | 5.88 | 20.99 | 16.13 | 0.94 | 1.19 | 0.18 | 1.26 | 0.75 |

4.1.2 Generación de envases por tipo de familia en el estrato medio

En este apartado se presentan los resultados de analizar la población que corresponde al estrato medio, el número de personas que integran este estrato es de 255 personas, que viven en 60 viviendas que fueron muestreadas, en la figura 36 se presenta la composición por tipo de familia del estrato medio.

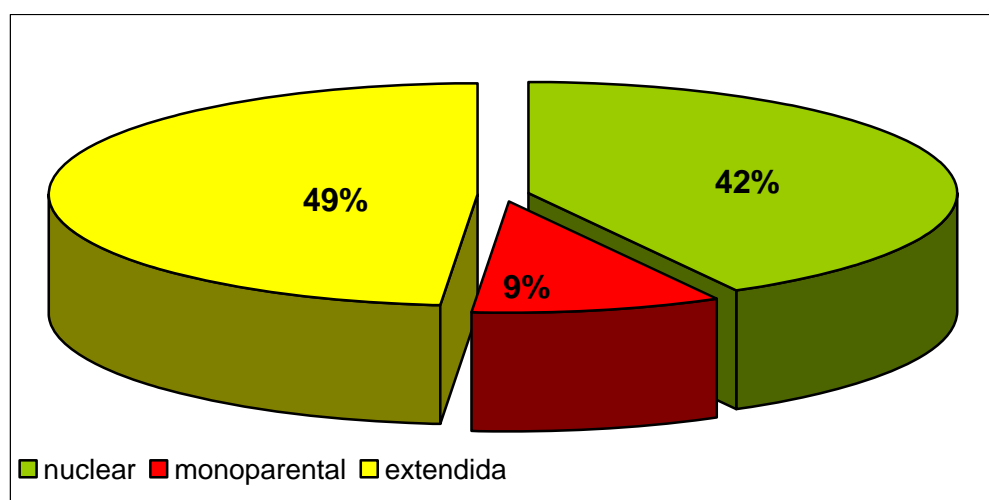


Figura 36 Porcentaje habitantes del estrato medio por tipo de familias

En el estrato medio se encontró un porcentaje mayor de familias extendidas y nucleares, las familias extendidas siguen predominando como en el estrato bajo. Este

tipo de familia tuvo un ingreso de 42 a 43 salarios mínimos semanales. En cuanto a la generación de envases, por peso y cantidad fue del 34 y 40% respectivamente del total de la muestra en este estrato. La generación de envases por persona/semana es de 619.46 grs/persona/semana, y 14 Envases/persona/semana, que corresponden al 22 y 27 % de la envases generados en este estrato

El ingreso de la familia nuclear es de 37 y 38 salarios mínimos, este tipo de familia genera el 54% en cuanto al peso de los envases y el 51% en cuanto a la cantidad de envases. El promedio de generación de envases per cápita semanal en cuanto al peso y cantidad de los envases generados es del 40% en ambos. La generación de envases con respecto al peso es de 1,140 gr/persona/semana y 21 envases/persona/semana.

Con relación a la familia monoparental, el ingreso es de 30 y 31 salarios mínimos, la generación de envases con respecto al peso es de 1,093 gr/persona/semana y 18 envases/persona/semana, estos datos equivalen al 12 y 10% respectivamente del total generado en este estrato. Este tipo de familias en el estrato presentó una disminución en la cantidad y peso de los envases generados en comparación a los otros dos tipos de familias (ver figura 37)

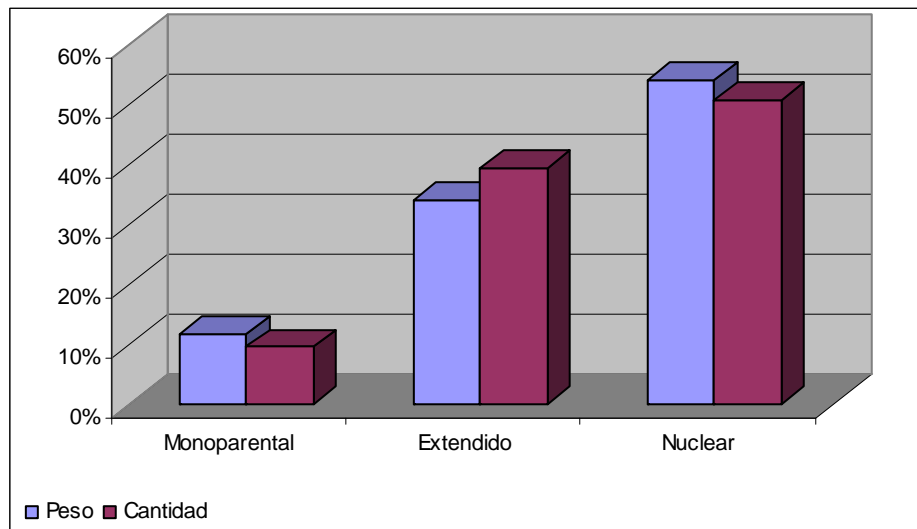


Figura 37 Generación de envases por peso y cantidad en el estrato medio

La composición de los envases que se encontraron en este estrato se presenta en la figura 38. El comportamiento de las familias en el estrato medio es diferente a las del bajo.

En el estrato medio, la familia que tiene la generación más alta es la nuclear, a diferencia del bajo que es la extendida. En cuanto tipo de residuos es similar, ya que el residuo que más generan también es el plástico, seguida de madera y vidrio; pero en peso es mucho más alto en el estrato medio. Con relación a la familia monoparental en el estrato medio, la generación por composición no se mantiene homogénea, como en el bajo, ya que se dispara un poco en la generación de cartón seguida del plástico.

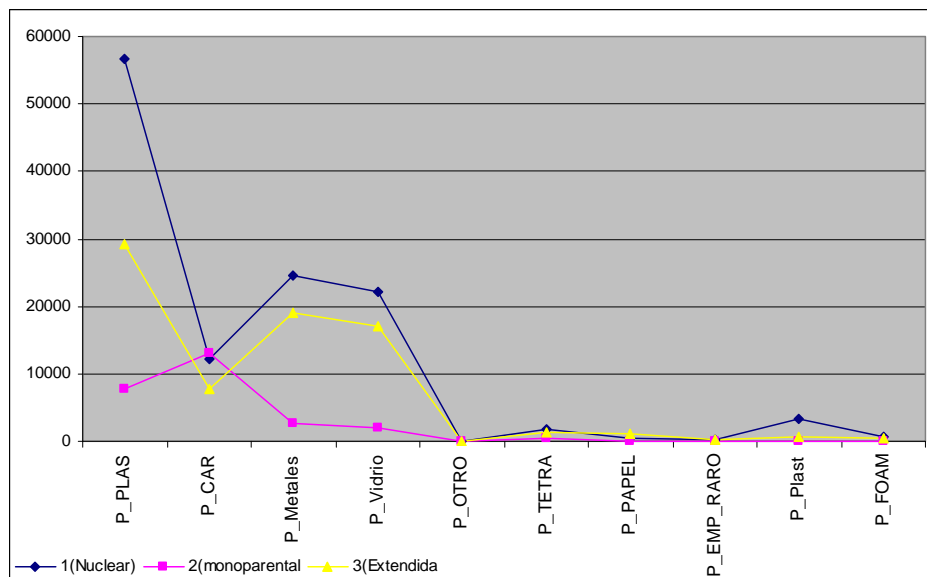


Figura 38 Generación por estrato medio

En la tabla 16 se presenta la generación percapita de este estrato, así como la composición de los tipos de envases que se generan por tipo de familia.

Tabla 16 Generación percapita por tipo de empaque en el estrato medio

| Tipo de empaque | Plástico | Cartón | Metales | Vidrio | Tetrapack | Papel | Empaque raro | Plastificado | Foam |
|-----------------|----------|--------|---------|--------|-----------|-------|--------------|--------------|------|
| Nuclear | 66.11 | 14.32 | 28.73 | 25.93 | 2.06 | 0.53 | 0.18 | 3.80 | 0.74 |
| Monoparental | 40.81 | 67.48 | 13.75 | 10.79 | 2.65 | 0.21 | 0.05 | 0.51 | 0.32 |
| Extendido | 29.45 | 7.90 | 19.16 | 17.11 | 1.34 | 1.04 | 0.19 | 0.69 | 0.47 |

Al analizar estos resultados fue necesario agregar otra variable, para explicar el comportamiento de estos datos, esta variable fue la escolaridad. Los resultados

muestran que en promedio la escolaridad de la familia nuclear corresponde a carrera técnica, en la monoparental es primaria inconclusa y en la extendida secundaria inconclusa. Al relacionar la variables de generación y escolaridad, se observa que la relación es directamente proporcional; es decir, entre mayor sea la escolaridad mayor será la generación de residuos de envases.

4.1.3 Generación de envases por tipo de familia en el estrato alto

En este apartado se presentan los resultados de la generación del estrato alto, en este estrato se muestrearon los residuos generados en 32 viviendas, en las cuales se analizaron 210,515 gr. del peso de los envases y un total de 3,002 envases. En la figura 39 se presenta la distribución de estas familias.

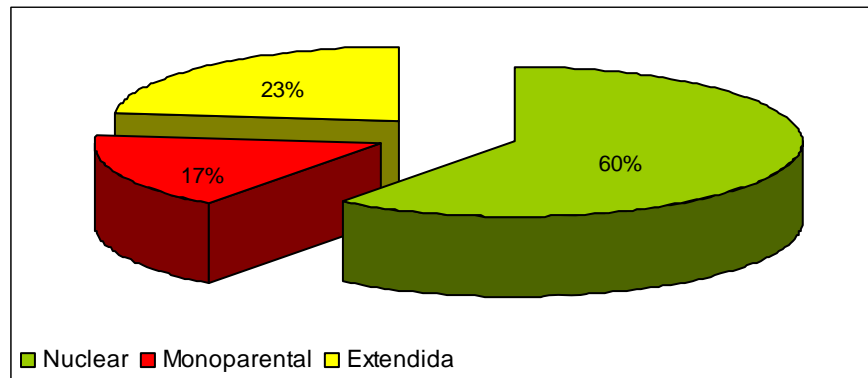


Figura 39 Porcentaje habitantes por tipo de familia en el estrato alto

En este estrato los resultados muestran una diferencia con respecto a la composición de la población. El mayor número de familias son las nucleares, a diferencia de los otros estratos donde predominó la familia extendida. En cambio, permaneció constante la monoparental la cual fue la menos predominante, igual que los estratos anteriores.

Las familias nucleares en este estrato reportaron un salario de 137 y 138 salarios mínimos semanal, y una generación de envases en cuanto a su peso de 127,063 gramos, que equivalen a 1,740 gr/persona/semana y se encontró que en cuanto a la cantidad de envases se registraron 1,805 envases que equivalen a 25 envases/persona/semana.

El ingreso promedio de la familia extendida fue de 245 y 246 salarios mínimos por semana. Con respecto a los envases analizados de la muestra, este tipo de familia generó 34,621 gr. de envases que equivalen al peso de 693 envases; este representa el 16% del peso total del estrato así como el 23% de la cantidad del mismo. La generación per-cápita semanal es de 1,236gr /persona/semana y 24 envases/persona/semana.

Las familias monoparentales reportaron un promedio de ingreso de 165 y 166 salarios mínimos por semana. Con respecto a los residuos de sus envases generaron durante el muestreo el 23% y 17% del peso y cantidad de envases muestreados en ese estrato respectivamente, al analizar la generación de envases por persona se encontró que una persona puede generar hasta 2,442 gr./persona/semana y generar 25 envases/persona/ semana. Esta diferencia en peso se dio por que este tipo de familia en particular genera una mayor cantidad de envases de plástico que las familias nucleares y extendidas, y varía de igual forma en la presentación de los envases. En la figura 40 se presentan los tipos de envases generados por familia en el estrato alto.

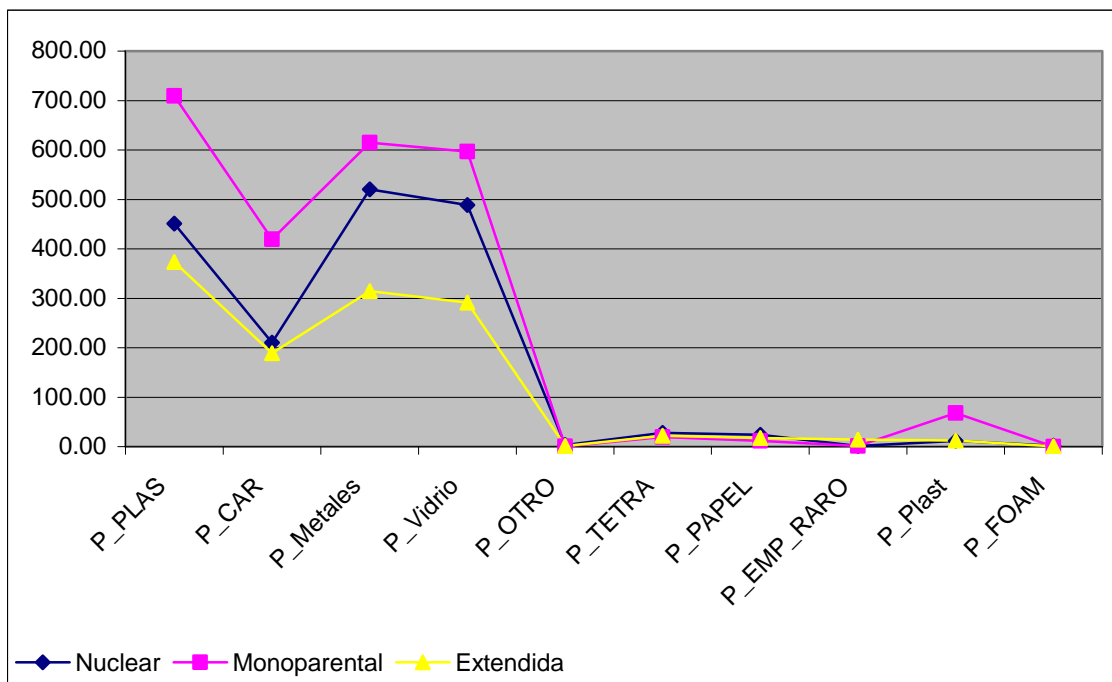


Figura. 40 Generación de envases/per cápita/semana del estrato alto

En la figura 41 se presenta la generación del estrato alto, por tipo de familia, se observa que al igual que en el estrato medio. La familia que más genera es la nuclear; con relación a las familias monoparentales y extendidas, su comportamiento de generación difieren del estrato medio, ya que en el estrato alto la familia monoparental genera más residuos que en el estrato medio y la familia extendida es la que menos genera en el estrato alto.

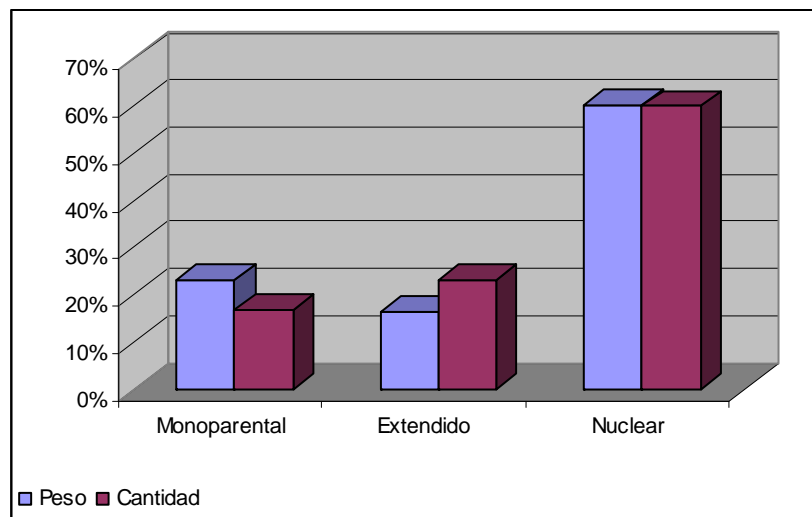


Figura 41 Generación de envases por peso y cantidad del estrato alto

En la generación por tipo de envases se puede observar que las familias nucleares desecharon mayor cantidad envases de plástico, metal y vidrio, en la tabla 17 se presenta la generación per-capita y el tipo de empaques que se desechan por tipo de familia en el estrato alto.

Tabla 17. Generación de envases por composición del estrato Alto

| Tipo de empaque | Plástico | Cartón | Metales | Vidrio | Tetrapack | Papel | Empaque raro | Plastificado | Foam |
|-----------------|----------|--------|---------|--------|-----------|-------|--------------|--------------|------|
| Nuclear | 56.36 | 26.32 | 65.03 | 61.05 | 3.52 | 2.99 | 0.18 | 1.48 | 0.22 |
| Monoparental | 88.67 | 52.41 | 76.86 | 74.60 | 2.43 | 1.49 | 0.17 | 8.46 | 0.00 |
| Extendido | 46.65 | 23.62 | 39.32 | 36.42 | 2.76 | 2.18 | 1.79 | 1.55 | 0.09 |

4.2 Análisis de los datos cualitativos: Evaluación de las actitudes ambientales

Para llevar a cabo el análisis, de los resultados que se presentan en este apartado, se utilizó la información de tres instrumentos que se aplicaron a los habitantes de las viviendas participantes. Los instrumentos contenían información de tres grupos de habitantes (amas de casa, adultos mayores de 24 y jóvenes), en la figura 42 se presenta la composición de los grupos.

El objetivo de aplicar el instrumento fue analizar por medio de la escala de Likert las actitudes de la población, con respecto al manejo de la basura. Los tres componentes de la actitud que se analizaron fueron: lo afectivo, cognitivo y conativo.

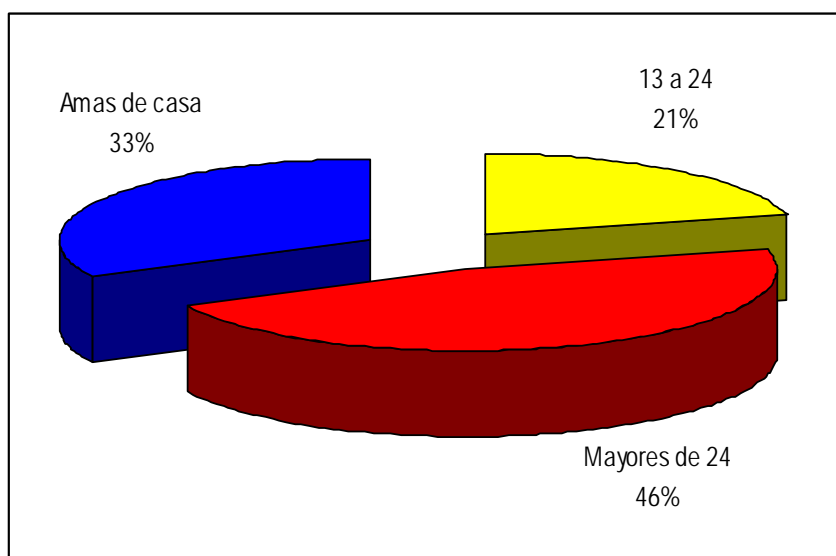


Figura 42 Composición de la población analizada

Para esta evaluación se generó una propuesta de análisis explicada en el capítulo 3; en la tabla 18 se presenta la escala que se propuso para evaluar los resultados, estableciendo la nomenclatura y el rango de puntuación que define la actitud.

Tabla 18. Propuesta para el análisis de las actitudes

| Actitudes | Nomenclatura | Rango |
|------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1.- Totalmente en desacuerdo | Muy negativo | $1 \leq \text{Actitud} < 2$ |
| 2.- Desacuerdo | Negativo | $2 \leq \text{Actitud} < 2.5$ |
| 3.- Indeciso | Indeciso | $2.5 \leq \text{Actitud} < 3.5$ |
| 4.- De acuerdo | Positivo | $3.5 \leq \text{Actitud} < 4$ |
| 5.- Totalmente de acuerdo | Muy positivo | $4 \leq \text{Actitud} \leq 5$ |

Con esta propuesta se evaluó la información generada de los tres componentes de la actitud y se obtuvo una visión de las actitudes de la población encuestada con base al manejo de los residuos sólidos domiciliarios. En la figura 43 se presenta el comportamiento del estrato bajo por tipo de encuesta. Como se puede observar el comportamiento de las amas de casa y de los habitantes mayores de 24 años reflejan una puntuación de 2.9 y 3.3 respectivamente lo cual los coloca con una tendencia de indecisión, estas puntuaciones representan un dato o información ambigua por el tipo de respuesta, por que no podemos definir de esta forma su tendencia.

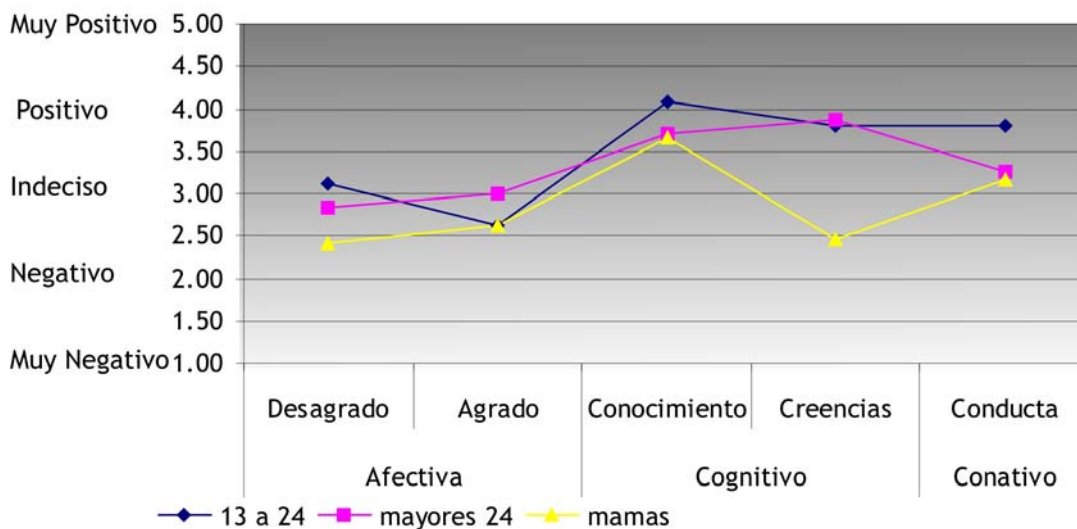


Figura 43 Actitudes ambientales de los habitantes del estrato bajo

En cambio de los resultados de los jóvenes encuestados de 13 a 24 años, se observa una puntuación más alta, reflejando una actitud positiva con una puntuación de 3.5. La puntuación más alta corresponde a uno de los sub-elementos de la dimensión cognitiva de la conducta, que es el conocimiento del tema.

En la figura 44 se presentan las actitudes de los habitantes del estrato medio, el comportamiento de este estrato presenta una diferencia con el estrato bajo, las amas de casa mostraron una actitud positiva, con una puntuación de 3.5, los adultos mayores de 24 años y los jóvenes de 13 a 24 años presentaron una puntuación de 3.4, esta puntuación los coloca con una actitud indecisa, la diferencia en la puntuación es mínima, pero de acuerdo con el planteamiento presentado en el capítulo de

metodología, esta puntuación se encuentra entre el umbral de la indecisión y lo positivo, el cual se puede denominar como indecisión positiva.

Otro resultado importante, es que en este estrato; el comportamiento de cada sub-elemento en las dimensiones afectiva y conativa existe homogeneidad en las habitantes con relación a lo que sienten y la conducta hacia la parte ambiental, también en la parte cognitiva existe variación en los niveles de conocimiento y creencias en donde sería importante homogenizar.

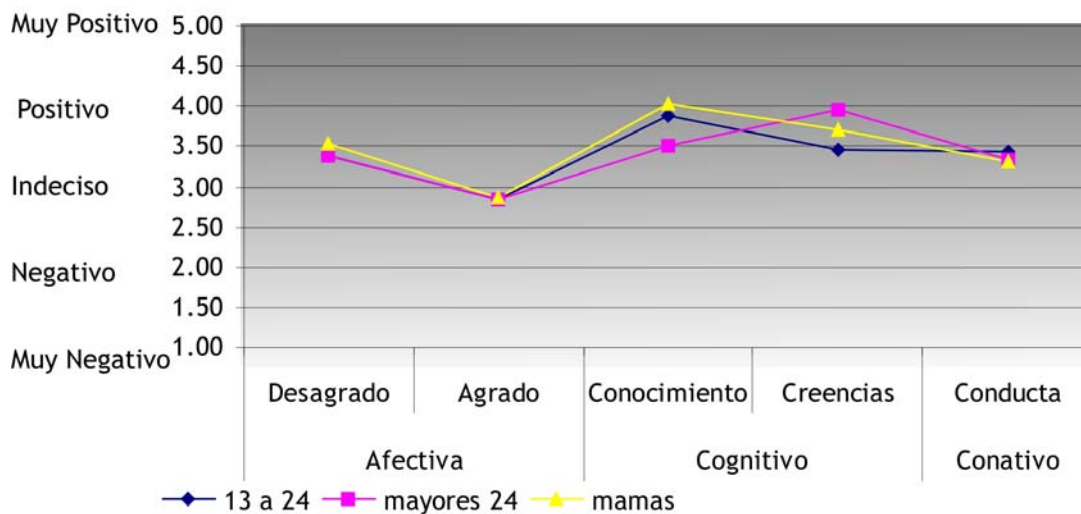


Figura 44 Actitudes ambientales de los habitantes del estrato medio

En la figura 45 se presentan los resultados del estrato alto, el comportamiento de los habitantes de este estrato, es diferente a los dos anteriores; las amas de casa, adultos mayores de 24 años y jóvenes de 13 a 24 años obtuvieron una puntuación de 3.6, 3.5 y 3.5 respectivamente, esta puntuación muestra una actitud positiva en todo el estrato, aumentado un poco más en las amas de casa.

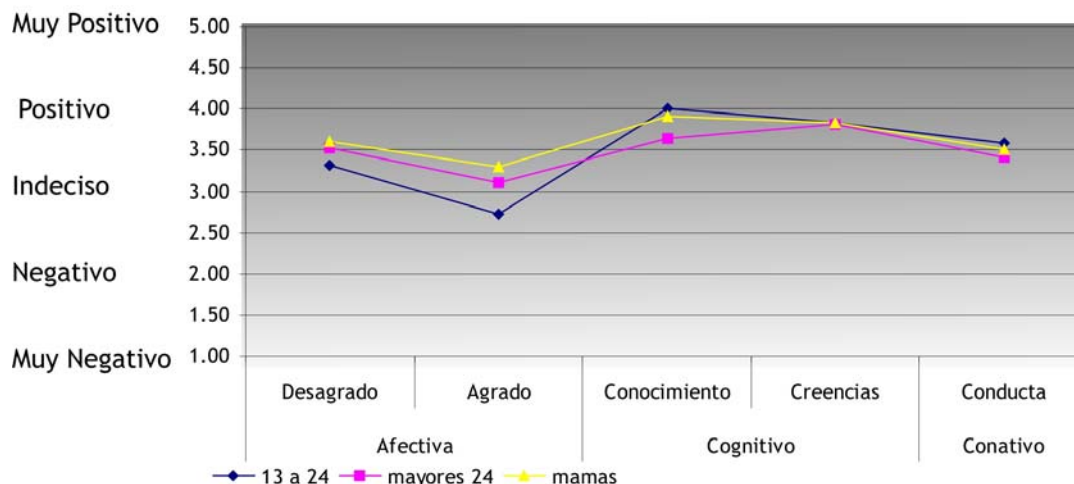


Figura 45 Actitudes ambientales de los habitantes del estrato alto

Al analizar el promedio de cada uno de los sub-elementos de la actitud; en este estrato se observa que en la dimensión afectiva, la puntuación más alta corresponde a la indecisión, las otras dimensiones de la actitud pertenecen al rango que representa lo actitud positiva. (Figura 46)

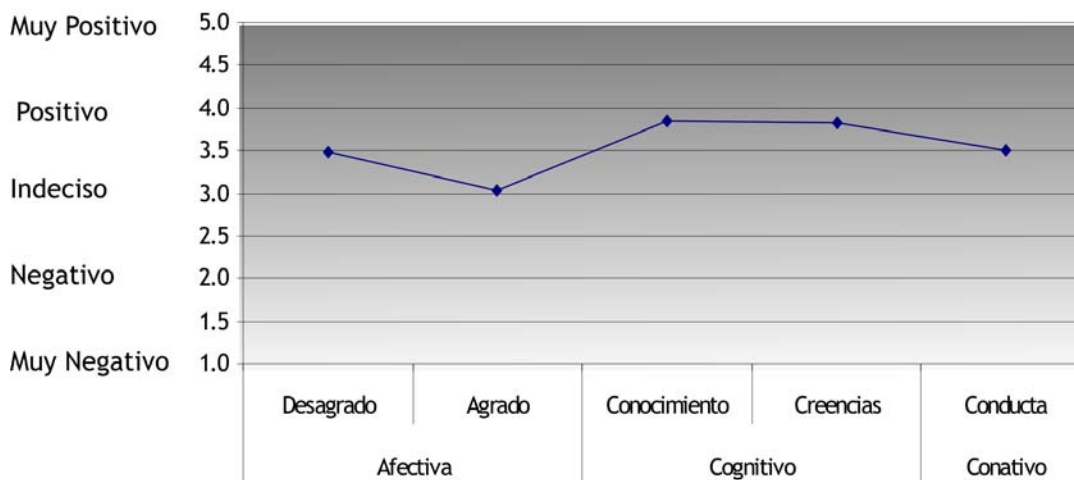


Figura 46 Actitudes ambientales de todos los miembros de las familias

Los resultados presentados muestran el comportamiento general de los datos, los cuales nos permiten diseñar un sistema difuso que ayude a facilitar el análisis.

4.3 Aplicación de las herramientas difusas para determinar actitudes ambientales de los generadores de residuos

Una de las ventajas de utilizar la lógica difusa es la facilidad de analizar o cruzar información que probablemente con la estadística descriptiva sería complicado ya que este análisis es muy básico, pero fundamental en todo estudio. Aunque hay tendencia a generalizar a toda la población las primeras conclusiones obtenidas tras un análisis descriptivo, su poder inferencial es mínimo y debería evitarse tal proceder. Para esta parte se utilizaron las herramientas de Matlab® ya que cuenta con un poderoso instrumento de modelación de Sistemas Difusos: la Caja de Herramientas de Lógica Difusa. Es una colección de funciones construidas en un ambiente numérico computacional que provee herramientas para crear y editar Sistemas Difusos de Inferencia. Esta caja tiene una interfaz gráfica que facilita visualizar el sistema, permitiendo además, trabajar desde la línea de comandos dependiendo de la preferencia del usuario.

4.3.1 Evaluación de los datos cuantitativos con lógica difusa

Para esta etapa se diseñó un sistema el cual proporciona una estimación de la generación de envases considerando las variables de entrada (x) mencionadas anteriormente. En la Figura 47 se presenta la estructura básica de la propuesta generada, para obtener la generación de envases por tipo de material, basándonos en las características familiares

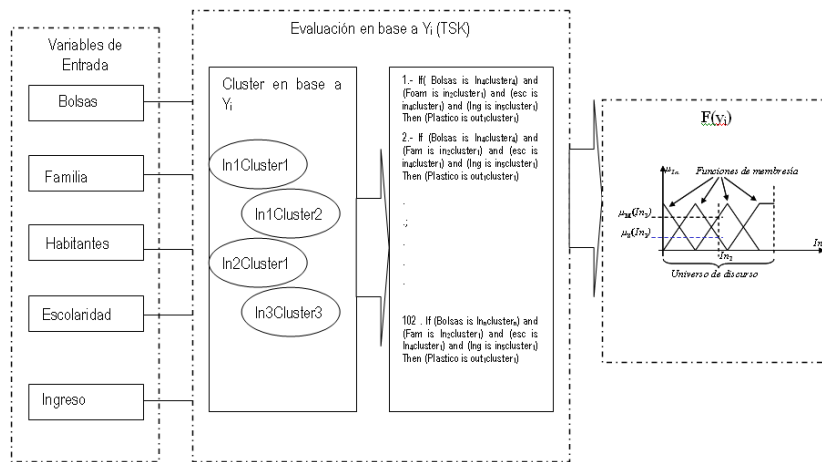


Figura 47 Estructura básica del sistema basado en reglas difusas aplicando TSK para determinar perfiles de generación de envases

En la Figura 48 se presenta gráficamente, la estructura básica utilizando la herramienta que proporciona el matlab®.

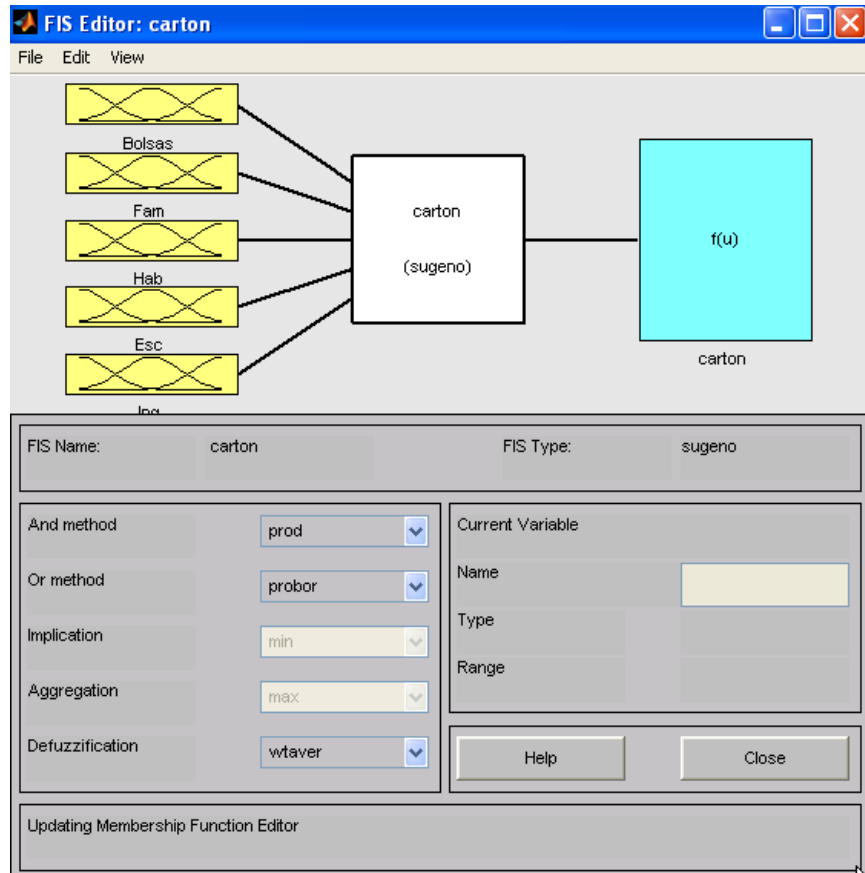


Figura 48 Interfas grafica de Matlab®.

Los resultados muestran el comportamiento de las salidas con cada una de las variables de entrada por peso y cantidad de envases, considerando solo los datos de entrada de la matriz. Al evaluar estas variables se obtuvo el RMSE aceptable en cada una de las diferentes salidas que fueron evaluadas. En la tabla 19 se presentan los valores obtenidos con la evaluación del sistema, así como el promedio de los errores cuadrados. Al ver estos valores se puede observar que son aceptables, y muy semejantes a los reales.

Tabla 19. Evaluación de los errores del sistema

| Variables | Plástico | cartón | vidrio | metales |
|-----------|----------|--------|--------|---------|
| Rmse | 2.43 | 1.35 | 1.17 | 1.80 |
| Mse | 5.93 | 1.82 | 1.37 | 3.23 |

En la figura 49 se observa el comportamiento de la generación de los envases de plástico, cartón, vidrio y metales de las viviendas, tomando como variable la escolaridad de los jefes de cada familia. En esta gráfica se observa que los envases de plástico, metal y vidrio se generan con mayor frecuencia en las viviendas que tienen mayor escolaridad a partir del nivel medio superior. En cambio el cartón, de acuerdo a los resultados, es un envase que se utiliza más por los habitantes con escolaridad más baja.

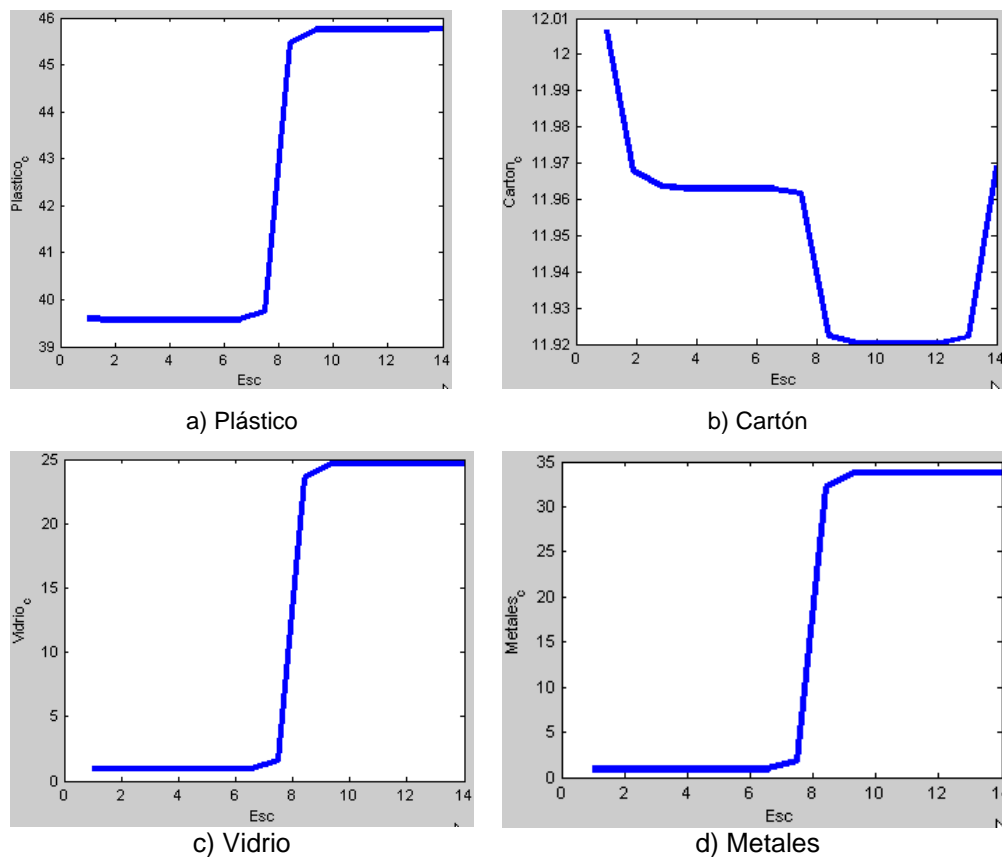


Figura 49 Evaluación de la generación de envases por escolaridad y tipo de material

Al agregar otra variable al análisis, se observan cambios en la generación de envases. En la figura 50 se observa el comportamiento de la generación de envases incluyendo la variable ingreso. Al generar esta evaluación se observa una similitud en cuanto al comportamiento del plástico y cartón, así como del vidrio y metal, pero no en la cantidad de envases generados. Esto nos indica que al combinar correctamente

las variables de una familia, se obtiene una aproximación más acertada de la generación de envases por familia.

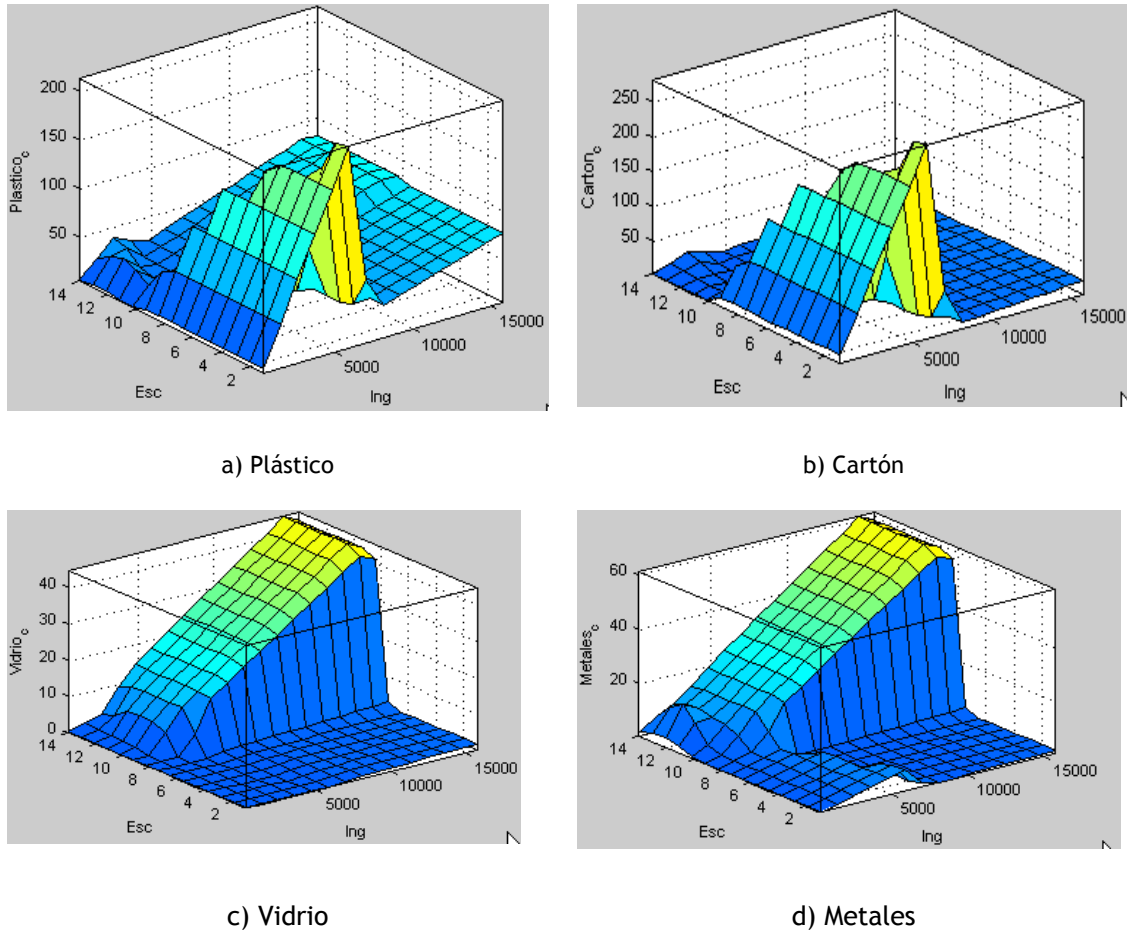


Figura 50 Generación de envases por tipo de material Vs escolaridad e Ingreso

Los resultados de evaluar el peso de los envases de plástico y la variable ingreso muestran que el comportamiento es diferente al observado en el análisis realizado con las frecuencias de los envases. Ya que para evaluar los pesos es necesario considerar otros factores o variables de las familias, como el ingreso, frecuencia de compra, presentación de los productos, entre otras.

Al analizar la generación de envases en el estrato alto se encontró que en su mayoría, las familias de este estrato socioeconómico realizan sus compras adquiriendo los productos en presentaciones grandes (2 lts, 5 kl, etc); por lo tanto la generación es

más alta, pero la frecuencia con la que se desechan estos envases, es en un periodo más largo. En cambio en el estrato bajo, sucede lo contrario, los productos que consumen son en envases con presentaciones más pequeñas. Por lo tanto generan mayor cantidad de estos artículos y se encontró menor peso en la generación. Ver figura 51.

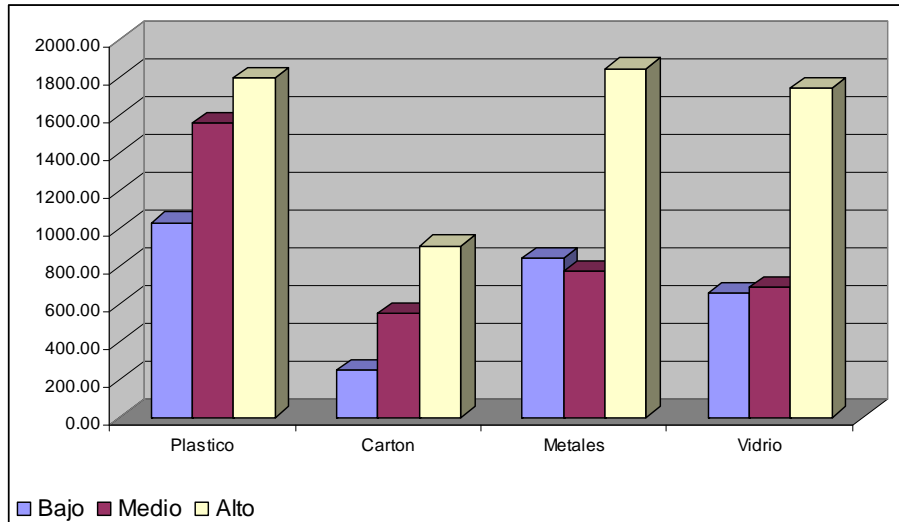


Figura51 Promedio de generación con respecto al peso de los envases

En la figura 52 se presentan los resultados de la evaluación realizada sobre la generación de los envases de plástico, cartón, vidrio, metales con dos variables de la estructura familiar: el número de habitantes y el ingreso.

En el inciso *a* de la figura 52, se muestran los resultados de la generación de los envases de plástico, tomando como variables de entrada el número de habitantes por vivienda y el ingreso; los resultados muestran que las familias de ingreso alto y con pocos integrantes generan una mayor cantidad de envases de plástico, en cambio las familias conformados por cuatro, cinco y seis integrantes con el mismo ingreso, mantienen un perfil de generación más homogéneo.

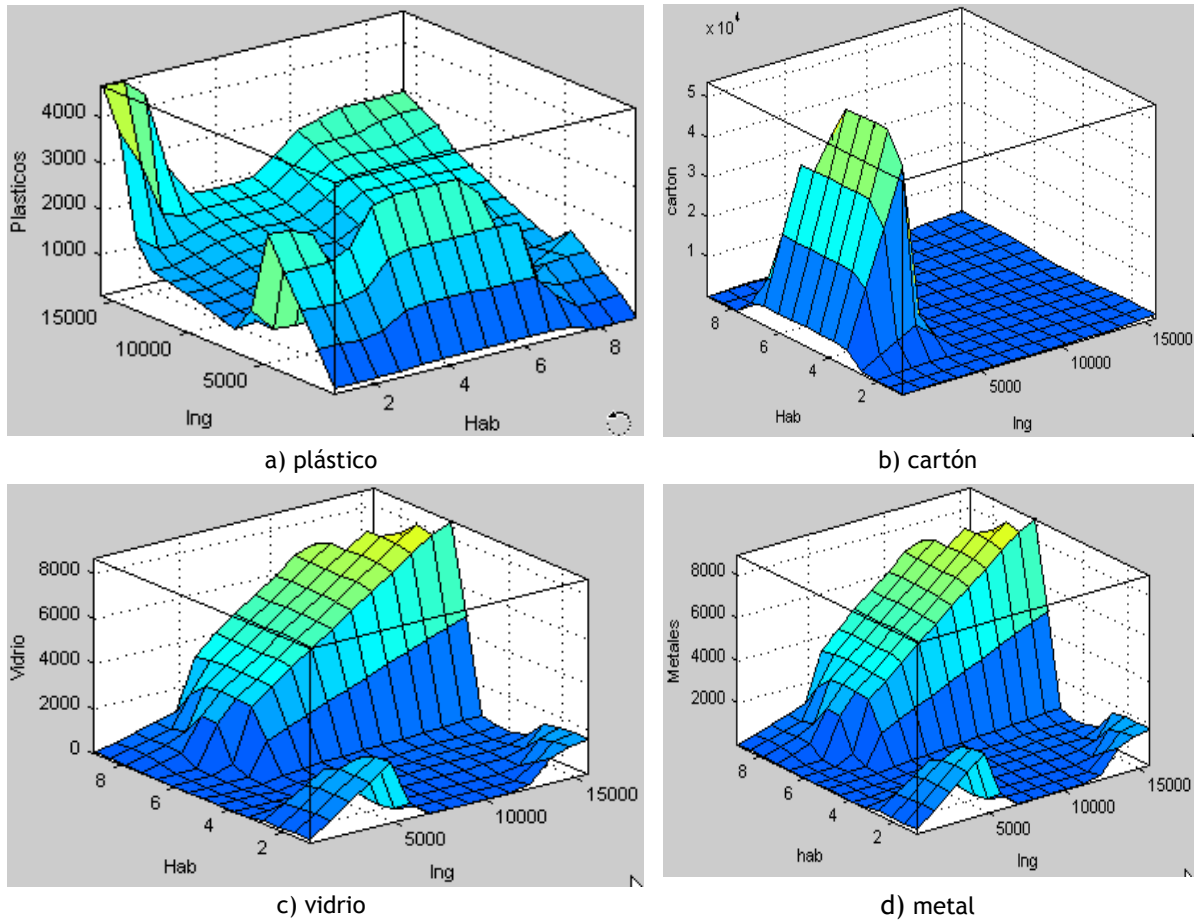


Figura 52 Generación de envases por tipo de material Vs. número de habitantes e ingreso

En el inciso b de la figura 52, se presenta la gráfica que muestra la generación de envases de cartón, ésta se concentra en las familias con menor ingreso, siendo el número de habitantes entre tres y siete. En los incisos c) y d) se presentan los resultados de analizar la generación de los envases de vidrio y metal, las gráficas muestran que en cuanto a peso, la generación de estos envases es muy similar.

En la figura 53 se presenta la evaluación del plástico con dos variables de tipo familiar, el número de habitantes y el tipo de familia. Los resultados muestran que las familias extendidas generan una gran cantidad envases de plásticos.

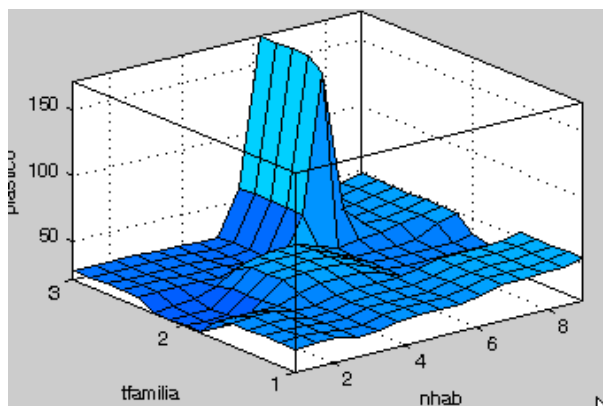


Figura 53 Generación de plástico considerando tipo de familia y número de habitantes

Una de las ventajas de este sistema son las consultas específicas que se pueden realizar y el tipo de resultados que pueden generar al usuario. En la se tabla 20 presenta una corrida del sistema desde el editor (o consola) donde se muestran de entrada que coloca el usuario, y la de envases dependiendo esos parámetros de entrada.

Tabla 20 Ejecución del sistema

| Evaluación del peso | Evaluación de la cantidad |
|--|---|
| <pre>>> fis =readfis('carton') fis = name: 'carton' type: 'sugeno' andMethod: 'prod' orMethod: 'probor' defuzzMethod: 'wtaver' impMethod: 'prod' aggMethod: 'sum' input: [1x5 struct] output: [1x1 struct] rule: [1x95 struct] >> out=evalfis([3 2 3 3 611.9],fis) out = 165.7488</pre> | <pre>>> fis =readfis('carton_c') fis = name: 'carton_C' type: 'sugeno' andMethod: 'prod' orMethod: 'probor' defuzzMethod: 'wtaver' impMethod: 'prod' aggMethod: 'sum' input: [1x5 struct] output: [1x1 struct] rule: [1x102 struct] >> out=evalfis([3 2 3 3 611.9],fis) out = 4.9556</pre> |

En esta tabla se puede obtener la generación del cartón en cuanto al peso y cantidad de los envases de este material, los parámetros de entrada son: desecho tres bolsas de basura en una semana, es una familia monoparental, con tres habitantes de escolaridad básica, y un ingreso considerado como bajo, la generación de envases de este tipo de vivienda es de cinco artículos con un peso de 165.7 gr. de cartón por semana.

4.3.2 Evaluación de los datos cualitativos con lógica difusa

Al analizar los datos cualitativos con lógica difusa se pudieron obtener resultados interesantes sobre el comportamiento de la población participante. En la figuras 54, 55 y 56 se presentan datos generales sobre el comportamiento de la información que se encuentran almacenados en la bases de datos. Esta información nos da una idea de cómo se comportan las tres dimensiones de las actitudes de cada persona. Vemos las tendencias que tiene la población en cada uno de las dimensiones.

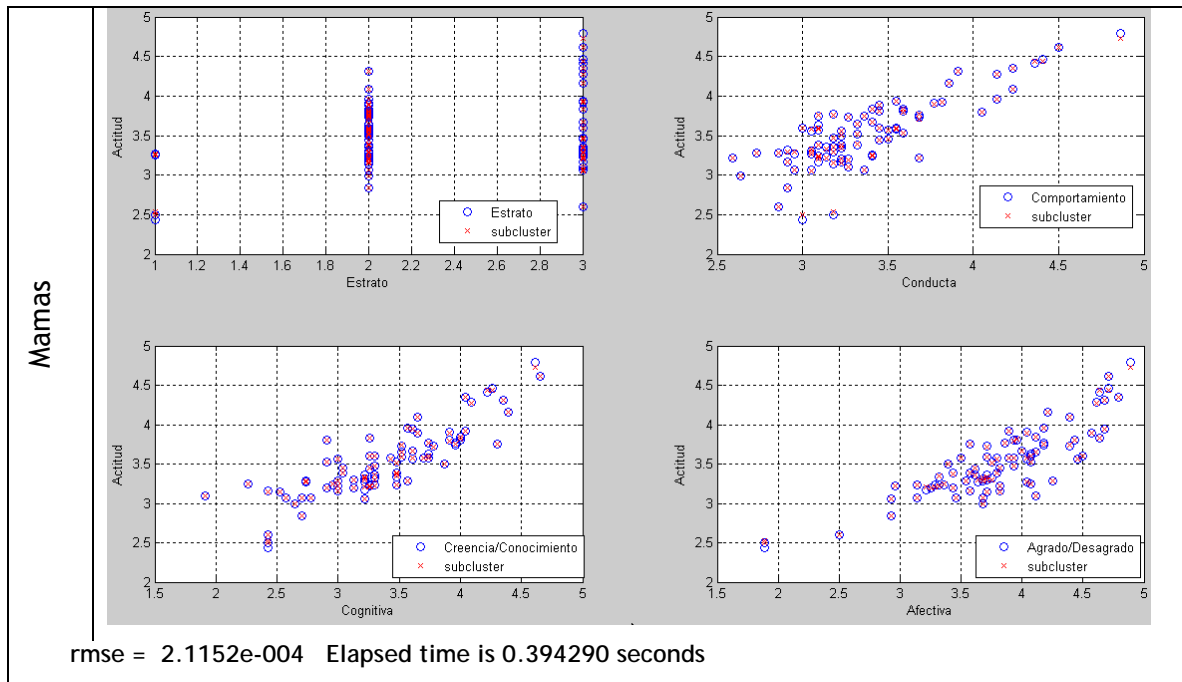


Figura 54 Evaluación de las actitudes ambientales de las amas de casa

En la figura 54 se observa, como en su mayoría, las amas de casa demostraron tener una actitud de indecisión en las dimensiones conativa y cognitiva; sin embargo en la parte afectiva la mayoría de ellas presenta una actitud positiva.

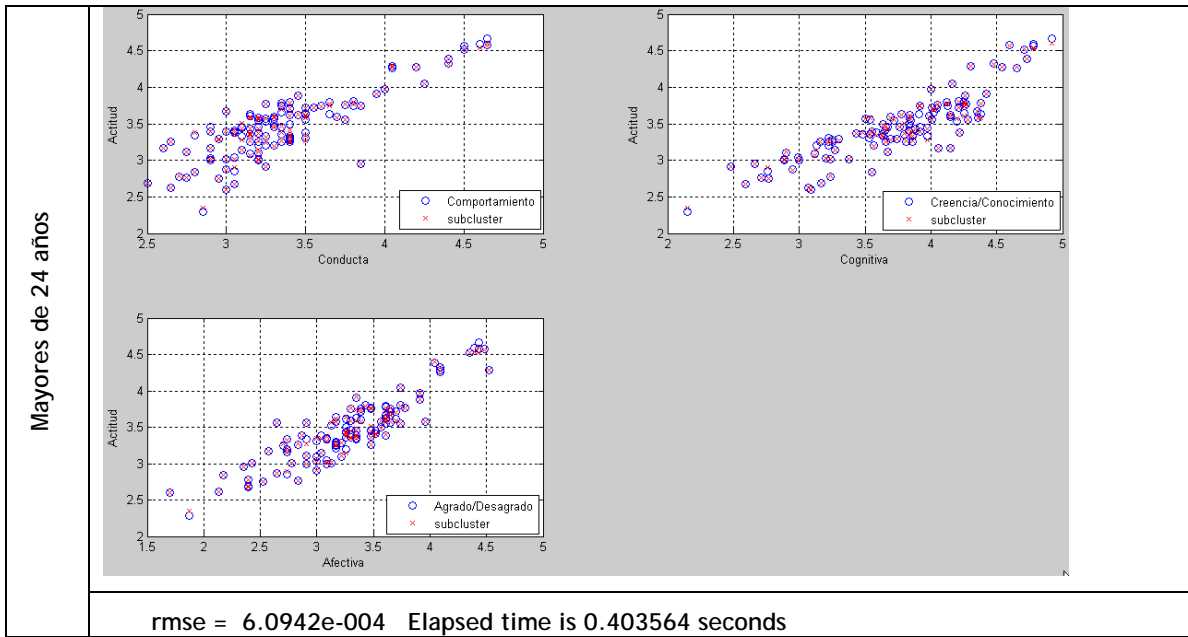


Figura 55 Evaluación de las actitudes ambientales de los mayores de 24 años

En la figura 55 se observa un comportamiento similar con las amas de casa en la dimensión conativa, en la que los mayores de 24 años en su mayoría también se ubican en la indecisión. Pero en la parte cognitiva en donde se miden las creencias y el conocimiento, reflejan una actitud positiva la mayoría de los encuestados.

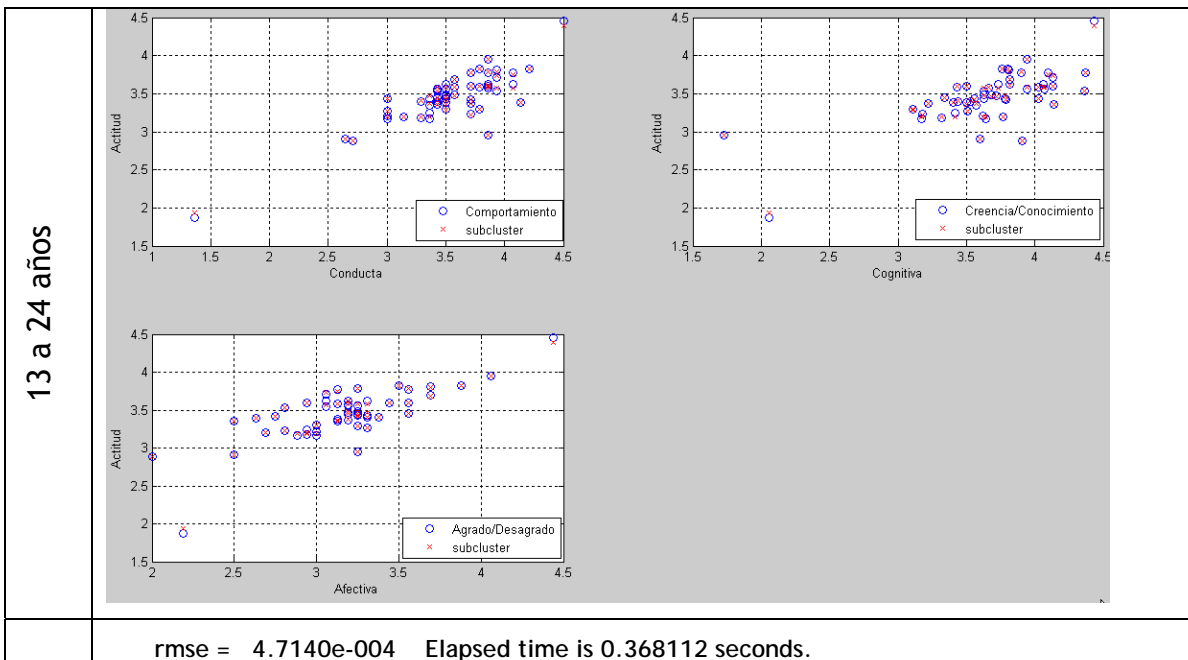


Figura 56 Evaluación de las actitudes ambientales de los jóvenes de 13 a 24 años.

En la figura 56 se observa como en esta edad, los resultados muestra una actitud positiva o indeciso, lo cual permitiría trabajar un poco más en sus educación ambiental para promover un comportamiento de protección al ambiente a través del manejo sustentable de los residuos que generan.

Capítulo 5: Discusión

El problema que se abordó en este trabajo es complejo, porque en la generación de envases como parte del flujo de los residuos domiciliarios se articulan formas específicas de vida, que finalmente influyen en la cantidad y composición de los envases generados, aunado a estas características se agregaron variables cualitativas como el comportamiento del generador.

Es así que al estudiar los residuos sólidos municipales, se debe tomar en cuenta que se maneja un problema complejo y con alto grado de incertidumbre, ambigüedad, así como la ausencia de información para analizar la problemática y proponer alternativas de gestión. Por lo que los sistemas difusos son una alternativa para analizar esta problemática tal y como lo hicieron Chang, et al (1997), Chang y Wang, (1997), Huang G.H., et al (1995).

Con relación a la problemática de la generación de envases, el patrón de incertidumbre también está presente, pues al seleccionar el tamaño de muestra de las viviendas, los investigadores se enfrentan al problema de obtener todos los datos de las viviendas, porque en la etapa empírica, al recolectar las muestras, es difícil que todas las viviendas seleccionadas entreguen el total de muestras requeridas, aunado a ello se encuentra el hecho de que al almacenar la información en las bases de datos de estos estudios, en general resultan incompletas, para solucionar este problema se aplicó la lógica difusa, como lo hicieron Chen y Chang (2000).

También es necesario tomar en cuenta que para determinar la composición de los envases que se generan y desechan, se debe considerar que las variables a analizar, se caracterizan por cambiar constantemente, lo cual lo hace incierto y complejo. Es decir, la composición es dinámica ya que la generación de envases cambia; salen al mercado nuevas presentaciones de envases así como otros materiales, también influye la estructura de la familia, la cual se modifica por la llegada o la salida de algún miembro de la familia, la cual puede aumentar el número de integrantes que la componen al nacer un nuevo miembro, o disminuir al casarse o morir uno de los integrantes; también puede cambiar por divorcio de los padres.

Otro elemento que también influye en la dinámica de la familia, es que con el paso del tiempo los integrantes van modificando sus necesidades y con ello los hábitos de consumo, en este sentido también influye la cultura del consumo, pues tal y como lo analizó Elizalde (2003), el consumismo está asociado al sistema básico de necesidades en el que los miembros de la familia están involucrados.

La otra variable incluida fue el ingreso de la familia, el cual tiene un comportamiento similar, ya que éste puede incrementarse al mejorar el salario de uno de los integrantes o incorporarse a trabajar alguno de ellos; o disminuir por la salida de un miembro de la familia o la pérdida del trabajo. Lo mismo sucede con la escolaridad, ésta varía con el tiempo y puede quedar inconcluso algún nivel o bien concluido. En este sentido fue necesario usar las funciones de membresía para asignar un valor y desarrollar herramientas difusas como lo hicieron Karavezyris, et al (2002) y Chang, et al (2008).

Durante el procesamiento de la información se encontró que las bases de datos utilizadas, contenían un gran número de redundancias entre sus variables, así como falta de información en algunos de sus campos, lo cual con la estadística clásica generaba información con un alto grado de incertidumbre por la ausencia de los datos o por ser pocos. Entonces para lograr obtener resultados confiables era necesario un manejo efectivo de esta problemática y establecer una predicción con exactitud a pesar de la falta de información que se pudiera presentar coincidiendo con Chen y Chang (2000), en la aplicación de las herramientas difusas.

Una de las metas de las herramientas de la búsqueda del conocimiento en bases de datos, es identificar los patrones de conducta de los datos para inferir conocimiento y predecir situaciones (Pei-Chan and Chen-Hao, 2008). En el caso que nos ocupa en esta investigación fue predecir perfiles de generación de envases por familia, combinando variables cualitativas y cuantitativas.

Los resultados de la investigación muestran que el tipo de envases que predominó durante el muestreo fue el de plástico con el 49.62% de los artículos muestreados, seguido del cartón con 16.10% y por último el metal y el vidrio con el 11.19 y 5.86%, con estos resultados coinciden Buenrostro (2001) y Grodzinka-Jurczak (2004) quienes también encontraron que los productos de plástico eran los que más se

generaban. Grodzinka-Jurczak lo asoció al aumento del uso de envases. También coinciden con el estudio de Escamirosa, et al (2001) en donde encontraron un comportamiento similar en los envases generados.

La cantidad de productos muestreados durante la semana en las 123 viviendas fue de 9,741 diferente envases y empaques que equivalen a 527.132 Kg en peso, se encontró que de los residuos generados en las viviendas en su mayoría son envases, esto implica que el consumo de productos envasados es una práctica común en esta comunidad, estas evidencian la situación de consumo en las familias y coinciden con lo expuesto por Assael (1998), McHarry, (1994) y Roozen & De Pelsmacker (2000). Este análisis reafirma los datos que presenta el Instituto Nacional de Ecología (2005), en el que explica que la basura que se genera en su mayoría está formada por envase y empaques, tal situación muy semejante al comportamiento de los residuos de los países desarrollados, y promueve la búsqueda de alternativas como lo presentan Hanssen, et al (2003).

Al dividir estos envases por categoría de uso se encontró que la categoría de alimentos es la que presenta mayor cantidad de envases generados, seguida por los envases de bebidas y por los artículos de limpieza. Esto refleja que los envases desechados están fuertemente relacionados con el sistema básico de necesidades, (Assael, 1998 y Elizalde, 2003), y con la cultura de lo desechable como lo señala Ojeda (2005), quien afirma que la generación de empaques y envases está ligada al consumismo que tiene relación directa con el sistema básico de necesidades.

En el análisis por estrato socioeconómico se encontró que el estrato alto es el que tiene la generación más alta pues genera 677.33gr de envases/persona/día, seguida del estrato medio con una generación de 356.47 envases /persona /día y la menor generación fue la del estrato bajo 250.24 gr envases/persona/día. Con relación a la generación y el estrato económico, Schiffman-Kanuk (2005) encontró que una familia con recursos económicos tiene la posibilidad de no solo satisfacer sus necesidades básicas, también puede satisfacer otro tipo de necesidades, por lo que tienden a generar más residuos. Es así que las familias del estrato alto son consumistas y participan de la cultura de lo desechable generando mayor cantidad de

envases y empaques, asociando la conducta del consumidor con el ingreso (Gawanda et al, 2001).

El rol que juega la familia también influye en la composición y volumen de envases generados, los hallazgos en este trabajo coinciden con esta afirmación, ya que al analizar la generación de envases tomando como variables el tipo de familia (monoparental, extendida y nuclear) y estrato socioeconómico, se encontró que la generación y composición de residuos variaba en función de las características de la composición de la familia, estos resultados muestran evidencias de que lo encontrado por Assael (1998), se manifiesta en esta comunidad, quien afirma que la frecuencia de compra se determina por los roles que juegan los miembros que integran la familia y los califica en roles instrumentales y expresivos.

Los resultados del comportamiento del estrato bajo, reflejan que la generación de envases esta relacionada con la cantidad de personas que viven en la vivienda.

Además de la generación de envases por tipo de familia, en el estrato medio fue necesario agregar la variable de escolaridad para el análisis, porque para este estrato no fue tan fácil encontrar los patrones del comportamiento. Esto coincide con lo que aporta Schiffman-Kanuk(2005), quien señala que para analizar este estrato es necesario agregar variables como son el ingreso, escolaridad y/u ocupación. Con esto se encontró que la generación es directamente proporcional a la escolaridad de los padres, ya que a mayor grado de estudio será mayor la cantidad de residuos que genere. Este resultado coincide con Schiffman-Kanuk(2005) donde señala que la escolaridad que poseen los miembros de una familia es un indicador que se encuentra muy relacionado con el ingreso y por lo tanto con el nivel de consumo que se tiene en la vivienda.

En cambio en los resultados del análisis de la generación de envases en el estrato alto, no influyó ni el número de habitantes ni la escolaridad. Porque como explica Assael (1998), el consumo está relacionado con condiciones temporales o escenarios que tienen lugar dependiendo el entorno en el que se vive.

Conclusiones

Las herramientas difusas aplicadas en esta tesis, son adecuadas para el tipo de problema que se abordó, en el que estaban presentes situaciones de incertidumbre por la falta de información, en las bases de datos que se había almacenado la información; así como por la combinación de variables cualitativas y cuantitativas que se estuvieron analizando, las herramientas aplicadas permitieron inferir conocimiento de las bases de datos.

En el contexto descrito, las herramientas de los sistemas expertos, como la lógica difusa, proporciona elementos para generar predicciones con respecto a los cambios que sufren las variables que estén asociados al problema de investigación.

Una de las metas de las herramientas de la búsqueda del conocimiento de las bases de datos, es identificar los patrones de conducta de los datos para inferir conocimiento y predecir situaciones, como en el caso analizado en esta investigación, en el cual era necesario predecir perfiles de generación de envases por familia, combinando variables cualitativas y cuantitativas.

Las variables difusas que se analizaron en este trabajo fueron la composición de los envases, la estructura familiar, el ingreso y la escolaridad, son variables que pueden ser tratadas con estas herramientas porque o son cualitativas o son variables que requieren de otro tipo de tratamiento que con la estadística clásica y la no paramétrica no se pueden analizar y obtener conocimiento.

Las redundancias que tenían las bases de datos y la falta de información en algunos registros y campos fueron explotadas con las herramientas difusas para eliminar las imprecisiones y obtener información que se pudiera incorporar al sistema para inferir conocimiento de las bases de datos utilizadas.

La generación y composición de los residuos sólidos domiciliarios, tiene una fuerte relación con los niveles y patrones de consumo de una población, los resultados encontrados en este trabajo muestran que existe una correlación directa entre la composición de los envases generados del flujo de residuos domiciliarios y las características que identifican a una familia. En este sentido Schiffman y Kanuk (2005) señalan que la familia puede ser analizada como una variable con cambios

constantes, porque la ausencia o la presencia de un nuevo miembro impacta en el comportamiento de la familia, otro factor que determina los cambios en la estructura familiar es la edad de los miembros, por que de acuerdo a la edad de los miembros las necesidades básicas y no básicas van modificándose.

Los perfiles de generación de envases de las familias estudiadas, reflejan prácticas consumistas por que tal y como lo señala Ojeda, (2005) su sistema básico de necesidades está ligado a estas prácticas de consumo.

Conocer la cantidad y composición de los envases que genera una familia es importante, para darle el valor que realmente posee un residuo de envase y establecer políticas para el manejo y aprovechamiento de estos residuos en los municipios de México, porque como señalan McDougall, et al (2004) el desconocimiento del tipo de envases que se generan le quita valor al residuo.

Con las herramientas difusas se evaluaron diversas situaciones y escenarios que pueden ocurrir en el núcleo familiar, por ello es importante contar con una herramienta como la que se desarrolló para ante cualquier cambio que exista, tanto físico, como intelectual pueda ser evaluada e incluso pueda predecir cambios que ocurran en un futuro con la familia.

Al aplicar lo lógica difusa para determinar los perfiles de generación, de envases se desarrollo un sistema que procesa simultáneamente datos cuantitativos, como la generación de los envases y cualitativos como lo son la estructura y tipología familiar, disminuyendo la imprecisión que se obtiene con la estadística básica.

Con relación a las variables cualitativas analizadas con la herramienta, los resultados muestran evidencia que existe discrepancia entre la dimensión afectiva de la actitud y la dimensión conductual. Con este trabajo se puede comprobar lo dicho por Fernández (2003), Rovira (2000) y Rickinson (2001) en donde señalan que la practica ambiental no esta unida a la conciencia ambiental. Por mas conocimiento que se tenga, la generación de envases no esta relacionado con ese conocimiento.

Las evidencias que se presentan en este trabajo muestran que con las herramientas aplicadas, los resultados son presentados con mayor exactitud a diferencia de los encontrados por Fernández (2003) quien afirma que en la medición

de actitudes los resultados no son exactos porque no evalúan en forma detallada, obteniendo sólo tendencias.

Con relación a las variables cualitativas analizadas con la herramienta, los resultados muestran evidencia que existe discrepancia entre la dimensión afectiva de la actitud y la dimensión conductual. Los resultados de esta investigación coinciden con Fernández (2003), Rovira (2000) y Rickinson (2001) quienes señalan que la practica ambiental no esta unida a la conciencia ambiental. Por mas conocimiento que se tenga, la generación de envases no esta relacionado con ese conocimiento.

El aplicar la lógica difusa en el área de residuos sólidos domiciliarios resulta un avance en la forma de analizar el problema, ya que esta herramienta tiene la ventaja de incorporar el lenguaje común al diseño de sistemas difusos, esta característica se toma en cuenta a la hora de incluir el conocimiento empírico de la población estudiada.

De igual forma permite la evaluación con base a dos escenarios planteados por el experto, el primero es el de la generación de envases basándose en las características de las viviendas, y el segundo escenario es la evaluación de la generación de envases basado en las actitudes de los habitantes de las viviendas. Teniendo la posibilidad de obtener respuesta de parte del sistema, y así evaluar los cambios que se generan. Este tipo de análisis seria complicado realizarlo sólo con estadística básica, ya que no permitiría un análisis tan detallado de los datos que expliquen la generación y las actitudes ambientales de los habitantes.

El sistema que se desarrolló, puede ser de gran ayuda para los expertos en el área de residuos sólidos, que deseen conocer la composición y caracterización de los envases con las dos categorías involucradas.

Los tipos de envases que se encontraron con mayor frecuencia, fueron el plástico, cartón, metal y vidrio, ya que fueron los materiales que presentaron mayor volumen y peso en su generación. Al analizar esta generación de envases se encontró que en su mayoría esta compuesta por envases y empaques de alimentos, bebidas y artículos de limpieza, estas tres categorías fueron las que se presentaron con mayor frecuencia. Al dividir por estrato socioeconómico, la generación de envases por día presentó que el estrato alto era el mayor generador de envases, seguido por el

estrato medio y por último el bajo. Dentro de este análisis se dividieron los estratos por tipo de familia, en este análisis se encontró que las familias del estrato bajo y alto tienen un comportamiento similar, ya que en la generación de las familias monoparentales se encontró mayor cantidad y peso en generación de envases, seguida por las familias nucleares y extendidas. En el estrato medio, se observaron diferencias en comportamiento de los envases, ya que la familia con mayor generación fue la nuclear seguida de la familia monoparentales y por ultimo las familias extendidas.

Referencias Bibliográficas

- Adegoke A.A. Y Okunowo O. Artificial Intelligence-Expert Systems for Environmental and Energy applications: The study of waste products for further Re-cycling into finished products. *Environmental Informatics Archives*. 2004: 2: 722-730.
- Al-Jarrah O. y Abu-Qdais H. Municipal solid waste landfill siting using intelligent system. *Waste Management*. 2006: 26; 200-306.
- Aragonés J.I, Américo M.. *Psicología Ambiental*, Ediciones pirámide, 2000
- Atho R.SH. Aboho S.Y., Oketunde F.O. Eneji I.S. Unazi G. y Agwa S. Survey of solid waste generation and composition in a rapidly growing urban area in Central Nigeria. *Waste Management* 2007: 27; 352-358.,
- Bandara, N.J, Hettiaratchim J.P, Wirasinghe, S,C, and Pilapiiya S. Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study *Environmental Monitoring and Assessment* 2007:135,1-3: 31-39
- Barr S. y Gilg A. A conceptual framework for understanding and analyzing attitudes towards environmental behaviour. *Journal of Environmental Education*. 2007: 361-379.
- Bernache G. (2007) *Los estudios de Basura en México. Una prospectiva*. En Encuentro de expertos en residuos sólidos en Mexico. ISBN
- Borden, R.J., y Schettino, A.P. (1979). Determinants of environmentally responsible behavior. *Journal of Environmental Education*. 10, 35-39.
- Bovea M.D. y Powell J.C. Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management. *Journal of Environmental Management* 79 (2006) 115-132.
- Buenrostro O., Bocco G.& Cram S. Classification of sources of municipal solid wastes in developing countries *Resources, Conservation and Recycling, Volume 32, Issue 1, May 2001, Pages 29-41*
- Buenrostro, O. e Israde I. 2003 *La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México.*” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 19 (4) 161-169.
- Blum, A. (1987). Student's knowledge and beliefs concerning environmental issues in four countries. *Journal of Environmental Education*, 18, 7-13.

- Burnley S.T A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. Waste Management. 2007: 27; 1274-1285
- Cary, J. (1993). The nature of symbolic beliefs and environmental behavior in a rural setting. Environment & Behavior, 25, 555-576
- Corral-Verdugo V. Dual 'realities' of conservation behavior: self-reports vs observations of re-use and recycling behavior. Journal of Environmental Psychology. 1997; 17(2) 135-145
- Corral-Verdugo V. Situational and personal determinants of waste control practices in northern Mexico: a study of reuse and recycling behaviors. Resources, Conservation and Recycling. Volume 39, Issue 3, October 2003, Pages 265-281
- Corral, V., Frias, M., Romero, M., y Muñoz, A. (1995). Validity of a scale of beliefs regarding the 'positive' effects of punishing children: A study of Mexican mothers. Child Abuse & Neglect, 19, 669-679
- Chang N. B., Chen Y.L. y Wang S.F A fuzzy interval multiobjective mixed integer programming approach for the optimal planning of solid waste management systems Fuzzy Sets and Systems. 1997: 89; 35-60
- Chang N. B, Parvathinathan G. y Breeden J.B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. Journal of Environmental Management. 2008: 87: 139-153.
- Chang N. B. y Wang S.F. A Fuzzy goal programming approach for the optimal planning of metropolitan solid waste management systems. European Journal of Operational Research. 1997; 99 303-321.
- Chang N-B. y Wei Y.I. Siting recycling drop-off stations in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. Fuzzy sets and systems. 2000: 114; 133-149.
- Chen H.W y Chang N. B Prediction analysis of solid waste generation based on grey Fuzzy dynamic modeling. Resources, Conservation and Recycling 2000: 29 1-18
- De Young, R. (1986). Some psychological aspects of recycling. The structure of conservation satisfactions. Environment & Behavior, 18, 435-449
- De Young, R. (1991). Some psychological aspects of living lightly: Desired lifestyle patterns and conservation behavior. Journal of Environmental Systems, 20, 215-227.
- Ebreo, A., y Vinning, J. (1994). Conservation-wise consumers: Recycling household shopping as ecological behavior. Journal of Environmental Systems, 23, 109-131.

- Erkut E., Karagiannidis, A., Perkoulidis G. & Tjandra S.A A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece European Journal of Operational Research, Volume 187, Issue 3, 2008, Pages 1402-1421
- Fernández M, R. Hueto A., Rodríguez L.M y Marcén A C.. ¿Qué miden las escalas de actitudes? Análisis de un ejemplo para conocer la actitud hacia los residuos urbanos. Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio ambiente. 2003; 2. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=221>
- Fonseca D.J., Richards E., Williamson D. y Moynihan G. A Knowledge-based system for the recycling of non-hazardous industrial residuals in civil engineering applications. Expert Systems, 2005; 22 (1): 1-11.
- Fraj A. y Martínez E. El consumo ecológico explicado a través de los valores y estilos de vida. Implicaciones en la estrategia medioambiental. Cuadernos de CC EE Y EE. 2004: 46; 35-54
- Fraj E. y Martínez E. Ecological consumer behaviour: An empirical analysis. International Journal of Consumer Studies. 2007: 31 (1) 26-33.
- Fraj-Andrés E. y Martínez-Salinas E. 2007 Impact of Environmental Knowledge on Ecological Consumer Behaviour: An Empirical Analysis Journal of International Consumer Marketing 2007; 19 (3) 73-102
- Gawande K., Berrens R. y Bohara A. A consumption-based theory of the environmental Kuznets curve. Ecological Economics. 2001: 37 101-112.
- Gomez G., Meneses M., Ballinas Lourdes & Castells F. Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico. Waste Management doi:10.1016/j.wasman.2007.10.023
- González C A., Otoniel Buenrostro Delgado², Liliana Márquez Benavides² y Juan M. Ortega Rodríguez Análisis espacial de la generación de residuos sólidos residenciales en Morelia, Michoacán. 2007. Encuentro de expertos en residuos sólidos
- Grodzińska-Jurczak M., Tarabula M. y Read A Increasing participation in rational municipal waste management - a case study analysis in Jaslo City (Poland). Resources Conservation & Recycling. 2003. 38: 67-88.
- Grodzińska-Jurczak M., Zakowaska H.y Read A. (2004) Management of Parking waste in Polan -development agenda and accession to the EU. Waste Management & Research 22: 212-223.

- Hanssen O.J., Olsen A., Møller H. y Rubach S. National indicators for material efficiency and waste minimization for the Norwegian packaging sector 1995-2001 *Resources, Conservation and Recycling*, 2003:38,(2)123-137
- Harder M.K., Woodard R. Bench M.L. Two measured parameters correlated to participation rates in curbside recycling schemes in the U.K. *Environmental Management* 2006: 37 (4): 487-495
- Hockett, D. F., Lober D. J. & Pigrim K. Determinants of percapita Municipal, Solid Waste Generation in the Southeaster Unites States. *Journal of Environmental Management*. 1995: 45; 205-217.
- Hornik J. Cherian J. Madansky M. y Narayana Ch. Determinats of recycling Behavior: A síntesis of research results. *The Journal of socio-Economics*. 1995: 24 (1): 105-127
- Huang G.H. Baetz B.W. Y Patry G.C. Grey fuzzy integer programming: An application to regional waste Management planning under uncertainty. *Socioeconomic Planning Sciences* 1995: 29 (1) 17-38.
- Huang Y. F., Baetz B.W., Huang G.H. y Liu L. Violation analysis for solid waste management systems; an interval Fuzzy programming approach. *Journal of environmental Management*. 2002: 66: 431-446.
- Israde, I., O. Buenrostro, y A. Carrillo 2005 “Geological characterization and environmental implications of the placement of Morelia dump, Michacan, central México.” *Journal of Air and Waste Management*. Vol. 55, Núm. 5, páginas 755-764
- Jenkins R.R., Martínez S.A., Palmer K., & Podolsky M.J. The determinants of household recycling: a material-specific analysis of recycling program features and unit pricing. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2003: 45;294-318.
- Karani P. y Jewasikiewitz S.M. Waste mAnagement and Sustainable Development in South Afric. *Environmental, Development and Sustainability*. 2007 9: 163-185.
- Karavezyris V., Timpe K-P, & Marzi R Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. *Mathematics and Computers in Simulation* 60 (2002) 149-158
- Lavee D. Is municipal Solid Waste Recycling economically efficient? *Environmental Management* 2007: 40:926-943.
- Li, Y.P., Huang G.H., Nie X.H. y Nie. S.L A two-stage fuzzy robust integer programming approach for capacity planning of environmental management systems *European Journal of Operational Research* 189 (2008) 399-420

- Linn, N., Vinning, J., y Feeley, P.A. (1994). Toward a sustainable society: Waste minimization through environmentally conscious consuming. *Journal of Applied Social Psychology*, 24, 1550-1572.
- Lozzi, L.A. (1989). What research says to the educator. Part one: Environmental education and the affective domain. *Journal of Environmental Education*, 20, 3-9.
- McDougall Forbes, White Meter, Franke Marina y Hindle Meter (2004) *Gestión integral de residuos sólidos: Inventario del ciclo de vida*. Procter & Gamble Industrial. Venezuela
- McGuire, W.J. (1986). The vicissitudes of attitudes and similar representational constructs in twentieth century psychology. *European Journal of Social Psychology*, 16, 89-130.
- Nasiri F. & Huang G. A fuzzy decision aid model for environmental performance assessment in waste recycling *Environmental Modelling & Software*, Volume 23, Issue 6, June 2008, 677-689
- Newhouse, N. (1990). Implications of attitude and behavior research for environmental conservation. *Journal of Environmental Education*, 22, 26-32
- Ojeda, Sara y José L. Beraud 2003 "The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal" en *Resources, conservation and recycling*, vol. 39, Elsevier, Northampton, Inglaterra, pp. 239-250.
- Ojha, C.S.P., Goyal M.K. and Kumar S. Applying Fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. *Environmental Monitoring and Assessment* 2007 135: 99-106
- Oskamp, S. (1977). *Attitudes and opinions*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Parfitt J.P. y Flowerdew R. Methodological problems in the generation of household waste statistics An analysis of the United Kingdom's National Household Waste Analysis Programme *Applied Geography*, 1997 17:, 3;. 231-244,
- Pham T.T. y Chen G. Some applications of fuzzy logic in rule-based expert systems. 2002: 19; 208-223.
- Phillis, Y.A. Kouikoglou, V.S.y Zhu, X. 2005 A fuzzy logic approach to the evaluation of material recyclability. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. Pp 454-458
- Salhofer S., Obersteiner G., Schneider F. y Lebersorger S. Potentials for the prevention of municipal solid waste *Waste Management*, Volume 28, Issue 2, 2008, Pages 245-259

- Sánchez Roa Adrian Ruben (2007) Industria del plástico en México y el mundo. Revista Énfasis Packaging. (4)
- Schan, J., y Holzer, E. (1990). Studies of individual environmental concern. The role of knowledge, gender, and background variables. *Environment & Behavior*, 22, 767-786.
- Simões C.F. Nunes, R.A. Xavier, L. E. Cardoso R. & Valle R. Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil Omega *The International Journal of Management Science*. 2008: 36 (3) 395-404.
- Schultz P.W, Oskamp S. y Mainier T. Who recycles and when? A review of personal and situational factors. *Journal of Environmental Psychology*. Volume 15, (2)1995, pp 105-121
- Tracey, A. y Oskamp, S. (1984). Relationships among ecologically responsible behaviors. *Journal of Environmental Systems*, 13, 115-126
- Tsiliyannis C. (2005) A new rate index for environmental monitoring of combined reuse/recycle packaging systems. *Waste Management Research* 23: 304-313.
- Tsiliyannis C. A flexible environmental reuse/recycle policy based on economic strength. *Waste Management* 27 (2007) 3-12
- Williams H., Wikstrom F. y Lofgren M. A life cycle perspective on environmental effects of customer focused packaging development. *Journal of cleaner production* 2008,16: 8533-859.
- Xi B.D., Qin X.S., Su X.K., Jiang Y.H., Wei Z.M. Characterizing effects of uncertainties in MSW composting process through a coupled fuzzy vertex and factorial-analysis approach. *Waste Management*
- Xiao Y., Bai X., Ouyang Z., Zheng H and Xing Z. The composition, trend and impact of urban solid waste in Beijing 2007 Volume 135, Numbers 1-3 / December, 2007 PP 21-30
- Yousuf T.B. y Rahman M Monitoring quantity and characteristics of municipal solid waste in Dhaka City. *Environmental Monitoring and Assessment* 2007: 135; (1-3) 3-11
- Zia H. & Devadas V. Urban solid waste management in Kanpur: Opportunities and perspectives *Habitat International* 2008 32: 58-73