

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



El Análisis de Ciclo de Vida y herramientas de Inteligencia Artificial en el manejo del teléfono celular

Tesis para obtener el grado de:

Doctora en Ingeniería

Presenta

Samantha Eugenia Cruz Sotelo

Directoras de Tesis

Dra. Sara Ojeda Benítez

Dra. MD Bovea Edo

Mexicali Baja California, 3 de junio de 2013.

Índice General

Pág.

Índice General	II
Índice de tablas	V
Índice de figuras.....	VII

Capítulo 1. Introducción

1

1.1 Antecedentes	4
1.2 Justificación	7
1.3 Planteamiento del problema	9
1.4 Objetivo General	11
1.5 Objetivos Específicos	11

Capítulo II. Marco Teórico

12

2.1 Los RAEE's y el medio ambiente	12
2.1.1 Ciclo de vida de un Aparato Eléctrico y Electrónico	14
2.1.2 Ecodiseño como herramienta de gestión ambiental de AEE's	17
2.1.3 Políticas medioambientales referentes a los RAEE's.....	18
2.1.4 Flujo de los materiales de los RAEE's.....	19
2.2 La telefonía móvil en la sociedad moderna y sus implicaciones	21
2.2.1 El mercado de la telefonía móvil a nivel mundial.....	28
2.2.2 Telefonía móvil en América Latina y México	33
2.3 Análisis del Ciclo de Vida: Una herramienta de evaluación ambiental	36
2.3.1 Descripción de la metodología ACV.....	39
2.3.2 Etapas del Análisis de Ciclo de Vida	40
2.4 Costo de ciclo de vida: una herramienta de evaluación económica	50
2.5 Herramientas de Inteligencia Artificial para el análisis de indicadores.....	54
2.5.1 Entrenamiento de datos y detección de patrones	54
2.5.2 Algoritmos de Agrupamiento (Clusterización)	58
2.5.3 Clusterización Sustractiva para el análisis de datos	59
2.5.4 Genfis2	61
2.5.5 Los sistemas difusos: herramienta para el manejo de la incertidumbre	62
2.5.6 Sistemas expertos y generación de nuevo conocimiento	65

Capítulo III. Metodología

67

3.1 Análisis y determinación de variables e indicadores	68
3.2 Determinación de Indicadores Ambientales	70
3.2.1 Caracterización de un teléfono celular promedio	71

3.2.2 Aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida.....	71
3.3 Determinación de Indicadores Sociales.....	75
3.3.1 Definición de la encuesta.....	75
3.3.2 Aplicación de las herramientas de IA.....	77
3.4 Determinación costos económicos.....	84

Capítulo IV. Resultados

85

4.1 Caracterización del teléfono celular	85
4.2 ACV - Indicadores ambientales	87
4.2.1 Definición de objetivos y alcance	87
4.2.2 Análisis de inventario.....	88
4.2.2.1 Adquisición/producción. Consideraciones y datos de entrada	88
4.2.2.2 Distribución. Consideraciones y datos de entrada	90
4.2.2.3 Uso: Consideraciones y datos de entrada	90
4.2.2.4 Retirada/Reciclaje. Consideraciones y datos de entrada	91
4.2.3 Evaluación de impactos	93
4.3 Indicadores sociales. Visión de los universitarios	97
4.3.2 Prácticas de Consumo.....	98
4.3.1 Hábitos de uso	104
4.3.3 Prácticas de Manejo.....	112
4.3.4 Conocimiento.....	121
4.4 Visión de reparadores de telefonía celular.....	128
4.4.1 Uso	128
4.4.2 Flujo de Reacondicionamiento	128
4.4.3 Flujo Reuso.....	130
4.4.4 Manejo	131
4.4.5 Nivel de Conocimiento.....	131
4.5 Visión de los centros de distribución de telefonía celular.....	132
4.5.1 Conocimiento.....	133
4.6 Costos económicos	136

Discusión

139

Conclusiones

144

Referencias

148

Anexo 1. Encuesta a Universitarios

156

Anexo 2. Encuesta a Centros de Reparación

158

Anexo 3. Encuesta a Centros de Distribución

159

Anexo 4. Registro de teléfonos celulares	160
Anexo 5. Materias primas-Procesos de fabricación de componentes (Baterías)	161
Anexo 6. Materias primas-Procesos de fabricación de componentes (PWB-PCI)	162
Anexo 7. Matrices de datos	164
Anexo 8. Programas	166

Índice de tablas

	Pág.
TABLA 2.1 CATEGORÍAS DE RAEE'S SEGÚN LA DIRECTIVA 2012/19/UE	20
TABLA 2.2 BENEFICIOS EN EL USO DE MATERIALES RECICLADOS	27
TABLA 2.3 AHORRO DE ENERGÍA A TRAVÉS DEL USO DE MATERIALES RECICLADOS (HIERRO/ACERO)	27
TABLA 2.4 DEFINICIÓN DE ENTRADAS AL ICV POR PROCESO	42
TABLA 2.5 EJEMPLOS DE BASES DE DATOS DE INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)	44
TABLA 2.6 CATEGORÍAS DE IMPACTO Y UNIDADES EN QUE SE EXPRESAN	47
TABLA 2.7 GASES QUE PRODUCEN EL EFECTO INVERNADERO	47
TABLA 2.8 ETAPAS Y COSTOS DEL CICLO DE VIDA	51
TABLA 3.1 GENERACIÓN BRUTA POR TECNOLOGÍAS	74
TABLA 3.2 CATEGORÍAS DE IMPACTO Y UNIDADES EN QUE SE EXPRESAN.....	74
TABLA 3.3 DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO PRÁCTICAS DE CONSUMO (PC)	77
TABLA 3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO HÁBITOS DE USO (U)	78
TABLA 3.5 DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO PERFIL-PRÁCTICAS DE MANEJO (PM).....	79
TABLA 3.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO NIVEL-CONOCIMIENTO (NC).....	79
TABLA 3.7 MATRIZ DE ENTRADA PARA PC.....	80
TABLA 3.8 MATRIZ DE ENTRADA PARA LA VARIABLE USO	81
TABLA 3.9 MATRIZ DE ENTRADA PARA LA VARIABLE PM.....	81
TABLA 3.10 MATRIZ DE ENTRADA PARA LA VARIABLE NIVEL DE CONOCIMIENTO.....	82
TABLA 3.11 DIMENSIÓN DE MATRICES.....	82
TABLA 4.1 COMPOSICIÓN DE UN TELÉFONO CELULAR.....	87
TABLA 4.2 PONDERACIÓN POR ETAPA DE ACV	88
TABLA 4.3 PIEZA METÁLICA ZAMAK	89
TABLA 4.4 MÓDULO APROXIMADO DE COMPOSICIÓN DE COMPONENTES	89
TABLA 4.5 ECV DE UN TELÉFONO CELULAR PROMEDIO.....	90
TABLA 4.6 DISTRIBUCIÓN DE UN TELÉFONO CELULAR PROMEDIO.....	90
TABLA 4.7 CONSUMO ENERGÉTICO POR ESCENARIO DE CICLO DE VIDA.....	91
TABLA 4.8 RECICLADO DE COMPONENTES DEL CELULAR.....	92
TABLA 4.9 RECICLADO DE MATERIALES DEL CELULAR	93
TABLA 4.10 CONTRIBUCIÓN AL IMPACTO AMBIENTAL POR ESCENARIO.....	93
TABLA 4.11 RELACIÓN EDAD/SEXO DE LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS	97
TABLA 4.12 PORCENTAJE DE ENCUESTAS APLICADAS POR FACULTAD/ESCUELA	97
TABLA 4.13 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA SOBRE PRÁCTICAS DE CONSUMO.....	102
TABLA 4.14 REGLAS IF-THEN PRÁCTICAS DE CONSUMO.....	103
TABLA 4.15 DEFINICIÓN DE REGLAS SOBRE PRÁCTICAS DE CONSUMO	104
TABLA 4.16 TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL TELÉFONO CELULAR ENTRE UNIVERSITARIOS.....	104
TABLA 4.17 CONSUMO ENERGÉTICO DEL TELÉFONO CELULAR EN LA ETAPA DE USO	105
TABLA 4.18. ESTRUCTURA DEL FIS DE HÁBITOS DE USO	108
TABLA 4.19 REGLAS IF-THEN HÁBITOS DE USO	110
TABLA 4.20 DEFINICIÓN DE REGLAS DE HÁBITOS DE USO	110
TABLA 4.21 PRÁCTICA DE MANEJO DEL TELÉFONO CELULAR NO FUNCIONAL	112

TABLA 4.22 ESTRUCTURA DEL FIS DE PRÁCTICAS DE MANEJO	117
TABLA 4.23 REGLAS IF-THEN PRÁCTICAS DE MANEJO	118
TABLA 4.24 DEFINICIÓN DE REGLAS DE PRÁCTICAS DE MANEJO	119
TABLA 4.25. ESTRUCTURA DEL FIS DEL NIVEL DE CONOCIMIENTO	125
TABLA 4.26 REGLAS IF-THEN NIVEL DE CONOCIMIENTO.....	126
TABLA 4.27 DEFINICIÓN DE REGLAS PARA EL NIVEL DE CONOCIMIENTO	126
TABLA 4.28 PROPORCIONES DE LA RELACIÓN MARCA-PRECIO DE CELULARES	136
TABLA 4.29 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE PRECIO	136

Índice de figuras

	Pág.
FIGURA 2.1 LÍMITES DE LA EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA.....	15
FIGURA 2.2 ESTRATEGIAS DEL ECODISEÑO CON RELACIÓN AL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO	18
FIGURA 2.3 PENETRACIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL A NIVEL GLOBAL	29
FIGURA 2.4 SUBSCRIPTORES A TELEFONÍA MÓVIL A NIVEL MUNDIAL.....	30
FIGURA 2.5 SUBSCRIPTORES A TELÉFONO CELULAR EN EL MUNDO POR NIVEL DE DESARROLLO	31
FIGURA 2.6 POBLACIÓN MUNDIAL CON SEÑAL DE TELEFONÍA MÓVIL DE 2003 COMPARADO CON 2010	32
FIGURA 2.7 COMPARACIÓN DE SUBSCRIPTORES A TELÉFONOS CELULARES POR CADA 100 HABITANTES	34
FIGURA 2.8 INVERSIÓN DEL SECTOR TELECOMUNICACIÓN Y LA TELEFONÍA MÓVIL EN MÉXICO	35
FIGURA 2.9 SUBSCRIPTORES A TELEFONÍA MÓVIL POR CADA 100 HABITANTES EN MÉXICO	36
FIGURA 2.10 ESTRUCTURA DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO.....	38
FIGURA 2.11 ETAPAS DEL ACV, SETAC (CONSOLI ET AL., 1993).....	39
FIGURA 2.12 ESQUEMA DE ACV. NORMA ISO 14040-44 (2006).....	40
FIGURA 2.13 ETAPAS DEL CICLO DE VIDA	41
FIGURA 2.14 ETAPA DE INVENTARIO. ISO 14044 (2006)	42
FIGURA 2.15 ORGANIZACIONES SUIZAS QUE CONFORMAN ECOINVENT (GOEDKOOP ET AL.,2010).....	45
FIGURA 2.16 PASOS A SEGUIR EN LA FASE DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA	46
FIGURA 2.17 FASE DE INTERPRETACIÓN DEL ACV. ISO 14044:2006	49
FIGURA 2.18 CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE UN PRODUCTO	51
FIGURA 2.19 MODELO NEURONAL DE MCCULLOCH-PITTS	56
FIGURA 2.20 METODOLOGÍA DE LÓGICA DIFUSA.....	63
FIGURA 2.21 ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA BASADO EN LÓGICA DIFUSA	63
FIGURA 2.22 ESTRUCTURA BÁSICA DE UN SISTEMA EXPERTO	65
FIGURA 3.1 MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DE INDICADORES EN LA GESTIÓN DE LOS RAEE’S.....	68
FIGURA 3.2 PROCESOS PARA EL RECICLAJE DEL TELÉFONO CELULAR.....	72
FIGURA 3.3 INDICADOR SOCIAL EN LA GESTIÓN DE LOS TELÉFONOS CELULARES.....	76
FIGURA 3.4 ESTRUCTURA BÁSICA DEL SISTEMA BASADO EN REGLAS DIFUSAS APLICANDO TSK	83
FIGURA 3.5 FUNCIONAMIENTO DE UN FIS.....	84
FIGURA 3.6 DETERMINACIÓN DEL COSTO ECONÓMICO EN LA GESTIÓN DE LOS RAEE’S	84
FIGURA 4.1 FASES DE CARACTERIZACIÓN DE LOS TELÉFONOS CELULARES.....	85
FIGURA 4.2 IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE LOS TELÉFONOS CELULARES	86
FIGURA 4.3 DIAGRAMA DE COMPONENTES DE UN TELÉFONO CELULAR PROMEDIO.....	87
FIGURA 4.4 PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DEL TELÉFONO CELULAR.....	91
FIGURA 4.5 CONTRIBUCIÓN AL IMPACTO AMBIENTAL POR COMPONENTE	94
FIGURA 4.6 CONTRIBUCIÓN AL IMPACTO AMBIENTAL POR ETAPA DE CICLO DE VIDA	94
FIGURA 4.7 COMPARATIVA DE ESCENARIOS POR CATEGORÍA DE IMPACTO	95
FIGURA 4.8 MARCAS DE CELULAR QUE MÁS CONSUMEN ENTRE UNIVERSITARIOS.....	98
FIGURA 4.9 MARCAS DE TELÉFONOS CELULARES PREFERIDAS POR EDAD DE USUARIO	98
FIGURA 4.10 ESCALA DE PRECIOS DE TELÉFONOS CELULARES ADQUIRIDOS POR UNIVERSITARIOS	99
FIGURA 4.11 CRITERIO DE COMPRA POR SEXO.....	99
FIGURA 4.12 CRITERIOS DE COMPRA POR EDAD DEL USUARIO	100

FIGURA 4.13 ADQUISICIÓN DE UN TELÉFONO CELULAR	100
FIGURA 4.14 ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA LA VARIABLE CONSUMO	101
FIGURA 4.15 RELACIONES ENTRE VARIABLES INDEPENDIENTES ($X_1...X_4$).....	102
FIGURA 4.16 MODELO DIFUSO PARA PRÁCTICAS DE CONSUMO.....	103
FIGURA 4.17 TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL CELULAR POR EDAD DEL USUARIO.....	105
FIGURA 4.18 MOTIVO DE CAMBIO DEL TELÉFONO CELULAR ENTRE UNIVERSITARIOS	106
FIGURA 4.19 NÚMERO DE CELULARES QUE HA TENIDO	106
FIGURA 4.20 ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA LA VARIABLE USO	107
FIGURA 4.21 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE DEPENDIENTE CON RESPECTO A (X_N).....	108
FIGURA 4.22 SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO (FIS) DE HÁBITOS DE USO	109
FIGURA 4.23 PRÁCTICA DE MANEJO DEL TELÉFONO CELULAR POR EDAD	113
FIGURA 4.24 ADQUISICIÓN DE TELÉFONOS CELULARES DE SEGUNDA MANO.....	113
FIGURA 4.25 TIEMPO DE VIDA ÚTIL DESPUÉS DE LA REPARACIÓN.....	114
FIGURA 4.26 CANTIDAD DE TELÉFONOS CELULARES ALMACENADOS POR EDAD DEL USUARIO	114
FIGURA 4.27 ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA LA VARIABLE PM	115
FIGURA 4.28 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE DEPENDIENTE CON RESPECTO A (X_N)	116
FIGURA 4.29 SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO (FIS) DE PRÁCTICAS DE MANEJO	117
FIGURA 4.30 PERCEPCIÓN SOBRE LA RESPONSABILIDAD EN LA DISPOSICIÓN FINAL DEL TELÉFONO CELULAR	121
FIGURA 4.31 PERCEPCIÓN DEL USUARIO DE TELEFONÍA CELULAR.....	122
FIGURA 4.32 NIVEL DE AJUSTE DE DATOS PARA NIVEL DE CONOCIMIENTO (NC)	123
FIGURA 4.33 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE NC	124
FIGURA 4.34 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE DEPENDIENTE CON RESPECTO A (X_N)	124
FIGURA 4.35 SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO (FIS) SOBRE EL NIVEL DE CONOCIMIENTO.....	125
FIGURA 4.36 FALLAS COMUNES EN LOS TELÉFONOS CELULARES.....	128
FIGURA 4.37 CELULARES RECIBIDOS POR SEMANA	129
FIGURA 4.38 CELULARES REPARADOS POR DÍA	129
FIGURA 4.39 FLUJO DE TELÉFONOS CELULARES EN DESUSO	130
FIGURA 4.40 MANEJO DE CELULARES EN DESUSO	130
FIGURA 4.41 MANEJO DEL CELULAR POR GARANTÍA	131
FIGURA 4.42 PERCEPCIÓN DEL REPARADOR DE TELEFONÍA CELULAR.....	132
FIGURA 4.43 EMPRESAS QUE DISPONEN DE POLÍTICAS PARA EL RETORNO DEL CELULAR.....	133
FIGURA 4.44 IMPLEMENTACIÓN DE CAMPAÑAS INFORMATIVAS A CONSUMIDORES	134
FIGURA 4.45 PARTES CONTAMINANTES DEL TELÉFONO CELULAR	134
FIGURA 4.46 DISPOSICIÓN DEL TELÉFONO CELULAR AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL.....	135
FIGURA 4.47 ESQUEMA COSTO-BENEFICIO EN TRES ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DEL TELÉFONO CELULAR	137
FIGURA 4.48 COSTOS ECONÓMICOS EN TRES ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DEL TELÉFONO CELULAR	138

Capítulo 1. Introducción

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. Entre los productos de consumo se encuentran los que son llamados residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE's) o mejor conocida como basura electrónica o tecnológica. De acuerdo a Osibanjo y Nnorom (2007), el tiempo de vida de los productos, especialmente de los electrónicos se ha reducido significativamente en años recientes, el acelerado avance tecnológico ha llevado a la producción de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE's) con menor tiempo de vida útil, debido a la sustitución que hace el consumidor motivada por los nuevos modelos. En México, en el 2009 se estimó una generación de al menos 411 toneladas diarias de RAEE's, pero no se cuenta con información específica sobre su manejo y disposición, ya que su gestión se realiza junto con los residuos sólidos urbanos (Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, 2009).

En la actualidad la falta de medidas de prevención, control e información han llevado a la ejecución de prácticas inadecuadas en el manejo y disposición de los RAEE's, este flujo de residuos representan un problema a nivel mundial por los volúmenes que se generan y que aumentan más rápido que el resto de los residuos. Herat (2008-a, 2008-b), señala que crece tres veces más rápido que los residuos municipales y se estima que en el mundo aumenta entre 3 y 5 por ciento. Aunado a esta situación están los patrones de producción y consumo, los cuales provocan 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.

Lo anterior surge como consecuencia del largo proceso en el que la sociedad ha creado una necesidad por adquirir productos de consumo, entre los que se encuentran los AEE's, que son sustituidos en tiempos cortos por los modelos novedosos que salen al mercado, porque los consumidores los consideran obsoletos

a pesar de que funcionan correctamente. Esto ha generado un incremento exagerado de productos que van a convertirse en basura electrónica. Entre los productos de consumo que se desechan se encuentran los generados por el sector residencial, que son llamados residuos domésticos eléctricos-electrónicos (RDEE's), entre los que se encuentra el teléfono celular que es el objeto de estudio de esta tesis. De acuerdo a Herat (2007), la electrónica es una de las industrias de más rápido crecimiento a nivel internacional.

Existen diversos factores que impactan en la problemática asociada a la generación y manejo de RAEE's, tanto en el ámbito económico, como el político y el cultural. Entre ellos destacan la falta de recursos e infraestructura, la poca conciencia de la población hacia problemas ambientales, la ausencia o falta de claridad en bases legislativas, crecimiento industrial y los impactos de nuevas tecnologías. Además de estos factores, está el potencial de riesgo que pueden ocasionar a la salud y al ambiente, y que son residuos que pueden ser valorizados y desviados de la disposición final. Los avances tecnológicos, la expansión de mercado y la tendencia de los productos electrónicos de acortar los ciclos de vida generan grandes volúmenes de residuos electrónicos, representando en la actualidad el flujo de residuos de más rápido crecimiento en el mundo. Uno de los principales artículos electrónicos que se encuentran en los RAEE's, son los teléfonos celulares que cada día se convierten en una parte importante del estilo la vida de un número creciente de personas en todo el mundo. La adquisición y manejo de los RAEE's está asociado a los estilos de vida de los segmentos de la población, y aunado a esto, está la diversidad de modelos que oferta el mercado, por lo que la generación de estos residuos requieren de un análisis a un mayor nivel de resolución que arroje más información sobre los diversos grupos de consumidores y tipos de RAEE's generados.

Es importante destacar, como señalan Nnorom y Osibanjo (2007), que debido a la dependencia tecnológica de los países en vías de desarrollo, existe un alto nivel de movimientos transfronterizos de los AEE's de segunda mano. En este contexto, México no es la excepción, principalmente al norte en la zona fronteriza. Sin embargo, es importante resaltar que el impacto ambiental va más allá del efecto en su disposición, y los efectos negativos sobre el medio ambiente de los AEE's están

ligados a las fases de fabricación, transporte, utilización y eliminación; por lo que todo ello se encuentra involucrado en el concepto “Ciclo de Vida” del producto. En este sentido es importante resaltar que el uso de computadoras, teléfonos celulares y fijos genera una gran cantidad de basura electrónica y, además, implica un gran consumo de recursos naturales debido a las cantidades de materias primas y energía que se utilizan para su fabricación, esto sin tener en cuenta la energía que se consume durante su uso.

El volumen de basura electrónica que se genera supera ampliamente nuestra capacidad de manejo sustentable. Y aunque la mayor parte de la basura electrónica se produce en los países industrializados, una fracción importante se envía al mundo en desarrollo, donde las regulaciones ambientales son más débiles o inexistentes y la capacidad de recuperación formal mucho menor. Dada la falta de una adecuada infraestructura, la basura electrónica generalmente se quema al aire libre, luego se vierte en depósitos de agua y se hunde en la tierra, donde libera sustancias tóxicas que contribuyen a contaminar el aire, el agua y el suelo, y causan problemas de salud. La salud se ve aún más comprometida por la proliferación del reciclado informal. Ya que, en un intento por recuperar ciertos componentes valiosos de los AEE's, algunas personas revuelven montañas de esta basura electrónica sin protección alguna, con lo cual entran en contacto directo con diversas sustancias tóxicas.

El desarrollo sostenible, incluyendo el reciclado de productos, hoy en día se convierte en un problema social obligatorio, especialmente para las empresas. De hecho, las normas y estándares, que antes se daban de asesoramiento, son cada vez más obligatorios. Una alternativa es considerar la posibilidad de reciclaje de un producto durante su fase de diseño, con el fin de mejorar su eficiencia. En el contexto del desarrollo sostenible, el diseño, uso y gestión al final de la vida de los productos del sector industrial cada vez son más regulados por un marco jurídico. Tal es el caso de la Unión Europea, que a través de directivas promulgadas buscan garantizar calidad en el medio ambiente y la salud humana, restringiendo el uso de sustancias peligrosas en los equipos eléctricos y electrónicos, minimizando el impacto de estos equipamientos en el medio ambiente durante su tiempo de vida y cuando se convierten en desechos (Houé y Grabot, 2007).

1.1 ANTECEDENTES

El avance de la sociedad, la implementación de tecnologías cada vez más sofisticadas, y en definitiva, el incremento del consumo de todo tipo de productos y su vida cada vez más corta, está provocando un aumento en la cantidad de residuos que se generan, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.

La falta de un adecuado manejo y el incremento en aplicación de prácticas informales, provocan la contaminación de suelos, agua y aire, en consecuencia graves riesgos y afecciones a la salud. La gestión de residuos, en la actualidad se enfrenta a un complejo sistema de factores que afectan o se involucran en la determinación de medidas de remediación, como son la cantidad y la naturaleza de los residuos, el acelerado desarrollo demográfico, limitaciones económicas de cada población, los hábitos de consumo, el crecimiento industrial, la emigración poblacional y los impactos de nuevas tecnologías.

Entre los nuevos residuos que se están generando se encuentra los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE's). Estos residuos han empezado a causar preocupación a nivel internacional, varios autores coinciden en que los RAEE's se han convertido en uno de los flujos de residuos prioritarios, de mayor crecimiento, que requieren de atención y representan un nuevo reto social y ambiental. Debido al acelerado proceso de crecimiento tecnológico, el incremento en el consumo y como consecuencia, la creciente generación de RAEE's, requiere el desarrollo de sistemas para el manejo y control de los volúmenes crecientes de aparatos y componentes obsoletos, en la búsqueda de la minimización de impactos negativos y de medidas para la valorización y aprovechamiento de los recursos (Cui & Forssberg, 2003; Sinha, 2005; Ylä-Mella, 2004).

Es importante destacar que uno de los principales artículos electrónicos que se encuentran en los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE's) es el teléfono celular, el cual cada día se convierte en una parte importante del estilo de vida de un número creciente de personas en todo el mundo. Estos residuos requieren de una gestión correcta. Existen diversas metodologías científicas que permiten apoyar la gestión medioambiental de los productos, procesos o servicios. Entre estas

metodologías está el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) (ISO 14040-44, 2006). Esta metodología se centra en el ciclo de vida de un producto, proporciona elementos para valorar y evaluar los impactos medioambientales ocurridos durante el ciclo de vida completo de un producto o proceso (Ekvall, Tillman y Molander, 2005).

El análisis del ciclo de vida, es una herramienta que ha sido aplicada para determinar los impactos ambientales y comparar sistemas de manejo, así como sus partes (Barton, Dalley, Patel 1996; Buttol et al., 2007; Ekvall et al., 2007; Obersteiner et al., 2007; Schmidt and Pahl-Wostl, 2007; Winkler and Bilitewski, 2007). En otras investigaciones, se ha aplicado la metodología de ACV a otros aspectos del manejo de residuos sólidos municipales, tales como transporte, disposición, aprovechamiento (Cleary, 2009; Iriarte et al., 2009; Rajendra y Toolseeram, 2008; Rives et al., 2010). También se ha aplicado para evaluar el impacto que provoca la producción de un celular (Yamaguchi, et al, 2003), la toxicidad (Wu, 2008; Xu, et al., 2012), uso del celular (Constantiou y Kautz, 2008), modelos de difusión de la tecnología y la influencia en el desarrollo de la economía en un país (Aker, 2008; Aker and Mbiti, 2010) y patrones de crecimiento (Botelho y Pinto, 2004; Michalakelis et al., 2008). Otros se centran en explicar la influencia de los factores económicos, sociales y culturales en el del uso teléfono celular (van Biljon y Kotze, 2008).

Para el caso del teléfono celular, el ACV es una metodología que contribuye a la definición de estrategias en el contexto de la prevención de la contaminación. Su carácter sistemático permite interpretar el desempeño ambiental del teléfono celular en forma integral, tomando todos los impactos ambientales durante el ciclo de vida de este producto. El cual, como dispositivo electrónico, se ha convertido en una de las principales demandas de los consumidores. Esta alta demanda se debe a que no sólo sirven como un complemento de los teléfonos de línea tradicionales, sino también como medio principal de comunicación. En este sentido Yong-Chul y Kim (2010), afirman que la gestión ambiental de los teléfonos celulares al final de su vida útil es un tema de creciente preocupación en todo el mundo. Por ello, el número de investigaciones sobre el tema se ha abordado en diferentes partes del mundo y desde diferentes ópticas. Entre ellas se encuentra su uso, manejo en segmentos de la población como lo es el de los universitarios.

Dunstone (2006) realizó una investigación en Reino Unido, donde analizó el uso del teléfono celular en tres grandes áreas: sociedad, familia y relaciones interpersonales y laborales. Los resultados mostraron que nueve por ciento de los entrevistados entre 18-24 años, admitieron ser adictos a sus teléfonos celulares. Además, para este grupo de personas, su teléfono es más importante que la televisión. También afirma que 14 por ciento de las personas tienen dos o más teléfonos celulares que utilizan regularmente. Los resultados también muestran que los factores más importantes al elegir un teléfono celular son la funcionalidad (31%), precio (29%) y estética (16%). Mermelstein y Tal (2005) realizaron un estudio en el que analizan los tipos de uso que los estudiantes pueden realizar con sus teléfonos celulares y otros dispositivos móviles para acceder a los materiales de apoyo al aprendizaje, uno de sus objetivos era conocer si los estudiantes usaban sus teléfonos celulares para acceder a material de aprendizaje en línea en un ambiente natural. Gedik et al. (2012) y Cavus (2011) señalan que la tecnología de telefonía móvil ofrece un gran potencial en ambientes de aprendizaje. La investigación que realizaron en el uso que la telefonía móvil tiene para contribuir a la mejora de las prácticas educativas existentes, en particular en las regiones en desarrollo del mundo.

Aguilar y Ramírez (2006), en un estudio sobre hábitos de consumo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) en estudiantes universitarios, encontraron que el uso y penetración de las TIC's en este grupo depende del nivel de ingresos y del sexo del usuario. Y que los criterios o atributos más valorados al adquirir un teléfono celular dependen del sexo del usuario. Además, el nivel de gasto que se está dispuesto a hacer para comprar un nuevo teléfono celular y la preferencia por una marca particular de teléfono, parecen estar relacionadas con la edad y el grado de conocimiento tecnológico del usuario.

Se han realizado diversas investigaciones con estudiantes para conocer las variables asociadas al uso y consumo del celular. Chen y Katz (2009) analizaron el comportamiento del uso del teléfono celular entre los estudiantes universitarios y sus familiares, para establecer en qué medida afectaba en su vida universitaria. Moscoloni y Castro (2010) evaluaron el consumo de dispositivos tecnológicos, entre ellos el celular, para describir los posibles cambios en la vida cotidiana a partir del uso

de celular e internet. Sus hallazgos muestran que la intensidad de consumo de celulares se relaciona con las posibilidades de acceso a dicha tecnología y la edad.

Por otra parte, Ongondo y Williams (2011) en su investigación con estudiantes universitarios encontraron que los hombres remplazan sus teléfonos celulares con mayor frecuencia que las mujeres. También menciona que a pesar de la alta proporción de estudiantes en Inglaterra que conocen de los servicios para disponer de los teléfonos en desuso, sólo un número moderado de ellos había utilizado los servicios, la mayoría de los cuales eran estudiantes de sexo femenino. Además, los estudiantes más jóvenes, de 24 años o menos, eran más conscientes de los servicios. Head y Ziolkowski, (2012) en su investigación se enfocaron en identificar cuáles son las características que los estudiantes universitarios valoran en un teléfono celular, para proporcionar una visión de las preferencias del consumidor y definir segmentos de consumidores universitarios.

En otro estudio, Hong, Chiu y Huang (2012) se enfocaron a analizar la relación entre las características psicológicas, la adicción y el uso de teléfono celular en mujeres universitarias taiwaneses, para proponer un modelo y explicar esas relaciones. Entre los hallazgos reportan que existe una correlación positiva entre extroversión y la adicción al teléfono celular.

1.2 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, los RAEE's constituyen una de las fracciones de residuos de más rápido crecimiento. Esta tendencia representa problemas ambientales y aumenta la necesidad de implementar acciones para su gestión (Tartiu 2009, Mohabuth y Miles 2005, Xianbing et al., 2006, Reis et al., 2012).

Uno de los aparatos electrónicos de mayor demanda por los consumidores de dispositivos electrónicos son los teléfonos celulares. Este crecimiento en el uso del teléfono celular es alentado por los avances tecnológicos, así como por más y mejores servicios de los equipos, que cada día se vuelven más sofisticados y llevan a los usuarios a deshacerse de sus modelos antiguos, aunque funcionen, y comprar

nuevos aparatos, más pequeños, más ligeros y con más prestaciones (Kasper et al., 2011; Nnorom et al., 2009; Osibanjo y Nnorom, 2008).

Los teléfonos celulares son el dispositivo electrónico más presente en el mundo, tienen ciclos de vida relativamente cortos debido a su (aparente) obsolescencia, por lo que son descartados cuando aún funcionan correctamente. Esto representa un problema, por la cantidad de RAEE's que genera (Ongondo y Williams, 2011b). En el mundo, el uso del celular ha crecido de manera exponencial pasando de 4.7 billones de usuarios alrededor del mundo en el 2009, la mayoría de los cuales se encontraban en los países en desarrollo (ITU 2009), a 5.9 billones de suscriptores en 2011 (ITU 2011). En México el mercado de la telefonía móvil inició su operación en 1987 y ha experimentado un constante crecimiento en la última década (Mariscal y Rivera 2007).

La adquisición y manejo de los AEE's está asociado a los estilos de vida de la sociedad, especialmente a ciertos grupos como el de estudiantes universitarios, que presentan marcada tendencia hacia el consumo de tipos específicos de AEE's. En su afán por seguir la moda o por el deseo de explorar lo novedoso de las tecnologías actuales, este segmento de la población adquiere cada vez más tecnología y desecha sus AEE's sin importar que funcionen correctamente.

La telefonía móvil tiene una notable presencia entre los jóvenes (Laborda, 2005), entre ellos destaca el segmento de los estudiantes universitarios (Head y Ziolkowski, 2012; Lipscomb et al., 2007). Por ello, es importante estudiar a este segmento de la sociedad y conocer sus prácticas de uso, consumo y retirada de estos dispositivos, los cuales, al terminar su ciclo de uso, generan un flujo de residuos que al ser desechados pasan a formar parte de los residuos conocidos como basura electrónica, que ha crecido a un ritmo más avanzado que el resto de fracciones de los residuos sólidos urbanos.

En la actualidad, la telefonía móvil se ha convertido en un servicio indispensable, y ha experimentado un enorme y constante aumento desde la implementación del sistema GSM en los años 90. Por tanto, la producción ambientalmente segura, funcionamiento y tratamiento de la tecnología de telefonía

móvil al final de su vida útil, es muy importante en un mundo ante el creciente número de redes de telefonía y los aparatos con componentes cada vez más complejos (Scharnhorst et al., 2005).

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 la práctica de usar y tirar, se tienen volúmenes cada vez mayores de residuos, transformándose en un problema para las instituciones encargadas de su gestión. Entre estos residuos se encuentran los RAEE's, que tal y como se ha descrito anteriormente, han sufrido un aumento significativo en los últimos años.

El consumismo es un comportamiento 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. Uno de los ejemplos más claros de consumismo se observa en el teléfono celular, al cual se le agrega otro componente, el ciclo de vida útil, que en estos es relativamente corto debido, principalmente, al rápido cambio en las características y capacidades.

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 activo en el hábito de consumo, a tal grado que se generan nuevos AEE's y luego se inventan necesidades. De esta forma, el consumo indiscriminado de aparatos electrónicos ha provocado que se incremente la cantidad RAEE's que son desechados y dispuestos en lugares que no están preparados para recibir esta clase de residuos que son de manejo especial.

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 de generar desechos de muchos tipos. Diariamente se producen toneladas de diversos AEE's para que las personas los consuman y los desechen en un corto periodo, por ser obsoletos o porque han aparecido otros con nuevas prestaciones, acortando el tiempo de vida útil de los aparatos anteriores, llevando así, a la producción de desechos que han de gestionarse de forma adecuada para evitar contaminación al ambiente y riesgos para las personas.

En el marco de Basilea se ha desarrollado una iniciativa centrada en los teléfonos celulares. En ella, diferentes grupos de proyectos temáticos, presididos por las partes y empresas, llevan a cabo actividades de asociación relacionadas con varios aspectos de la gestión de los teléfonos celulares: la reutilización (Australia), la recolección y los movimientos transfronterizos (Alemania), la recuperación y el reciclado (Suiza) y el aumento de la conciencia y la capacitación (Estados Unidos de América) (PNUMA, 2004). En México no se han desarrollado estrategias, por ello es importante dimensionar la problemática relacionada con el consumo, uso y manejo del teléfono celular. En este caso se abordara a jóvenes universitarios, ya que este segmento de la población presenta un alto consumo de este tipo de dispositivos.

El acelerado ritmo del cambio tecnológico, así como la aplicación de la electrónica en la vida cotidiana han influido en la expansión y crecimiento acelerado del mercado de los equipos electrónicos, entre ellos la telefonía móvil. Es importante aclarar que en esta tesis se manejará móvil cuando se refiera al sistema y celular cuando sea el dispositivo. Es así que en el siglo XXI la tecnología forma parte de las necesidades de los consumidores, por lo que las condiciones de acceso a los recursos tecnológicos, es un tema que cobra relevancia en el mundo, en lo social y en lo ambiental, por las implicaciones que tiene en el consumo, uso y disposición final. Entre estos recursos tecnológicos que se adquieren como equipos electrónicos se encuentra el teléfono celular, el cual es considerado como un éxito en la historia de la difusión de la tecnología de este siglo.

Es importante mencionar que el mercado de la telefonía móvil a nivel mundial no es homogéneo, y las diferencias se derivan, entre otras razones, por los distintos roles que las comunicaciones móviles juegan en función del nivel de bienestar

económico. Así, en muchos países poco desarrollados, las redes móviles sustituyen a las fijas como redes básicas de comunicaciones. En los países más ricos, los servicios móviles primero tuvieron un nicho de mercado específico, sobre todo entre usuarios profesionales, aunque en pocos años se ha extendido a todos los niveles de la sociedad. Sin embargo, en un principio estos servicios no eran substitutivos de otros servicios de telecomunicaciones, sino que desarrollaron su propio nicho de mercado.

Los teléfonos celulares son ahora una parte integral de la telecomunicación moderna. En muchos países, más de la mitad de la población los utiliza y el mercado está creciendo rápidamente, siendo el teléfono celular uno de los aparatos electrónicos de consumo de mayor demanda (Jang y Kim, 2010). La elevada demanda de este aparato electrónico es debida a que además de servir como complemento al teléfono fijo, se ha convertido en un medio de comunicación de mucha importancia

Datos de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel) indican que el crecimiento de la telefonía móvil ha sido exponencial, pasando el número de, suscriptores de 14 a 85.8 por cada 100 habitantes del 2000 al 2012. En el trimestre de julio a septiembre del 2012 se agregaron 1.2 millones de suscripciones, con lo que su base se situó en 98.9 millones.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y técnicas de Inteligencia Artificial (IA) en el manejo del teléfono celular en estudiantes universitarios.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Aplicar la metodología ACV en la evaluación de escenarios para el manejo del teléfono celular.
- ✓ Aplicar herramientas de Inteligencia Artificial (IA) para evaluar las de prácticas consumo, hábitos de uso y manejo del teléfono celular en estudiantes universitarios.

En este capítulo se presenta el marco teórico-referencial que sustenta la tesis que se desarrolla. El capítulo se ha organizado en siete apartados. El primero presenta un análisis del panorama global sobre los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE's) y el medio ambiente. El segundo aborda la temática sobre políticas medioambientales referente a los RAEE's. El tercero presenta información sobre el flujo de los RAEE's. En el cuarto se da un panorama sobre el caso de la telefonía móvil en la sociedad moderna y sus implicaciones. En el quinto apartado se describe la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV), como una herramienta para evaluación de impacto ambiental, definiéndose sus etapas, metodología y categorías de impacto. El apartado sexto describe el Costo de Ciclo de Vida (CCV), como una herramienta de análisis económico. Por último, en el apartado séptimo, se analizan técnicas y herramientas de inteligencia artificial, tales como redes neuronales, sistemas difusos y sistemas expertos para el tratamiento de datos y manejo de la incertidumbre.

2.1 LOS RAEE'S Y EL MEDIO AMBIENTE

La continua aparición de nuevos y sofisticados aparatos eléctricos y electrónicos (AEE's) es una constante en nuestros días. En la UE los RAEE's crecen tres veces más rápido que el promedio de Residuos Sólidos Urbanos (RSU's). A este aumento en la producción de residuos hay que añadirle el hecho de que en su composición encontramos determinados compuestos peligrosos como son ciertos metales pesados (mercurio, plomo, cadmio, cromo), sustancias halogenadas (CFC-clorofluorocarburos), PCB (bifenilos policlorados), PVC (policloruro de vinilo) y retardadores de llama o materiales ignífugos.

En décadas pasadas, los elevados precios de adquisición de la electrónica de consumo hacían que el número de personas que accedían a ellos fuese reducido. Sin embargo, en la actualidad dada la tendencia a la producción de AEE's de bajo costo inicial y corto tiempo de vida, los RAEE's han cobrado interés de diversos

investigadores. No solo por el hecho de representar un riesgo para la sociedad y el ambiente, sino también una oportunidad de negocios, teniendo en cuenta los volúmenes de generación, el contenido de tóxicos y material valioso contenido en ellos.

Los RAEE's constituyen una creciente preocupación en México y el mundo, al irse incrementando la manufactura, el uso y desuso de productos electrónicos sin desarrollarse a la par, esquemas alternativos de manejo y disposición final. Por muchos años y en la mayoría de los países en el mundo, el principal medio de eliminación de residuos ha sido la disposición en vertederos, generalmente a cielo abierto y bajo condiciones inadecuadas.

En países en vías de desarrollo, una práctica común tras la recolección de los AEE's es el desmantelamiento manual y/o incineración con el fin de recuperar ciertos componentes metálicos. Sin embargo, esto representa graves riesgos tanto para el recuperador, al ponerse en contacto directo y sin protección alguna con los residuos, como para el ambiente, debido a las emisiones derivadas de estas prácticas informales. En el planteamiento de estrategias para un manejo sustentable de los residuos es necesario considerar todos los actores y prácticas referentes al tipo de residuo, como son actitudes y disposición, concienciación de los involucrados a lo largo del ciclo de vida del producto, además de realizar inventarios detallados que muestren un panorama lo más acercado posible a la realidad actual.

Son numerosos los aspectos sobre los que la industria y el comercio pueden actuar para obtener bienes, productos y servicios respetuosos con el entorno natural. En este sentido, se busca el uso racional y eficiente de la materia prima y energía, la utilización preferente de materia prima regenerable y energía renovable, menor utilización de productos tóxicos y peligrosos, aplicación de nuevas tecnologías, o también denominadas Mejores Tecnologías Disponibles (MTDs), en los procesos de fabricación de productos que para su uso exija menor consumo de materia prima y energía, así como para facilitar el destino después de su uso mediante su reutilización, reciclado o valorización. Para ello, es importante que los productos se diseñen bajo el criterio de la ecoeficiencia.

2.1.1 Ciclo de vida de un Aparato Eléctrico y Electrónico

Durante el ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos se desarrollan una serie de actividades que pueden generar impactos ambientales negativos. Estas actividades incluyen la definición de materiales (incluyendo la extracción, elaboración y preparación de materias primas), la producción (incluyendo la fabricación de los materiales), fabricación, distribución (incluyendo los procedimientos de transporte y almacenamiento), el uso y mantenimiento, y el fin de vida (incluyendo recuperación y reciclaje o eliminación).

Los potenciales impactos negativos de los AEE's sobre el ambiente se pueden producir desde la etapa de adquisición de materias primas y energía, pasando por las emisiones del proceso de fabricación, el consumo de energía en la etapa de uso, hasta llegar a su retirada. Los tipos de impactos considerados incluyen aspectos tales como consumo de recursos abióticos y bióticos, uso del suelo, emisiones que provocan calentamiento global, disminución de la capa de ozono, impactos ecotoxicológicos, impactos toxicológicos sobre humanos, acidificación, eutrofización, oxidación fotoquímica, etc. Estos daños se pueden reducir si durante la fabricación se incluyen estrategias de diseño para balancear aspectos de calidad y cantidad entre diferentes tipos de materiales usados. Además de prevenir al máximo los daños al medio ambiente por los AEE's, también es importante el tratamiento y eliminación adecuada de los residuos generados durante la producción (residuos líquidos, sólidos y emisiones a la atmósfera).

En la Figura 2.1 se presenta gráficamente cómo se mueven los flujos para la evaluación del ciclo de vida de un producto.

La evaluación de ciclo de vida estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad. Es así que aplicar la metodología de ACV a la evaluación del ciclo de vida de los AEE's es necesario.

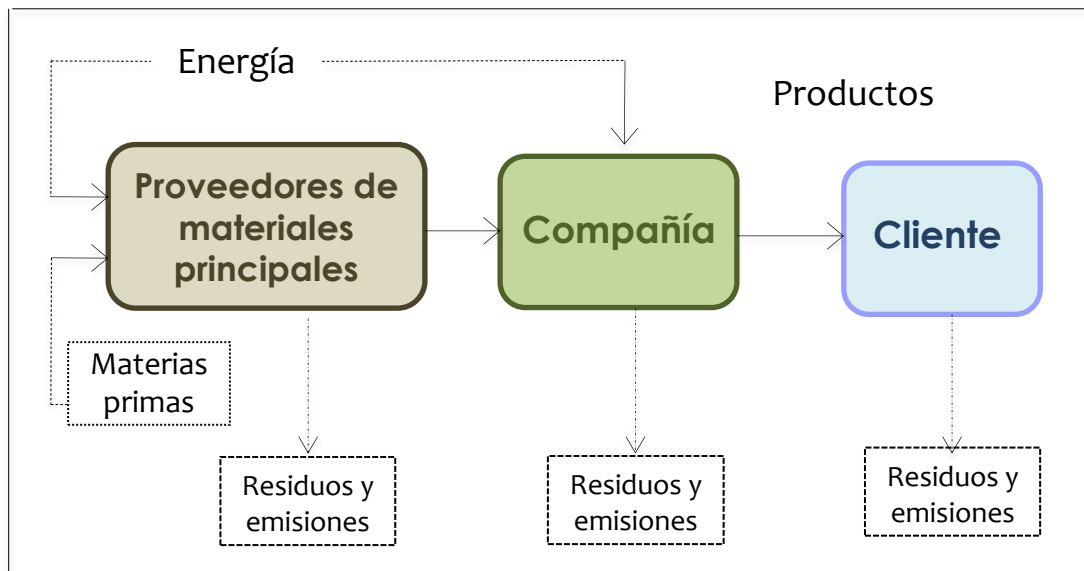


Figura 2.1 Límites de la evaluación del ciclo de vida

El gran reto ambiental para la empresa es atender con ingenio la demanda de una sociedad más exigente y moderna, una sociedad que no está dispuesta a retroceder en sus niveles de bienestar, pero que además, exige un mayor respeto por su medio natural. Numerosas empresas están trabajando para atender esta demanda social, poniendo en el mercado productos que van desplazando a los tradicionales.

Uno de los objetivos que persigue la identificación de impactos ambientales es poder efectuar un ejercicio con base sólida en información para seleccionar en qué etapa del ciclo de vida de los AEE's es posible reducir o minimizar estos impactos, considerando además factores como eficiencia energética, toxicidad de materias primas, transporte, etc. En este sentido, se plantean los siguientes criterios que rigen de manera teórica las directrices de un estudio de ACV, en este casos el de los AEE's que están presentes en el flujo de los residuos sólidos municipales.

El primer criterio es la recuperación y reutilización, para lo cual se debe considerar que la existencia de recuperación de materiales sea con valor económico positivo. Estos deben aproximarse lo más posible a la materia prima para el proceso de manufactura. La homogeneidad, la pureza y la posibilidad de que el material sea reprocesado, son consideraciones importantes a la hora de determinar su valor de

recuperación. Las posibilidades de reciclaje de un material dependen de una serie de factores:

- El atractivo económico de reciclar el material y la existencia de mercados de consumo final.
- El volumen, la concentración y la pureza del material reciclado.
- La existencia de tecnologías de separación y reciclaje, y de infraestructuras adecuadas de reciclaje.

Debe existir la posibilidad de separación de materiales. La separación de los materiales y componentes incompatibles es una característica importante a la hora de determinar la posibilidad global de reciclar. También es importante la no presencia de contaminantes en los materiales. Otro elemento importante es la existencia de programas de recuperación y reutilización de residuos, ya que los residuos se generan en todos los puntos del ciclo de vida de un AEE. El residuo real asociado al AEE desechado al final de vida, es sólo una fracción de los residuos generados en la fabricación, uso y desecho.

El segundo criterio es la conservación de la energía, para lo cual es importante considerar la reducción del uso de energía en la producción y en la distribución, así como el uso de formas renovables de energía.

La conservación de materiales es el tercer criterio, por lo que es necesario fomentar la utilización de materiales medioambientalmente más sensibles con niveles significativos de contenido reciclado. Esto es factible en la medida en que la sustitución por los materiales reciclados sea rentable y no comprometa la calidad del producto final. Para tener AEE's ecoeficientes es necesario diseñarlos con un ciclo de vida longevo, ya que cuanto más larga sea la vida del producto más ecoeficiente será, puesto que la misma cantidad de material proporciona un mayor valor económico. La conservación de materiales implica manejar ciclos cerrados de reciclaje, la recuperación en ciclo cerrado de los materiales y componentes, en aquellos casos en que es posible, aumentar el valor de estrategias tales como el uso de materiales reciclados y componentes remanufacturados.

El cuarto criterio es la reducción de riesgos crónicos, lo cual implica reducción de las emisiones de producción. Esto supone el diseño de procesos más limpios y más eficaces para la prevención de la contaminación, que simplemente adaptan los procesos existentes, lo que significa que es importante que su forma física y sus constituyentes tóxicos y peligrosos se encuentren controlados para asegurar una disposición segura y eficiente.

Durante el ciclo de vida de AEE's, existen una serie de etapas que pueden generar impactos y posteriormente efectos ambientales negativos para el medio ambiente. En la etapa de definición de materiales se incluye la extracción, elaboración y preparación de materias primas. La segunda etapa es la producción, en esta se incluye la fabricación de los materiales de los AEE's, la fabricación de AEE's. La distribución, es la tercera etapa y esta incluye los procedimientos de transporte y almacenamiento. Uso o consumo, el fin del ciclo de vida: incluye recuperación y reciclaje o eliminación.

2.1.2 Ecodiseño como herramienta de gestión ambiental de AEE's

El ecodiseño es una herramienta de gestión ambiental que permite obtener ventajas a través de estrategias de prevención y desarrollo de productos sustentables (prevención de la contaminación y disminución de costos). Abarca la necesidad de balancear los requerimientos medioambientales con los económicos y al mismo tiempo lleva a cabo el desarrollo de un producto. Considera los aspectos ambientales en todos los niveles del proceso de producción logrando obtener productos que ocasionen el menor impacto posible en los ecosistemas a lo largo de todo su ciclo de vida, conduciendo hacia una producción sustentable.

El ecodiseño considera estrategias preventivas y alternativas en todo el trayecto de decisiones del desarrollo de los productos con el objetivo de disminuir las consecuencias ambientales negativas. Las diferentes estrategias para mejorar un producto están directamente relacionadas con el impacto ambiental que estos puedan generar durante su ciclo de vida, como se muestra en la Figura 2.2, de manera que las actividades de una industria para un mejoramiento ambiental están enfocadas a las principales causas de impacto.

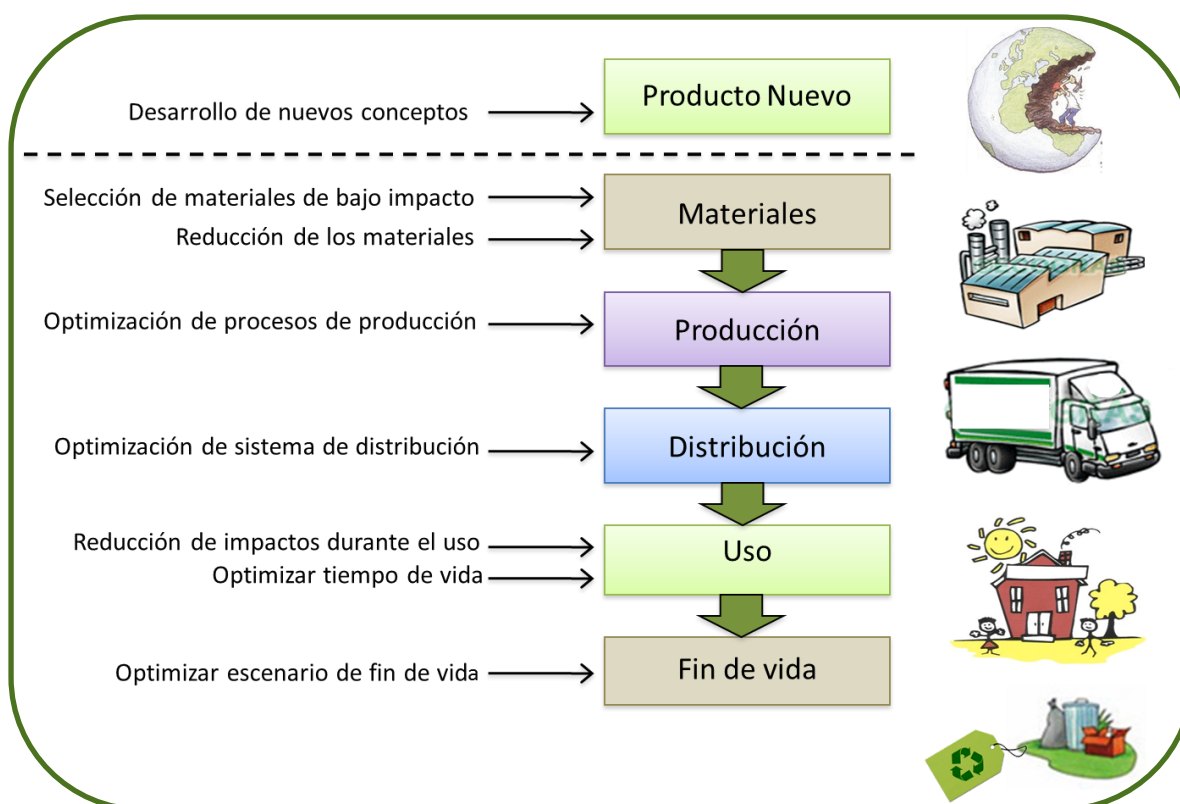


Figura 2.2 Estrategias del ecodiseño con relación al ciclo de vida del producto

2.1.3 Políticas medioambientales referentes a los RAEE's

La visión mundial acerca de la gestión de los residuos también ha cambiado y se ha visto influida por la adopción de convenios ambientales internacionales en aspectos relacionados con su manejo, como el convenio de Basilea, el Convenio de Estocolmo y el Convenio de Cambio Climático de la Organización de las Naciones Unidas. Dichos Convenios promueven la prevención de la generación de residuos, su aprovechamiento a través de la reutilización, reciclado o recuperación de su poder calorífico de manera ambientalmente adecuada, para limitar al máximo el volumen de los que se destinan a confinamiento, así como la liberación de contaminantes orgánicos persistentes o de gases con efecto invernadero durante su manejo, a fin de prevenir riesgos al ambiente y la salud. La problemática de la gestión demanda acciones interdisciplinarias en ámbitos de enseñanza, desarrollo de tecnologías, administración, planificación, servicios y mercado relacionados con la generación y manejo integral de los residuos, lo cual hace necesario el establecimiento y operación efectiva de intercambio de información, experiencias y conocimientos.

En México, la ley en materia de residuos de manejo especial obliga el establecimiento de programas y planes de manejo que deben considerar su adecuada recolección y tratamiento. Sin embargo, para hacer eficientes y sostenibles estos programas es necesario que en el costo del producto se incluya el de su tratamiento una vez finalizada su vida útil, y de esta forma garantizar el adecuado manejo.

Resulta fundamental impulsar e incentivar el mercado de valorización asociado a los desechos electrónicos, entre cuyas alternativas más recomendables, como ha quedado demostrado en otros países de condiciones similares al nuestro, se halla la conformación de alianzas público-privadas que permitan incorporar de alguna manera los canales informales existentes para el manejo de los desechos electrónicos. Para ello, es necesario establecer una participación concertada de los tres actores principales, gobierno-sector privado-sociedad, los cuales apoyados en un plan de manejo y con conocimiento preciso del inventario de generación de residuos puedan desarrollar y hacer funcionales dichas alianzas.

La gestión de los RAEE's en México se ha tornado en un tema relevante tanto en el área de generación de políticas como en la oportunidad de negocio. Según Román (2007) existen en nuestro país 33 empresas recicladoras de electrónicos. Sin embargo, es necesario considerar que los RAEE's, al tratarse de residuos que requieren de un manejo especial y como la ley propone, lo importante es prevenir y minimizar su generación, buscar el aprovechamiento y valorización a través de un manejo seguro y ambientalmente adecuado. Es necesario informar, educar y capacitar a los actores involucrados en la problemática, donde la sociedad juega un papel clave.

2.1.4 Flujo de los materiales de los RAEE's

Los RAEE's son una fuente de metales, como cobre, oro, plata y paladio. Y a partir del punto de vista ambiental, la recuperación de estos metales representa un impacto positivo (IPMI, 2003). En países como China y la India, los problemas detectados son debidos principalmente a las malas prácticas de trabajo y la falta de una gestión responsable de los residuos. Sin embargo, el hecho de que los residuos generados en cada etapa del proceso de reciclaje están contaminados con una

variedad de metales pesados tóxicos y contaminantes orgánicos persistentes es resultado directo de la utilización de estos materiales peligrosos en la fase de fabricación (Greenpeace, 2005).

Cuando se eliminan o reciclan RAEE's sin control alguno, se puede predecir la ocurrencia de impactos negativos en el medio ambiente y en la salud humana. A nivel mundial, los RAEE's constituyen una de las fracciones de residuos de más rápido crecimiento generados en la UE, representando el 8% de todos los residuos municipales. Esta tendencia aumenta las cargas ambientales y, en consecuencia, formular estrategias y tomar acciones ante esta problemática es una necesidad urgente en la actualidad.

La basura electrónica o RAEE's se compone de una amplia gama de dispositivos electrónicos que en algunos países clasifican en tres grupos: productos de línea blanca, línea marrón y Tecnología de la Información (TI) (Schäfer et al., 2003). En esta última categoría está ubicado el teléfono celular. Sin embargo, a nivel europeo, la Directiva 2002/96/CE y su actualización por la Directiva 2012/19/UE establece la siguiente clasificación mostrada en la Tabla 2.1 para clasificar los RAEE's. En este caso, la telefonía móvil se encuentra incluida en la categoría 3 de equipos de informática y telecomunicaciones.

Tabla 2.1 Categorías de RAEE's según la Directiva 2012/19/UE

Categoría	Descripción
1	Grandes electrodomésticos
2	Pequeños electrodomésticos
3	Equipos de informática y telecomunicaciones
4	Aparatos electrónicos de consumo y paneles
5	Aparatos de alumbrado
6	Herramientas eléctricas y electrónicas
7	Juguetes o equipos deportivos y de ocio
8	Productos sanitarios
9	Instrumentos de vigilancia y control
10	Máquinas expendedoras

De acuerdo con la experiencia de gestión de residuos de aparatos electrónicos y de telecomunicaciones en mercados ambientalmente subsidiados, como el de la Unión Europea (UE), cumpliendo normas como la Directiva 2012/19/UE y el Convenio de Basilea, es posible alcanzar objetivos superiores a 95% de valorización de residuos, a través de las siguientes alternativas:

- Reuso o remanufactura económica (compra-venta de piezas o partes) y/o social (remanufactura de unidades por organizaciones no gubernamentales o públicas), donde se prolonga la vida útil de un aparato o dispositivo con su reventa o donación.
- Reciclado o recuperación de materias primas a través del desmontaje y valorización de componentes por insumos (vidrio, metales, circuitos impresos, circuitos integrados, cables, etc.). A través de estos procesos se vuelven a obtener plásticos (ABS), vidrios activados, chatarra metálica (acero, latón, cobre, estaño, níquel, etc.) y metales preciosos (oro, plata, platino, iridio, etc.).
- Valorización energética, u obtención de electricidad o vapor a través de la pirolisis con tratamiento de gases y plásticos para que la tecnología sea sustentable.

2.2 LA TELEFONÍA MÓVIL EN LA SOCIEDAD MODERNA Y SUS IMPLICACIONES

Desde finales de la década de los 90's se ha incrementado el interés en cómo las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se utilizan en nuestra sociedad, entre ellos el internet y la telefonía móvil, en particular. Las tecnologías de la información han cambiado la forma de relacionarse y han penetrado en la vida cotidiana en diferentes contextos. Es así que a medida que el uso del teléfono celular se ha vuelto más común y multifacético, su importancia como un instrumento de la sociedad de la información ha aumentado entre los ciudadanos de todas las edades. Principalmente porque el ser humano, integrado en estructuras sociales complejas, necesita establecer contacto con otros seres

humanos y asegurar su supervivencia en su comunidad. Para lograrlo, la comunicación es fundamental, pues permite la interrelación y la difusión de la información relevante acerca del entorno.

La necesidad intrínseca de la humanidad de estar permanentemente comunicada, con independencia de la ubicación física, ha sido satisfecha por los desarrollos tecnológicos, particularmente por la tecnología móvil. Los dispositivos móviles, como el teléfono celular, se caracterizan por la multifuncionalidad y complejidad que poseen, características que aumentan con el lanzamiento de cada nueva generación de productos. Esto provoca que el tiempo de vida del celular se acorte, con el consiguiente incremento de la basura electrónica, RAEE's.

Además, el impacto de la telefonía móvil en la sociedad del siglo XXI ha sido tan fuerte que se puede afirmar que la vida de los ciudadanos es móvil, dinámica y ubicua. A pesar de que este AEE surge de una tecnología desarrollada e implantada desde el mercado, su uso masivo ha dado lugar a notables transformaciones económicas y sociales en nuestra sociedad. En estas transformaciones, la mercadotecnia ha sido quien finalmente las ha promovido aprovechando la satisfacción una necesidad del ser humano de estar comunicado.

El celular es un bien de consumo que promueve la comunicación circular. El sector de las telecomunicaciones está en la búsqueda constante de desarrollos que promuevan la competencia entre los fabricantes, quienes están en la continua miniaturización de los componentes electrónicos integrados en los dispositivos, promoviendo el dinamismo que caracteriza al sector de la telefonía móvil, el cual pone en el mercado nuevos modelos, con más y mejores funciones, reduciendo el ciclo de vida de éstos. Esta tendencia de ciclos cortos y mejora de funciones ha obligado a los fabricantes a introducir al mercado tecnológico actual nuevos dispositivos en tiempos muy cortos, con más potencia de proceso, accesorios y funciones. Cada vez se venden teléfonos celulares de mayor complejidad, con un elevado número de dispositivos integrados, y con más aplicaciones disponibles. Los nuevos dispositivos poseen capacidades de proceso tan elevadas, no sólo de cálculo, sino también en capacidad de almacenamiento, velocidad de memorias

principales y secundarias, capacidad de respuesta de los sensores ópticos, táctiles y sonoros, que son capaces de realizar un número creciente de tareas, las cuales hasta hace poco tiempo eran propias de las computadores (Rodríguez et al., 2010).

El uso y consumo de los AEE's, al terminar su ciclo de uso, genera un flujo de residuos sólidos que deben ser dispuestos correctamente. Estos AEE's al ser desechados pasan a formar parte de los residuos conocidos como basura electrónica, entre los que están incluidos los dispositivos móviles entre ellos el celular, que particularmente nos interesa en esta tesis.

Aunque el tamaño de un teléfono celular es relativamente pequeño, el volumen acumulado de los teléfonos en desuso, que se convierten en residuos electrónicos, representan un riesgo por la falta de programas de gestión de estos residuos. Por ello es necesario conocer el comportamiento de los consumidores y generadores de este flujo de residuos y su disposición a participar en programas en beneficio del ambiente y la sociedad (Nnorom et al., 2009). Además, los residuos electrónicos contienen materiales que podrían ser recuperados y reutilizados para el desarrollo de nuevos productos. Sin embargo, también es importante destacar que los equipos electrónicos contienen materiales peligrosos, que pueden afectar la salud humana y el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente (Osibanjo y Nnorom, 2007).

En las últimas décadas, los teléfonos celulares se están extendiendo tan rápidamente que se han convertido en una de las herramientas básicas para la sociedad del conocimiento. Debido a esto, el análisis del ciclo de vida para su proceso de producción es cada vez más importante. La preocupación por los impactos negativos asociados con la producción, uso y fin de vida de los teléfonos celulares está en relación a los grandes volúmenes de producción y características de corto tiempo de vida, ya sea por obsolescencia tecnológica y/o funcionalidad.

Yamaguchi et al. (2003), en un estudio que realizaron sobre el ACV al teléfono celular, encontraron que la mayor parte de la carga medioambiental asociada a la producción de un teléfono celular está ocupado por la fabricación de piezas electrónicas, tales como la placa de circuito impreso y la pantalla de cristal líquido,

mientras que la producción de las piezas de maquinaria y montaje del teléfono celular en conjunto ocupan una pequeña parte. Un teléfono celular contiene entre 500-1000 componentes (Nokia 2005), muchos de los cuales son tóxicos y peligrosos si los teléfonos celulares en desuso no reciben el tratamiento adecuado. Las estadísticas muestran que en el 2004 fueron vendidos 674 millones de teléfonos celulares en todo el mundo, 30% más que en 2003 (Greenpeace 2005). Con relación a los suscriptores de telefonía celular, como ya se mencionó para finales del 2011 se estimó en casi seis billones y para el 2012 se espera que el mercado global crecerá aproximadamente un siete por ciento.

De acuerdo a Yu, Williams y Ju (2010), en el 2008 fueron producidos en China alrededor de 560 millones de teléfonos celulares y había 634 millones de usuarios suscritos a un plan de telefonía, estos números representan una gran problemática y retos, debido al potencial de impactos significativos sobre el medio ambiente en su eliminación.

Los teléfonos celulares contienen un gran número de sustancias peligrosas que pueden contaminar el aire cuando se queman, el agua y pueden filtrarse en el suelo. Estas sustancias tóxicas incluyen arsénico, cadmio, plomo y níquel entre otras (Nnorom y Osibanjo 2009; Nixon et. al., 2009; Most 2003; IPMI 2003). Pero también una fuente útil de los metales, como cobre, oro, plata y paladio, que pueden ser recuperados (IPMI 2003).

Jang y Kim (2010) señalan que un teléfono celular por lo general, contiene varios componentes, entre ellos la carcasa de plástico, metales ferrosos y no ferrosos, la pantalla cristal líquido y tableros de circuito impreso, entre otros los cuales se encuentran comúnmente en otros dispositivos electrónicos. Además, contiene más de 30 elementos, incluidos los metales preciosos (por ejemplo, oro, cobalto, paladio y rodio). Un teléfono celular también contiene metales tóxicos y productos químicos orgánicos como los bromados. Por ello es importante analizar este dispositivo móvil, aplicando la herramienta del ciclo de vida para conocer los impactos que ocasiona a lo largo de su vida. De acuerdo a Cruz (2010) el teléfono celular es el AEE que más se desecha en el flujo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU's).

La gestión de los RAEE's representa una serie de desafíos que se deben enfrentar, no son sólo por los volúmenes que se están generando, sino también por la complejidad asociada al manejo de estos residuos, los cuales son uno de los flujos de más complejos debido a la gran variedad de productos que van desde dispositivos mecánicos para sistemas altamente integrados, así como el diseño del producto que cambia rápidamente. Los AEE's son una integración de varias tecnologías modernas y están compuestos de diferentes materiales y componentes (Kang y Shoenung, 2005).

Los AEE's contienen cantidades significativas de sustancias valiosas tales como los metales básicos, metales preciosos, plásticos de alta calidad y otros componentes que deben ser recuperados, al final de su vida útil. Existen varias medidas técnicas para reducir la cantidad de RAEE's. Se han desarrollado métodos de clasificación, desmantelamiento, descontaminación y tratamiento de RAEE's con el fin de reutilizar los AEE's o sus componentes, a través del reciclaje, y la recuperación del material valioso contenido en los RAEE's, pero aún no son ejecutadas completamente, debido a la falta de infraestructura necesaria y la puesta en práctica de medidas adecuadas de reutilización o reciclaje. Este esfuerzo podría ser más eficaz, con la existencia de normas técnicas internacionalmente reconocidas para la recolección selectiva, tratamiento y eliminación de RAEE's (Crowe et. al., 2003).

Silveira y Chang (2010) señalan que el objetivo principal de la gestión de este tipo de residuos es evitar que estén en el flujo de residuos domésticos. De acuerdo a Sinha et al. (2009), estos residuos deben manejarse por separado de los domésticos, por los componentes peligrosos que pueden ser liberados al ser dispuestos de forma incontrolada. Además, los programas de reciclaje y reacondicionamiento pueden mantener a estos residuos lejos del ambiente mientras se recuperan materias primas con alto valor, llegando a recuperar hasta un 90% en peso de su composición. Otro de los problemas ambientales que puede provocar la disposición de los teléfonos celulares, es el corto tiempo de vida de estos aparatos. De acuerdo a Polák y Drápalová (2012), los consumidores los usan en promedio dos años, lo que provoca una rápida rotación en el mercado y deja una cantidad significativa de residuos con propiedades específicas y necesidad de tratamiento.

El reciclaje de teléfonos celulares se refiere al proceso de recuperación de material de dispositivos obsoletos sin incluir baterías y accesorios, ya que las baterías requieren tratamientos específicos y los accesorios comúnmente terminan en tiraderos como materiales no peligrosos (Nokia, 2005; Jan y Kim, 2010).

Para evaluar el potencial de reciclaje de teléfonos celulares, es necesario conocer su composición y su factibilidad de recuperación. Los plásticos y los metales son los materiales principales que componen al celular. Los metales preciosos contenidos en la placa de circuito electrónico, se reciclan en una fundición de cobre. En la actualidad, los métodos de tratamiento están orientados a la recuperación de los metales preciosos, especialmente oro, paladio, platino, plata, lo que trae beneficios tanto económicos como ambientales (Nokia, 2005). Los efectos positivos del reciclaje de los metales superan la de cualquier otro material, ya que no sólo se obtiene materia prima sino que se evita utilizar recursos vírgenes. Es importante especificar que una operación de reciclaje debe cumplir con la normativa nacional, y cada país tiene sus propias determinaciones de los riesgos razonables para los trabajadores expuestos y poblaciones.

Los principales retos para un reciclaje efectivo de RAEE's, según Kang y Shoenung (2006) son:

- a. Leyes y reglamentos que fomenten el reciclaje de desechos electrónicos.
- b. Estimación precisa de las cantidades de RAEE's que serán generados tanto en el corto como a largo plazo.
- c. Tratamiento ambientalmente racional en centros calificados.
- d. Éxito de los mercados de recuperación y reciclado de materiales.

El reciclaje de los RAEE's es un tema importante no sólo desde el punto de vista del tratamiento de residuos, sino también desde el aspecto de recuperación de materiales valiosos. La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) ha identificado siete grandes beneficios cuando se utiliza hierro y acero secundario en lugar de materiales vírgenes. El uso de materiales reciclados en lugar de materiales vírgenes, produce importantes ahorros de energía. En la Tabla 2.2 se presentan los beneficios que se obtienen al usar materiales

recicladados, entre ellos el ahorro en el uso de materiales vírgenes, así como la reducción de residuos generados por los consumidores entre otros (ISRI, 2003).

Tabla 2.2 Beneficios en el uso de materiales reciclados

Beneficios	%
Ahorro de energía	74
Ahorro en el uso de materiales vírgenes	90
Reducción de contaminación de aire	86
Reducción de uso de agua	40
Reducción en contaminación de agua	76
Reducción de desechos mineros	97
Reducción de los residuos generados por el consumidor	105

Fuente: Institute of Scrap Recycling Industries, 2003

En la Tabla 2.3 se presenta el ahorro de energía al usar material reciclado, por tipo de material, que va de 60% en el uso de materiales reciclados de zinc hasta el 95% de ahorro en material de aluminio.

Tabla 2.3 Ahorro de energía a través del uso de materiales reciclados (hierro/acero)

Materiales	Ahorro de energía (%)
Aluminio	95
Cobre	85
Hierro y Acero	74
Plomo	65
Zinc	60
Papel	64
Plásticos	>80

Fuente: Institute of Scrap Recycling Industries, 2003

En la actualidad, el reciclaje de los RAEE's se pueden dividir en tres grandes etapas:

- 1) *Desmontaje*. Seleccionar/separar componentes peligrosos y/o valiosos.
- 2) *Actualización*: Uso de procesos mecánicos/físicos y/o procesamiento metalúrgico para obtener materiales deseables. Preparación de materiales para el proceso de refinación.
- 3) *Refinación*: los materiales recuperados vuelven a su ciclo de vida.

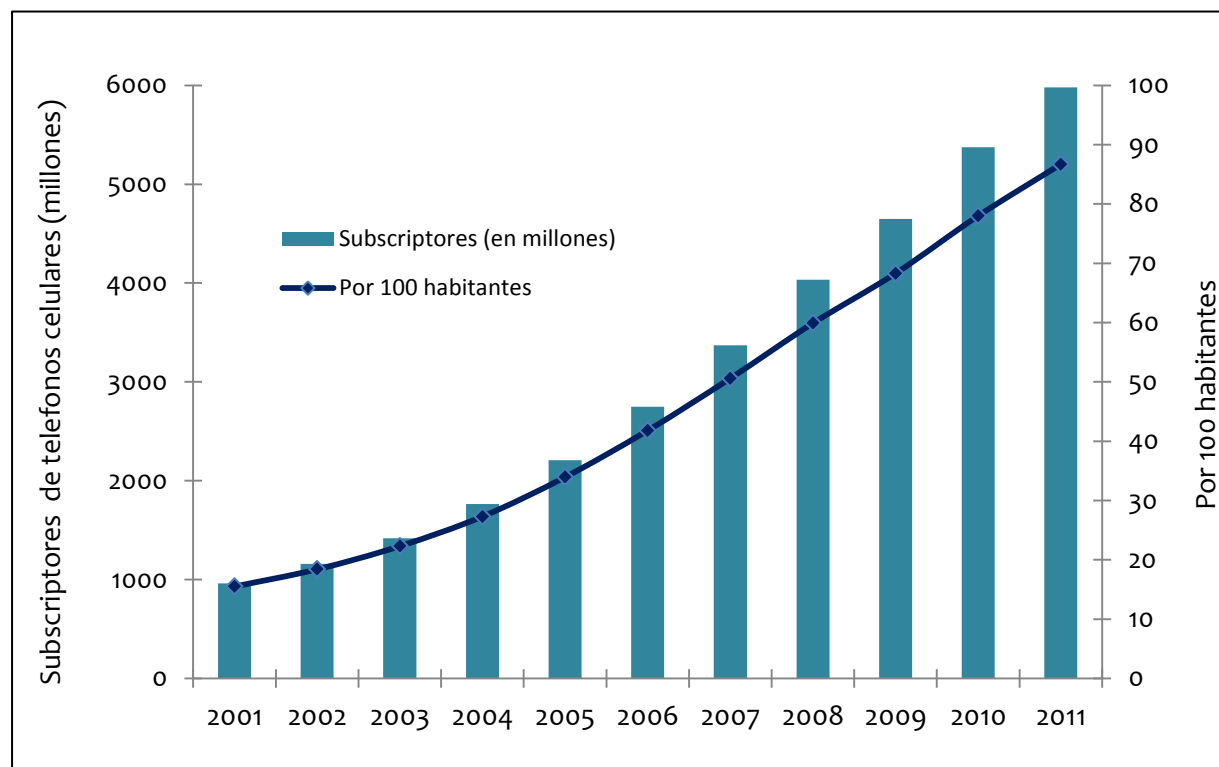
Los RAEE's son una fuente de metales, que a partir del punto de vista ambiental, la recuperación de estos tiene el mayor impacto positivo (IPMI, 2003). En el reciclaje de celulares, en México, participan empresas como Recall Internacional y Telefónica México, entre otras. La primera es una empresa ubicada en la Ciudad de México, líder mundial en el manejo de teléfonos celulares usados, con más de 10 años de experiencia en programas de recolección y reciclaje. La segunda, Telefónica México, compete desde el 2001 en el mercado nacional de las telecomunicaciones, destacándose por la cercanía con los clientes. A partir de 2006, se convirtió en la primera operadora de telefonía celular en implementar un programa de reciclaje de celulares para el público en general, instituciones de gobierno, universidades e iniciativa privada, logrando en 2011, el reciclaje de 2,351 kg de celulares y 304 kg de accesorios.

2.2.1 El mercado de la telefonía móvil a nivel mundial

El mercado de la telefonía móvil a nivel mundial no es homogéneo y las diferencias se derivan, entre otras razones, por los distintos roles que las comunicaciones móviles juegan en función del nivel de bienestar económico. Así, en muchos países poco desarrollados, las redes móviles sustituyen a las fijas como redes básicas de comunicaciones. En los países más ricos, los servicios móviles primero tuvieron un nicho de mercado específico, sobre todo entre usuarios profesionales, aunque en pocos años se ha extendido a todos los niveles de la sociedad. Sin embargo, en un principio estos servicios no eran substitutivos de otros servicios de telecomunicaciones, sino que desarrollaron su propio nicho de mercado.

Los teléfonos celulares son ahora una parte integral de la telecomunicación moderna. En muchos países, más de la mitad de la población los utiliza y el mercado está creciendo rápidamente, siendo el teléfono celular uno de los aparatos electrónicos de consumo de mayor demanda, de acuerdo a Jang y Kim (2010). La elevada demanda de este aparato electrónico es debida a que además de servir como complemento al teléfono fijo, se ha convertido en un medio de comunicación de mucha importancia.

El uso del teléfono celular ha crecido aceleradamente, tal y como muestra la Figura 2.3, que representa el crecimiento de suscriptores a telefonía móvil de 2001 a 2011. Se observa que aumentó de 962 millones de suscriptores a nivel mundial en 2001, a casi 6,000 millones en 2011. Por cada 100 habitantes, aumentó de 15.5 en 2001 a 86.7 en 2011.



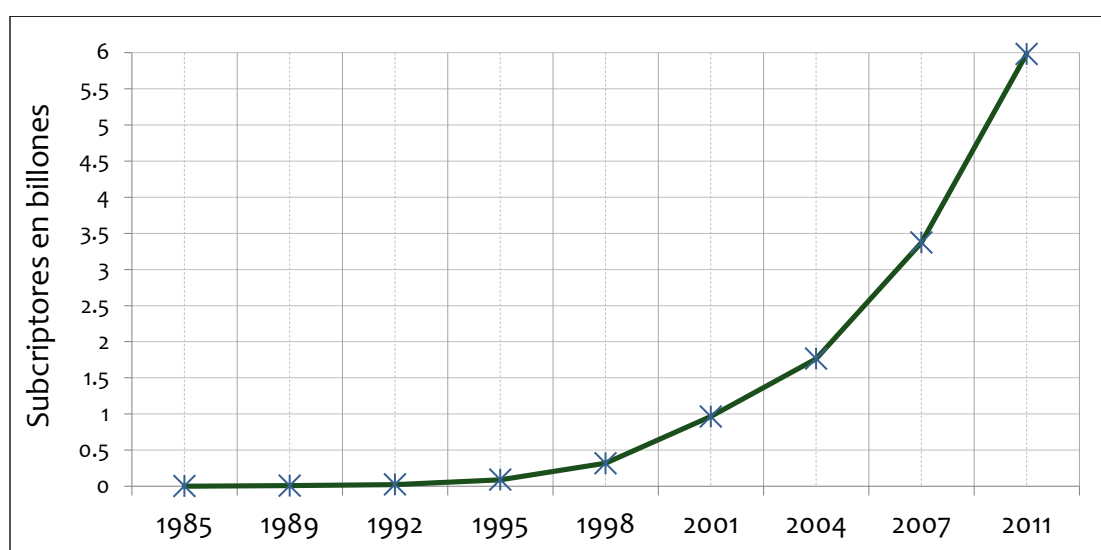
Fuente: ITU, 2011 World Telecommunication /Base de datos de Indicadores

Figura 2.3 Penetración de la telefonía móvil a nivel global

El número de suscriptores ha aumentado, y por tanto; se ha incrementado la generación de residuos (Nnorom et al., 2009). En la actualidad es un servicio que facilita el desarrollo de las actividades y ha experimentado un enorme aumento en la penetración desde la implementación del innovador Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM) a principios de 1990 (Scharnhorst et. al., 2005, 2006a, y 2006b).

En la Figura 2.4 se puede observar cómo ha sido el comportamiento de los suscriptores a telefonía móvil a partir de 1985. Se muestra claramente el crecimiento exponencial, principalmente en los últimos 10 años, ya que en la década de los ochenta se mantuvo con poco crecimiento, y no fue hasta finales de los noventa

cuando se observa el crecimiento exponencial. El mercado de la telefonía móvil mundial ha llegado a un punto de saturación con al menos una suscripción de teléfono celular por persona. Esto significa que el crecimiento del mercado está siendo impulsado por la demanda mundial, encabezada por la rápida adopción de este tipo de servicio en las naciones más pobladas del mundo como China e India. Estos dos países en conjunto agregaron 300 millones de nuevas suscripciones en 2010. El 30 por ciento de los usuarios en el mundo de teléfono celular viven en India y China.

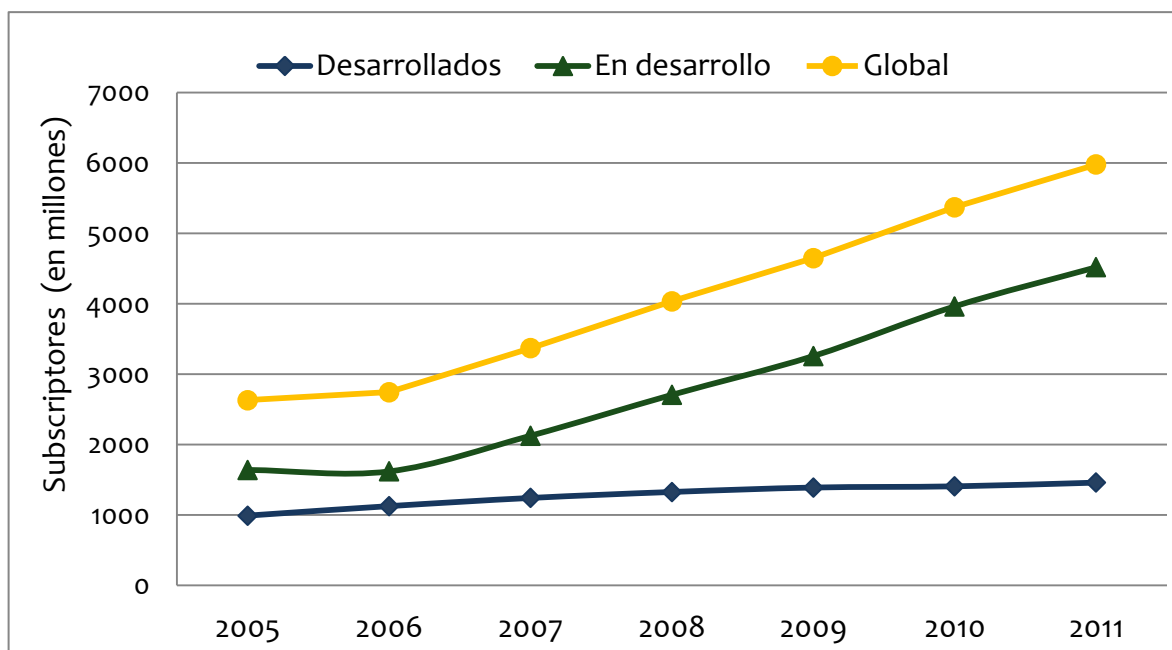


Fuente: OECD, 2008, World Development Indicators, 2008 y ITU; 2011

Figura 2.4 Suscriptores a telefonía móvil a nivel mundial

Barrantes et al. (2007) afirman que el significativo aumento de la penetración de la telefonía a nivel mundial en la última década se debe, en gran medida, a la introducción de los servicios de telefonía móvil en los países en desarrollo. Mientras que en los países desarrollados la telefonía móvil se presenta como servicio complementario a una red de telefonía fija extendida a prácticamente todos los hogares y empresas, en los países en desarrollo esta nueva plataforma permite el acceso a segmentos de la sociedad con escaso acceso al servicio de telefonía tradicional.

En la Figura 2.5 se muestra gráficamente cómo ha sido la penetración de la telefonía móvil en el mundo. Se observa que a nivel global el crecimiento ha aumentado, al igual que en los países en desarrollo, ya que a partir del 2006 en ambas líneas se observa la misma tendencia. En cambio, en los países desarrollados se incrementó muy poco.



Fuente: ITU, 2011

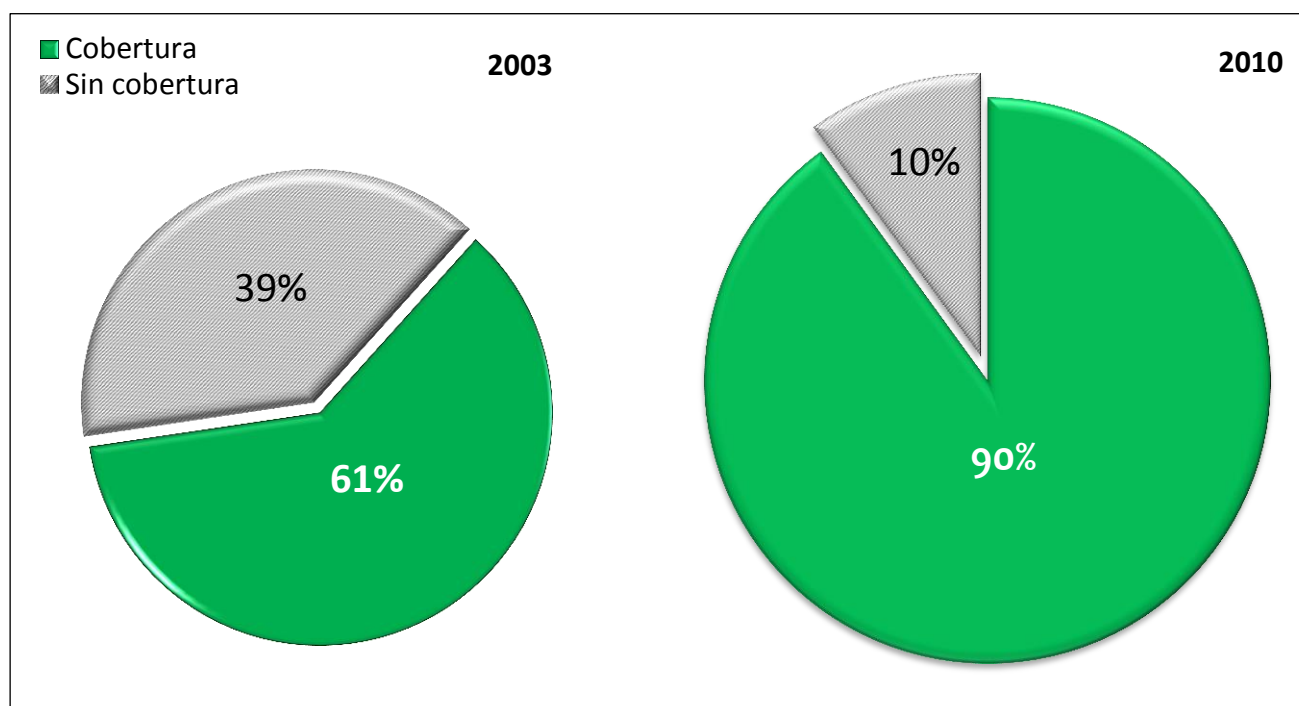
Figura 2.5 Subscriptores a teléfono celular en el mundo por nivel de desarrollo

De acuerdo a la ITU (2011), a finales de 2011 había casi cinco mil millones de suscripciones a teléfono móvil en los países en desarrollo, lo que representaba el 76 por ciento de las suscripciones globales. En América Latina el crecimiento fue de 459 millones de subscriptores en 2005 a 969 millones en el 2011. De hecho, García (2009) señala que de los países subdesarrollados o emergentes, como él les denomina, esta es la región donde la telefonía celular más crece explicando que en el 2008 alcanzó más de 370 millones de usuarios.

En la actualidad la telefonía móvil puede ser considerada como la tecnología de mayor éxito en la historia de las telecomunicaciones, debido a que ha tenido un desarrollo de tal magnitud que incluso ha saturado los principales mercados mundiales (Vacas, 2007).

Es una realidad que el uso del teléfono celular ha revolucionado el área de las comunicaciones. Tradicionalmente, los teléfonos celulares se mantuvieron fuera del alcance de la mayoría de los consumidores debido a los altos costos involucrados y el acceso a la cobertura de la señal. Pero en la actualidad, esto ha cambiado. En la Figura 2.6 se presenta una gráfica en la que se muestra cómo ha crecido a nivel mundial la población que tiene acceso a la señal de telefonía móvil, que ha pasado de ser del 61 por ciento en 2003 a 90 por ciento en 2010.

El auge de los teléfonos celulares en la última década ha sido excepcional, Schuster y Pérez (2012) indican que los usuarios de teléfonos celulares en países en desarrollo, incluida la población pobre, han sido particularmente beneficiados por esta tendencia. Con frecuencia han saltado directamente a la tecnología móvil sin pasar por la infraestructura de las líneas telefónicas fijas y ahora representan dos terceras partes del total de suscriptores a la telefonía móvil.



Fuente: ITU, 2011

Figura 2.6 Población mundial con señal de telefonía móvil de 2003 comparado con 2010

2.2.2 Telefonía móvil en América Latina y México

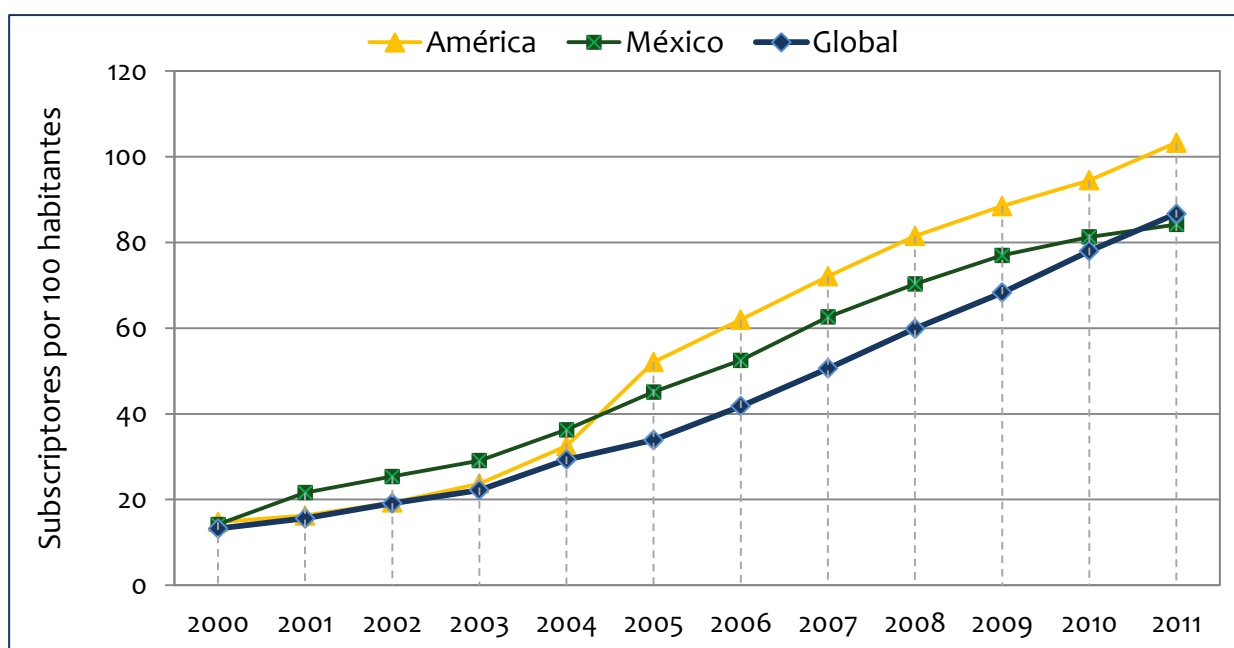
En la última década, la penetración de la telefonía móvil en América Latina ha crecido de manera exponencial, impulsada en gran parte por la oferta de servicios de este sector. Esto ha sido especialmente relevante para las personas con menos recursos, quienes por muy diversos motivos habían tenido acceso limitado a los servicios tradicionales de telefonía fija. De hecho la telefonía móvil se ha convertido en América Latina y el Caribe en la tecnología más habitual, después de la televisión y la radio. Según un estudio reciente de Fernández et al. (2011), se podría afirmar que a mayor implantación de la telefonía móvil, menores niveles de pobreza. Asimismo, indican que la rápida difusión de la telefonía móvil en los países en desarrollo está cambiando las relaciones entre los diversos actores económicos y los modos de relación interpersonal, contribuyendo a la mejora del bienestar económico de los grupos menos favorecidos.

Bouverot (2011) afirma que la telefonía móvil en América Latina es el tercer mercado más grande del mundo por volumen, después de Asia y África, con más de 600 millones de conexiones en el tercer trimestre de 2011. La región está experimentando un rápido crecimiento de este sector, impulsado por la mayor accesibilidad y asequibilidad de servicios móviles que se potencia gracias a la escasez relativa de la infraestructura fija. Se espera que América Latina tenga 750 millones de conexiones para 2015.

Al analizar el número de subscriptores por cada cien habitantes en México, América Latina y a nivel global, se observa que el crecimiento ha ido en aumento y se ha mantenido en constante ascenso. En la Figura 2.7 se muestra el crecimiento en el periodo del 2000 hasta el 2011. En la gráfica se observa que el crecimiento fue mayor en Latinoamérica, que de 14 subcripciones por cada 100 habitantes en el 2000 pasó a 103 en el 2011. En cambio, en México el crecimiento fue menor, y de 14 subcripciones aumentó a 84 en el mismo periodo. A nivel global creció de 13, en el año 2000 a 87 en el 2011.

Con relación a la cobertura en Latinoamérica, García (2009) señala que el extenso territorio que conforma este continente ha obligado a que los despliegues

de las redes de telefonía celular se centren en las zonas más pobladas, esencialmente en áreas urbanas en la mayoría de estos países. Las redes con mayor cobertura geográfica se encuentran en México, Argentina, Uruguay, Chile y Brasil, donde las zonas más densamente pobladas coinciden en gran medida con las áreas de cobertura.



Fuente: Construcción propia

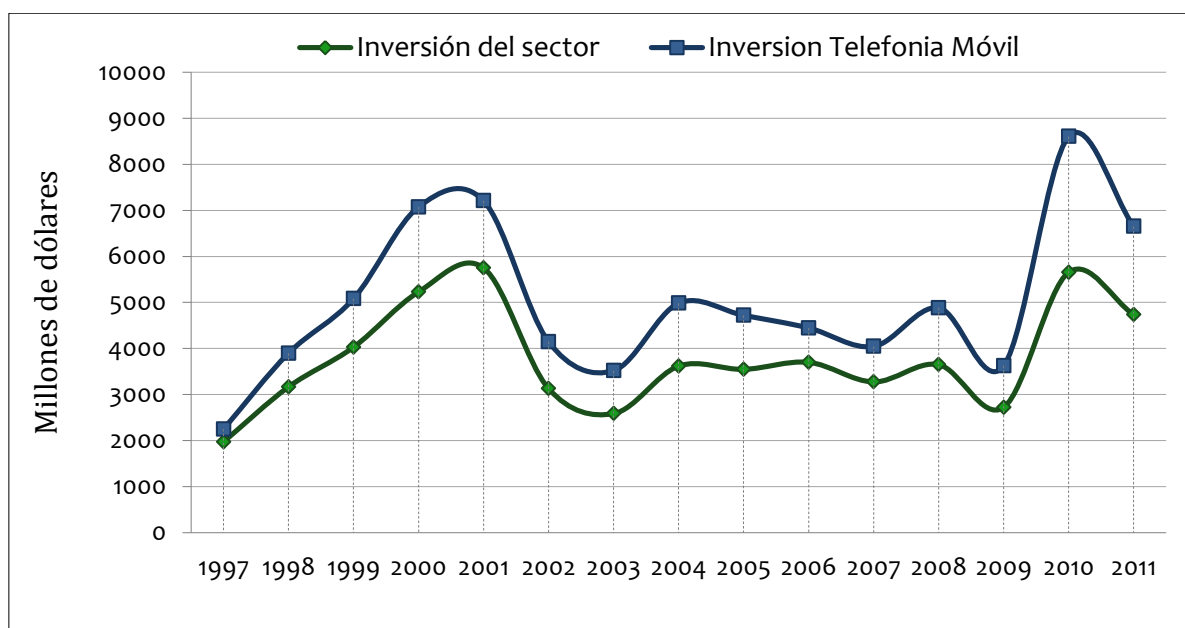
Figura 2.7 Comparación de suscriptores a teléfonos celulares por cada 100 habitantes

De acuerdo a Katz (2011), la telefonía móvil fue introducida en América Latina en 1989, la cual a finales de 2011 alcanzó una penetración promedio por encima de 100 por ciento. En algunos países la penetración sobrepasó 100 por ciento, por ejemplo en Argentina, donde la penetración ha alcanzado 141.79 por ciento, mientras que en Uruguay es de 131.71 por ciento, en Chile de 116 por ciento y Brasil de 104 por ciento. A pesar de que la penetración haya sido superior a 100 por ciento no significa que el nivel de penetración sea total, pero indica que los niveles de adopción se acercan a la universalización.

En el resto de la región, la telefonía móvil también se ha desarrollado siguiendo una tasa de crecimiento alta. En el año 2007 la penetración de la telefonía móvil en Chile fue de 83.90 por ciento, en Brasil 63.74 por ciento, en Colombia 76.53 por ciento

y en México 62.65 por ciento. Para 2009, 97.02 por ciento de la población chilena adoptó la telefonía móvil, en Brasil 90.02 por ciento, en Colombia 92.35 por ciento, y en México 77.06 por ciento. Para mediados de 2011, en Colombia la telefonía móvil alcanzó una penetración de 92 por ciento y en México de 84.2 por ciento. Al comparar el crecimiento con otros continentes, América Latina se encuentra en un nivel similar al de los países industrializados (ITU, 2011).

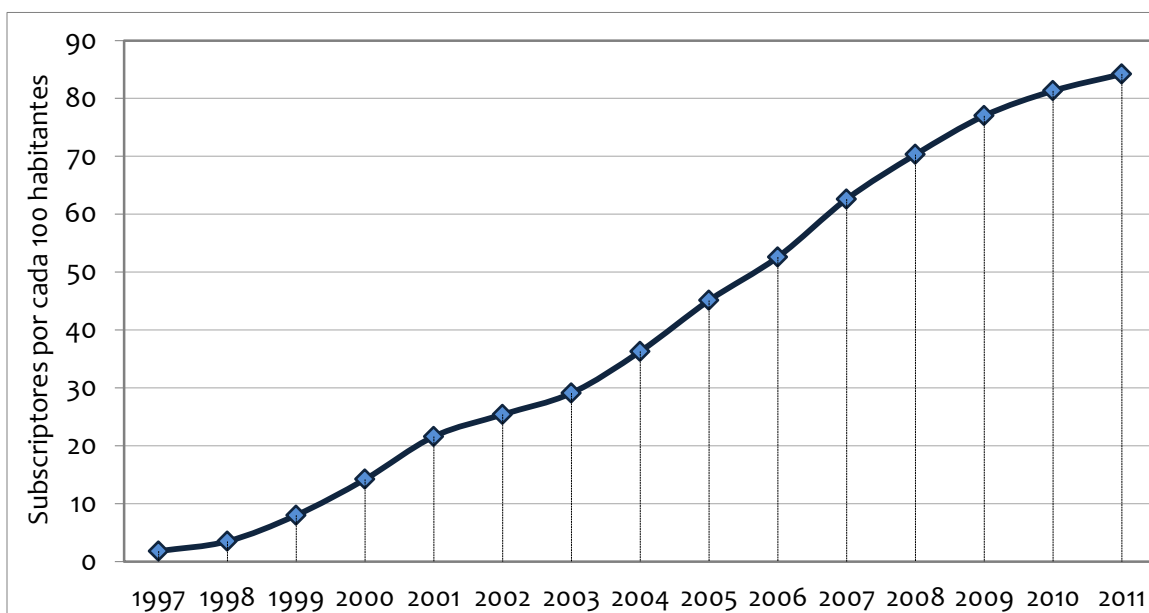
En México el crecimiento de la industria de las telecomunicaciones, entre los años 2000 y 2011, fue de 1.46 a 3.07 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB). Con relación a la inversión en el sector y particularmente en la telefonía móvil, en la figura 2.8 se muestra cómo ha sido desde 1997 hasta el 2011. Se registra un déficit de inversión en el sector telecomunicaciones, pues al 2011 no pudo recuperar el nivel máximo alcanzado en 2010, cuando se ejercieron flujos de capital por 5,749 millones. El segmento que presentó mayor incremento en la participación de la inversión fue el de la telefonía móvil, al pasar de 33 por ciento en 2009 a 52 por ciento en 2010.



Fuente: Comisión Federal de Telecomunicaciones, 2012

Figura 2.8 Inversión del sector telecomunicación y la telefonía móvil en México

La telefonía móvil en México ha seguido el mismo patrón que en el resto del mundo, el crecimiento ha sido exponencial. La densidad telefónica móvil por cada 100 habitantes pasó de 14.2 líneas en el 2000 a 84.2 en el 2011 (Figura 2.9).



Fuente: Comisión Federal de Telecomunicaciones, 2012

Figura 2.9 Subscriptores a telefonía móvil por cada 100 habitantes en México

De acuerdo con un estudio reciente realizado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (2012), en México, la falta de competencia en telecomunicaciones ha generado mercados ineficientes que imponen costos significativos a la economía mexicana y que inciden en forma negativa en el bienestar de su población. El sector se caracteriza por altos precios y se encuentra entre los más elevados de los países miembros de la OCDE. Debido a la falta de competencia, se produce una baja tasa de penetración de los servicios y un pobre desarrollo de la infraestructura necesaria para prestarlos.

2.3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA: UNA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

Las herramientas para el análisis del comportamiento ambiental son instrumentos que permiten obtener información para la identificación y/o cuantificación de los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de un producto, proceso o servicio, tales como el consumo de recursos y energía, generación de residuos y emisiones. A partir del análisis de la información obtenida a través de estas herramientas es posible determinar en qué etapa del ciclo de vida de un producto se

generan mayores impactos ambientales y de qué tipo. El resultado de este análisis representa una base para la mejora de los procesos relacionados al producto.

El ACV empezó siendo una herramienta para la evaluación de los impactos ambientales del producto y de uso particular de la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), (Consoli et al., 1993). Pero el ACV se ha ido universalizando y con el objetivo de uniformizar criterios y metodologías, se desarrollaron una serie de normas internacionales conocidas como la serie ISO 14040 (ISO 14040, 1997; ISO 14041, 1998; ISO 14042, 2000; ISO 14043, 2000), así como la norma española UNE 150041 (2007) sobre ACV simplificado. En el año 2006, la serie de normas 14040 se actualizó agrupando las normas 14040, 14041, 14042 y 14043 en la norma ISO 14040 (ISO 2006) y en la ISO 14044 (ISO 2006), quedando las anteriores derogadas.

El ACV es la técnica más aceptada actualmente por la comunidad científica para evaluar los impactos medioambientales de un producto, proceso o actividad en todo su ciclo de vida. Según la Norma ISO 14040 el ACV consiste en:

- La recopilación de un inventario de todas las entradas y salidas al sistema,
- La evaluación de los impactos ambientales globales potenciales asociados a las entradas y salidas,
- Interpretación de los resultados de las fases de inventario y evaluación de impacto en relación con los objetivos del estudio (ISO 14040-44, 2006).

Los procesos unitarios en el ciclo de vida de un producto son:

1. Extracción y proceso de materias primas,
2. Producción, transporte y distribución,
3. Uso, reutilización y mantenimiento,
4. Reciclado y eliminación del residuo.

El conjunto total de procesos unitarios o subsistemas que intervienen en el ciclo de vida de un producto se conoce como Sistema de Producto. Como lo muestra

la Figura 2.10 , el ciclo de vida de un producto comienza con la adquisición de materia prima y finaliza con la retirada del producto una vez terminada su vida útil.

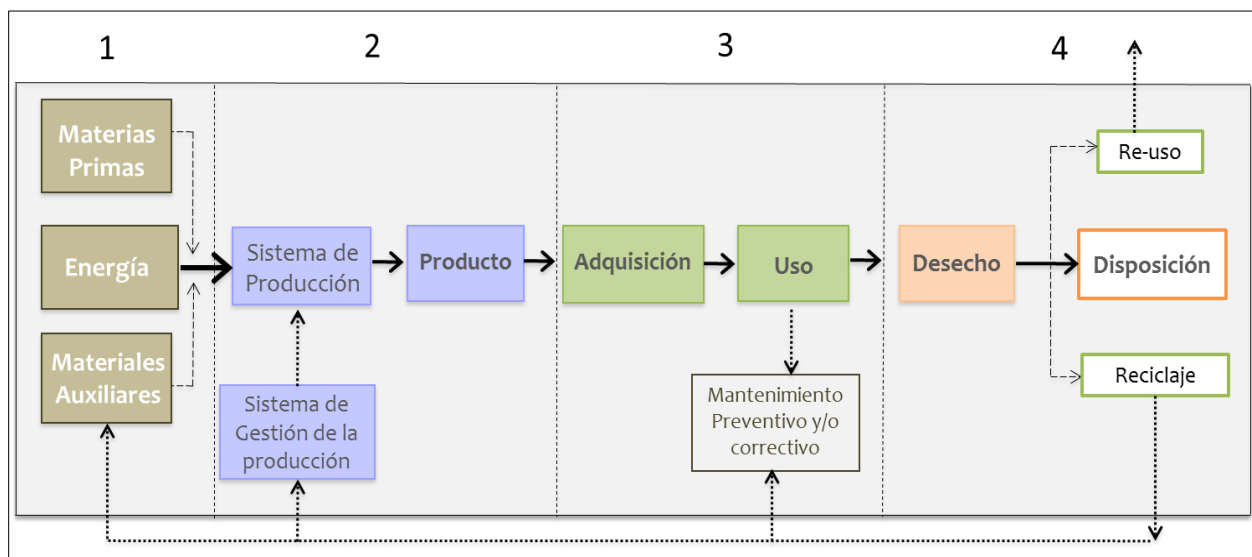


Figura 2.10 Estructura del ciclo de vida del producto

El ACV es la única herramienta de análisis de impactos ambientales que permite obtener además de una descripción del producto o proceso, una prospección de su evolución ambiental y una evaluación cuantitativa de sus impactos, además de servir como una herramienta para la comunicación formal de resultados. Entre las principales ventajas y bondades del ACV encontramos:

- Proporciona información exhaustiva y fiable de las consecuencias medioambientales de un producto en cada una de las etapas del ciclo de vida favoreciendo la identificación de las etapas ambientalmente críticas.
- Es una herramienta que permite destacar tanto las deficiencias como las fortalezas de un producto con base a criterios ambientales, facilitando la realización de comparaciones ambientales cuantitativas entre elementos diferentes.
- Identifica las oportunidades de mejora de un producto, referente a aspectos ambientales de un producto en las etapas de su ciclo de vida.

2.3.1 Descripción de la metodología ACV

La primera definición consensuada del ACV y más utilizada internacionalmente es la propuesta por la SETAC (Consoli et al., 1993) ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar las consecuencias que ese uso de recurso y esos vertidos producen en el medio ambiente y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental.

El estudio incluye el ciclo completo del producto y se proponen varias etapas para llevar a cabo el ACV según la metodología propuesta por la SETAC (Figura 2.11).

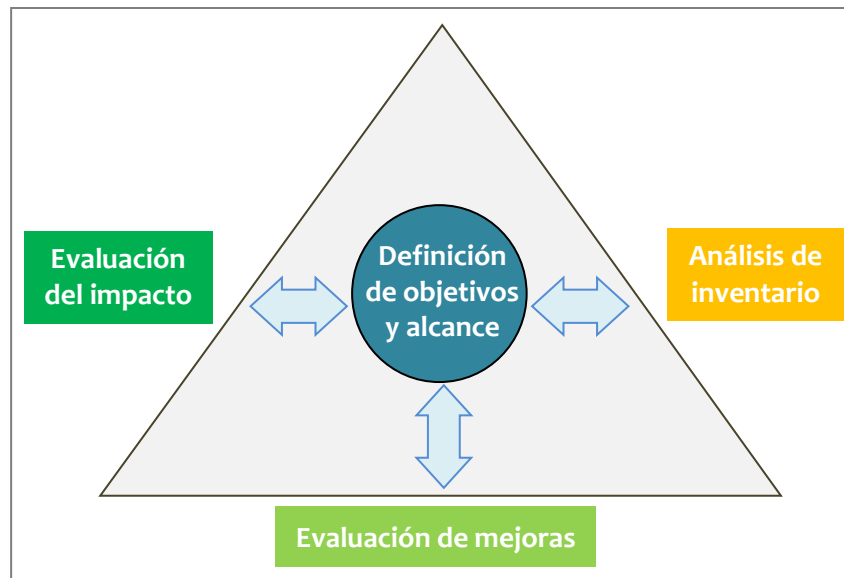


Figura 2.11 Etapas del ACV, SETAC (Consoli et al., 1993)

Posteriormente, con la publicación de la serie de normas ISO 1404X, la norma ISO 14040 (1998) propone el esquema metodológico de la Figura 2.12, que se mantiene en la actual ISO 14040-44 (2006).

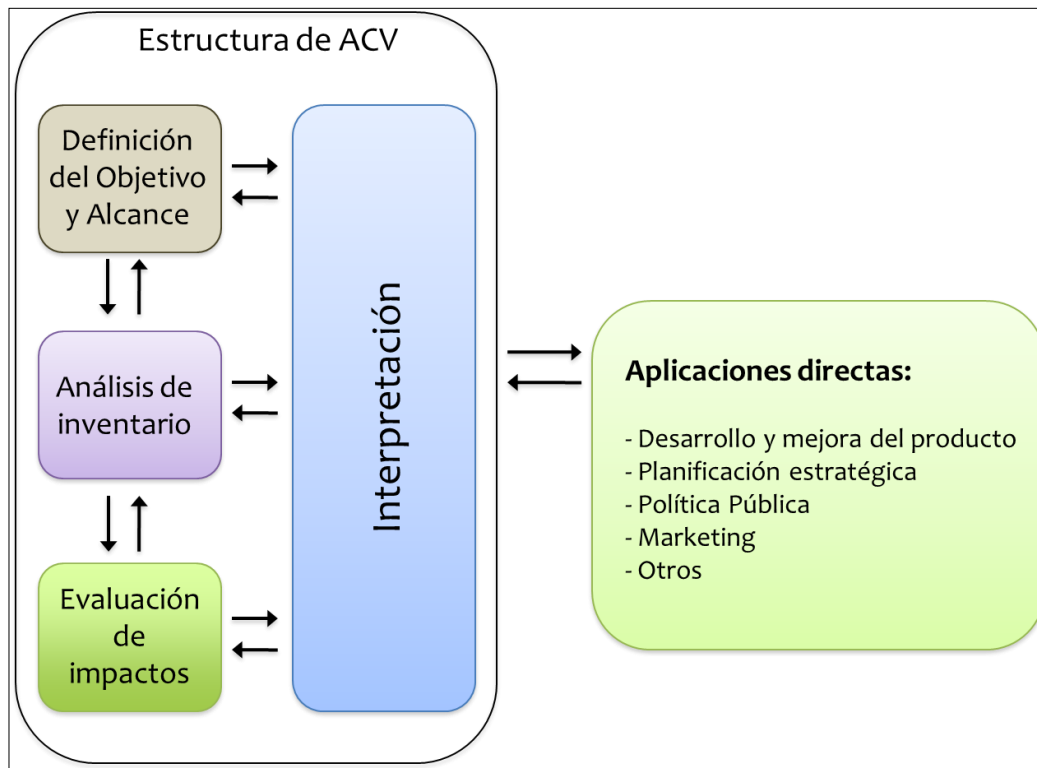


Figura 2.12 Esquema de ACV. Norma ISO 14040-44 (2006)

2.3.2 Etapas del Análisis de Ciclo de Vida

Etapas 1. Definición de objetivos y alcance

La evaluación del ciclo de vida comprende cuatro etapas. La primera etapa es la definición de objetivos y alcance del estudio que identifica el propósito de ACV y determina límites y suposiciones basadas en el objetivo definido. De acuerdo a las indicaciones de la norma ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), esta etapa a su vez puede subdividirse en las siguientes fases:

- *Definición de objetivos:* La definición de objetivos debe incluir de forma clara, la razón que nos lleva a realizar un estudio y el uso que se pretende dar a los resultados. Del mismo modo, esta fase debe incluir el tipo de decisión que se pretende alcanzar, la información que se requiere, nivel de detalle y utilización del estudio.

- *Definición del alcance:* El alcance define el ámbito de aplicación del estudio, límites del sistema, requerimientos de datos y categorías de datos que se van a utilizar, hipótesis, etc. El alcance debe definirse de forma que se asegure que la profundidad del estudio es compatible con los objetivos definidos inicialmente.
- *Definición de la unidad funcional:* Elemento clave del ACV, es aquella a la que irán referidas todas las entradas y salidas del sistema. Su definición es importante para poder realizar comparaciones entre varios sistemas basados en la misma función.
- *Definición de un procedimiento que garantice la calidad de los datos:* se define como el grado de fiabilidad de los datos de entrada y salida, tanto de forma individual como global.

Etapas 2. Inventario del ciclo de vida

En la etapa de inventario se contabilizan los impactos medioambientales que el sistema en estudio ejerce sobre el medio. Por tanto, cada una de las etapas o procesos individuales pueden ser considerados como subsistemas. Para cada uno de los subsistemas se especifica las materias primas, materias auxiliares, energía utilizada y emisiones medioambientales. En la Figura 2.13 se
muestra la estructura de un sistema completo iniciando con la adquisición de materia prima y finalizando con la disposición del producto.

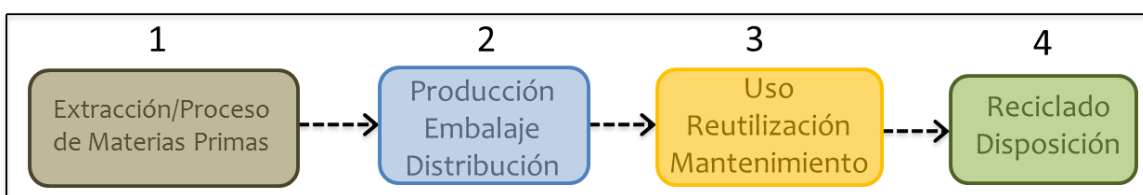


Figura 2.13 Etapas del ciclo de vida

Para cada uno de los subsistemas o procesos en que puede subdividirse el ciclo de vida del producto se requiere identificar los datos de entrada (materia y energía) y salidas (productos y emisiones gaseosa, líquidas y sólidas) de acuerdo al diagrama de flujo propuesto por ISO/TR 14049 (2012) que se muestra en la Figura 2.14.

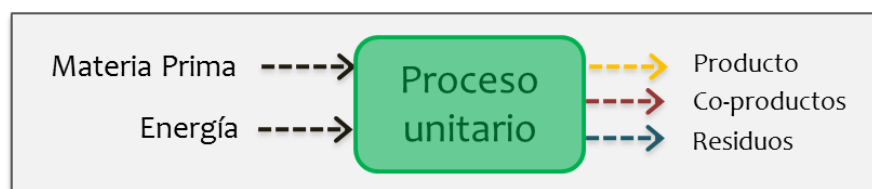


Figura 2.14 Etapa de inventario. ISO 14044 (2006)

La Tabla 2.4 muestra los datos de entrada necesarios para realizar el inventario en cada etapa del ciclo de vida del producto.

Tabla 2.4 Definición de entradas al ICV por proceso

Proceso	Descripción
Extracción y proceso de materias primas	Actividades necesarias para la extracción de la materia prima y el consumo energético necesario para su obtención, incluyendo el transporte de la materia prima hasta el punto de fabricación del producto final.
Producción, transporte y distribución	Comprende las etapas de transformación de la materia prima en producto final, incluyendo consumo energético, embalaje y el transporte hasta los puntos de distribución del producto.
Uso, reutilización y mantenimiento	Esta etapa incluye cualquier actividad en la vida útil del producto y su embalaje, así como su mantenimiento y posible extensión de vida.
Reciclado y disposición del residuo	Esta etapa inicia al finalizar la vida útil del producto, para entrar en una nueva etapa de gestión del residuo.

El resultado que se obtiene del inventario es la cuantificación de las emisiones al medio ambiente, diferenciando entre emisiones atmosféricas, vertidos líquidos y residuos sólidos.

Los datos a incluir en el Inventario del Ciclo de Vida (ICV) deben recopilarse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema. Para ello, puede recurrirse a recopilarlos a partir de datos de campo o utilizar Bases de Datos (BD), públicas o comerciales, como las que se muestran en la Tabla 2.5. Es importante resaltar que la validez del estudio depende de la calidad de los datos utilizados en el Inventario (ICV).

Existen diferentes bases de datos comerciales que incorporan los resultados de estudios de ICV aplicados a diferentes materiales y procesos. Estos estudios han sido realizados, mayoritariamente, en países como Suecia, Holanda y Suiza y corresponden a la situación local.

- BUWAL250/SAEFL250. (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). Base de Datos desarrollada por la Agencia Suiza para el Medio Ambiente, Bosques y Paisajes (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape-SAEFL, 1998). De acuerdo a la situación de Suiza esta base de datos contiene el inventario para materiales de embalaje (aluminio, cristal, plástico, papel, cartón y acero), incluyendo además, las sistemas de energía y transporte utilizados. El inventario incluye el proceso de la extracción de las materias primas hasta convertirse en material de embalaje. El tratamiento de los residuos se considera de forma separada.
- Idemat 2005. Idemat (2005) es una BD desarrollada en la Universidad Tecnológica de Delft (Holanda) y contiene información ambiental y técnica acerca de materiales, procesos y componentes utilizados en el desarrollo de productos. Además, esta base de datos proporciona información sobre la calidad de los datos que contiene a través de dos indicadores: fiabilidad y representatividad.
- IVAM 4.04. BD creada por IVAM Research Institute (Holanda) (Lindeijer y Ewinjk, 1998). IVAM 4.04, se compone de aproximadamente 1350 procesos, más de 350 materiales. Es una BD genérica que incorpora información de diferentes fuentes, entre ellas destacan BUWAL250 y APME (Association of Plastics Manufacturers in Europe). Como principal diferencia incorpora, además de las categorías que incluyen el resto de las BD, un número muy amplio de materiales englobados en categorías como materiales de construcción y productos de agricultura (leche, pescado, pollo carnes, fertilizantes e insecticidas), industria eléctrica (paneles fotovoltaicos) y tratamiento de residuos (23 tipos de residuos con seis alternativas de procesamiento).
- Pré Consultants. Base de Datos reducida, incluida en el software SimaPro (2011) y que complementa la información de otras BD incluidas, como son: BUWAL250, Idemat, IVAM, ETH.

- Ecoinvent. Base de Datos desarrollada por SCLCI (Swiss centre for Life Cycle Inventories) conjuntos de datos de productos y servicios, de energía, transporte, materiales de construcción, productos químicos, pulpa y papel, tratamiento de residuos y el sector agrícola.
- Bounstead. Bases de datos que suministra cerca de 13,000 operaciones unitarias individuales, que cubren un gran número de procesamiento de materiales y procesos de producción de combustibles. Contiene tres grupos principales de archivos: los archivos de programa (datos de entrada y salidas), los archivos de datos básicos (procesos, emisiones al aire, emisiones al agua, residuos y materias primas) y los archivos de datos principales (producción de combustibles, procesamiento de materiales, materias primas, combustibles, emisiones, residuos, etc.).
- Franklin. Datos de inventario de materiales, energía y transporte para Norte de América. Provenientes de una variedad de fuentes públicas y privadas, informes estadísticos, y conversaciones telefónicas con expertos.
- ELCD 3.0. Desde su primera versión en 2006, ELCD (European Reference Life Cycle Database) comprende datos de inventario de asociaciones empresariales a nivel de la UE y otras fuentes de materias clave, referentes a energía, transporte y gestión de residuos. incluida en el software SimaPro 2011. Versión enfocada en la calidad, coherencia y aplicabilidad de los datos.

Tabla 2.5 Ejemplos de bases de datos de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

Base de datos	Referencia	País
Ecoinvent	http://www.ecoinvent.ch/	Suiza
Idemat	http://www.idemat.nl/	Holanda
Franklin US LCI	http://www.fal.com/	EE.UU.
Boustead Model	http://www.boustead-consulting.co.uk/	U.K.
ELCD	http://lca.jrc.ec.europa.eu/	Europea
IVAM LCA Data	http://www.ivam.uva.nl/	Holanda
LCA Food Database	http://www.lcafood.dk/	Dinamarca

Fuente: Bovea y Pérez, 2012

Cabe mencionar que la base de datos Ecoinvent© contiene un Inventario del Ciclo de Vida, resultado del trabajo conjunto de varios institutos suizos para actualizar e integrar bases de datos conocidas ETH-ESU 96, BUWAL 250 y otras varias bases de datos, tal y como muestra la Figura 2.15.

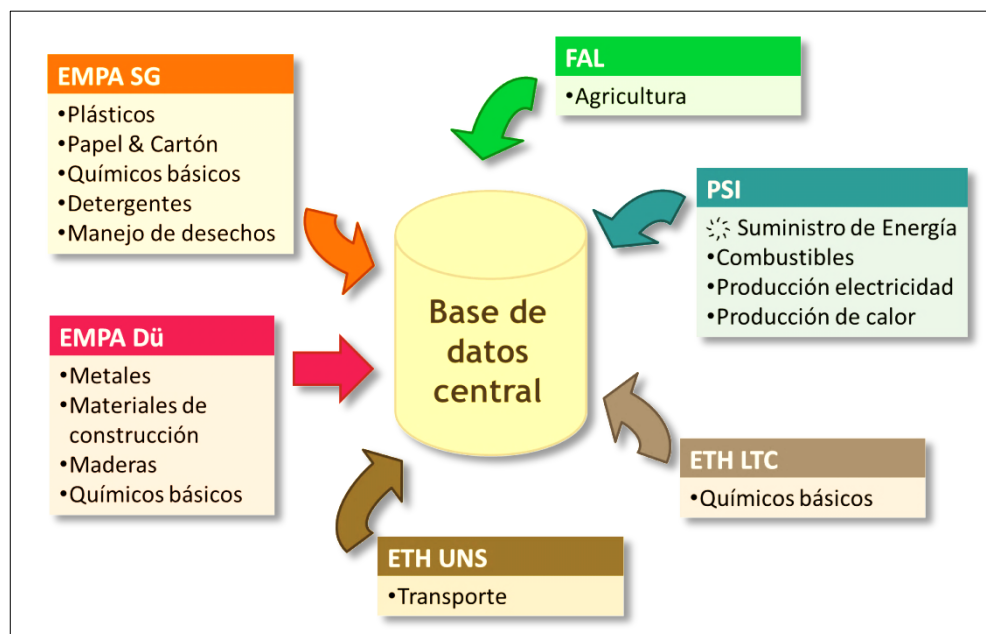


Figura 2.15 Organizaciones suizas que conforman Ecoinvent (Goedkoop et al.,2010)

Etapas 3. Evaluación del impacto ambiental

El objetivo de esta etapa es relacionar los datos de las emisiones cuantificadas en la etapa de inventario con una serie de categorías de impacto definidas previamente, y cuantificar la magnitud relativa de la contribución de cada contaminante a la categoría de impacto correspondiente. Los resultados de una EICV pueden utilizarse para identificar oportunidades de mejora, caracterizar o comparar variaciones de un sistema de productos en el tiempo, comparar sistemas diferentes de producto e identificar variables medioambientales críticas.

La evaluación del impacto es un proceso técnico, cuantitativo y/o cualitativo para caracterizar y evaluar los efectos de los contaminantes identificados en la etapa de inventario. La ISO 14014-44 (2006) propone cuatro etapas en la evaluación del impacto, según muestra la Figura 2.16.

- **Clasificación.** Es la etapa en la que se analizan los datos obtenidos del inventario. Los diferentes contaminantes se agrupan en categorías de impacto según el tipo de efecto que generan.
- **Categorización.** Etapa en la que se analizan los efectos de los agentes contaminantes, y si es posible, se cuantifican y agregan en categorías de impacto.

- **Normalización.** Los datos se normalizan por categorías de impacto para aumentar la posibilidad de comparar los datos de distintas categorías y tomar estos datos como base para la siguiente etapa.
- **Valoración.** Se evalúa de forma cualitativa o cuantitativa la importancia relativa de las distintas categorías de impacto, con el fin de obtener un único indicador de impacto ambiental del producto o sistema.

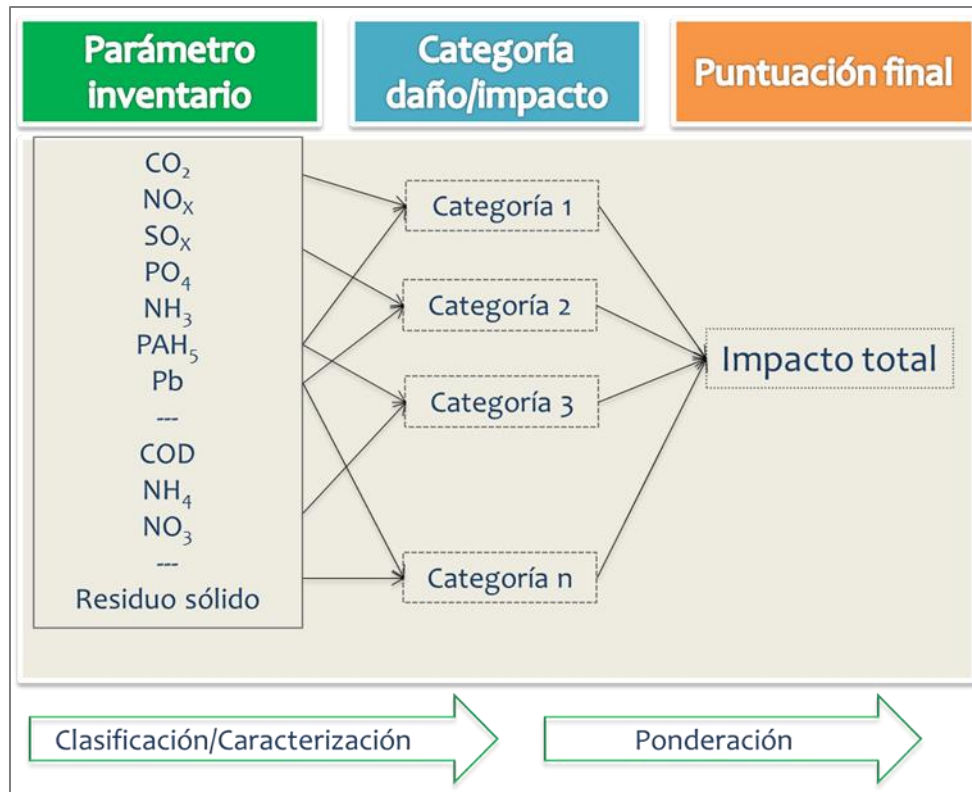


Figura 2.16 Pasos a seguir en la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida

Según la norma ISO 14044 (2006), el análisis de impacto puede realizarse a dos niveles:

- Elementos obligatorios, que permiten obtener un indicador para cada categoría de impacto (etapas de clasificación y caracterización).
- Elementos opcionales, que permiten obtener un único indicador que engloba toda la información del inventario mediante la aplicación de un método de evaluación del impacto (etapas de clasificación, caracterización, normalización y ponderación).

En las etapas de clasificación y caracterización, las categorías de impacto más comúnmente analizados son las mostradas en la Tabla 2.6 y descritas a continuación. Algunos métodos aplicables en esta etapa son CML2000 (Guinee, 2002), EDIP2003 (Hauschild & Potting, 2004), entre otros.

Tabla 2.6 Categorías de impacto y unidades en que se expresan

Categoría de impacto	Unidades
Agotamiento de recursos naturales	kg Sb eq
Efecto invernadero	kg CO ₂ eq
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Smog fotoquímico	kg C ₂ H ₄ eq
Acidificación	kg SO ₂ eq
Eutrofización	kg PO ₄ ³⁻ eq

- Efecto invernadero: fenómeno por el que determinados gases componentes de una atmósfera planetaria retiene parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar (Graedel y Crutzen, 1993). El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los principales responsables del efecto invernadero, tal y como se muestra en la Tabla 2 7, dado que la generación masiva de este compuesto y su emisión a la atmósfera altera el equilibrio natural, pues la atmósfera retiene más radiación aumentando gradualmente la temperatura de la tierra. Existen otros muchos gases que contribuyen con mayor intensidad a este fenómeno como son el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los gases clorofluorcarbonados (CFC) (Hansen et al., 1998).

Tabla 2 7 Gases que producen el efecto invernadero

Gas	Fuente Emisora	CONTRIBUCIÓN CALENTAMIENTO GLOBAL
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Combustibles fósiles, deforestación, destrucción del suelo.	54%
Metano (CH ₄)	Ganado, biomasa, arrozales, escapes de gasolina, minería	12%
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Combustibles fósiles, cultivos, deforestación	6%
Clorofluorcarbonos (CFC 11,12)	Refrigeración, aire acondicionado, aerosoles, espumas plásticas	21%
Ozono (O ₃) y otros	Fotoquímicos, automóviles, etc.	8%

Fuente: (Graedel y Crutzen, 1993)

- *La destrucción de la capa de ozono:* causada por la emisión de diversos tipos de gases que favorecen la desaparición del ozono que se encuentra en la estratosfera.
- *El smog fotoquímico:* originado por la emisión de compuestos tales como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), que provocan la generación de ozono de forma fotoquímica en la tropósfera. El ozono es un compuesto oxidante y tóxico que puede provocar problemas respiratorios en el ser humano.
- *La acidificación:* causada por la emisión de compuestos acidificadores como el dióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno y el amoníaco (NH_3), provenientes de las emisiones de grandes centrales térmicas que queman combustibles fósiles, los motores de los automóviles, las calefacciones, plantas industriales y el amoníaco aportado en grandes cantidades en el estiércol en zonas con un elevado número de explotaciones ganaderas intensivas. Dichas sustancias pueden reaccionar con el oxígeno atmosférico y disolverse en agua de lluvia, produciendo al precipitar la denominada lluvia ácida.
- *La eutrofización:* consiste en la presencia excesiva de materia orgánica en el agua provoca un crecimiento rápido de algas y otras plantas verdes que recubren la superficie del agua e impiden el paso de la luz solar a las capas inferiores. Por otra parte, la descomposición de la biomasa generada consume oxígeno empobreciendo el medio de este elemento vital. Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos.

Opcionalmente, es posible obtener un único indicador que engloba todos los indicadores por categoría de impacto, mediante la aplicación de un método de evaluación del impacto (elementos opcionales). Este paso es altamente subjetivo, pero necesario si se desea obtener un único indicador, de ahí que se hayan desarrollado diferentes métodos, no existiendo consenso a nivel internacional en la utilización de uno único. La norma ISO 14044 (2006) recomienda comparar los resultados obtenidos por varios métodos de evaluación. Algunos ejemplos de métodos de evaluación del impacto que permiten llegar a la ponderación de indicadores son: Ecoi.-indicador'95 (Goedkoop, 1995), Eco-Indicador'99 (Goedkoop & Spriensma, 2000), EPS'2000 (Steen, 1999 a,b), etc.

Interpretación de resultados

La etapa de interpretación, según la norma ISO 14040-44 (2006), combina la información obtenida en la fase de inventario y evaluación del impacto para llegar a identificar las variables significativas teniendo en cuenta los análisis de sensibilidad realizados. Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones de acuerdo con los objetivos y el alcance del estudio. La Figura 2.17 muestra la relación entre los elementos en la fase de interpretación contra otras fases del ACV.

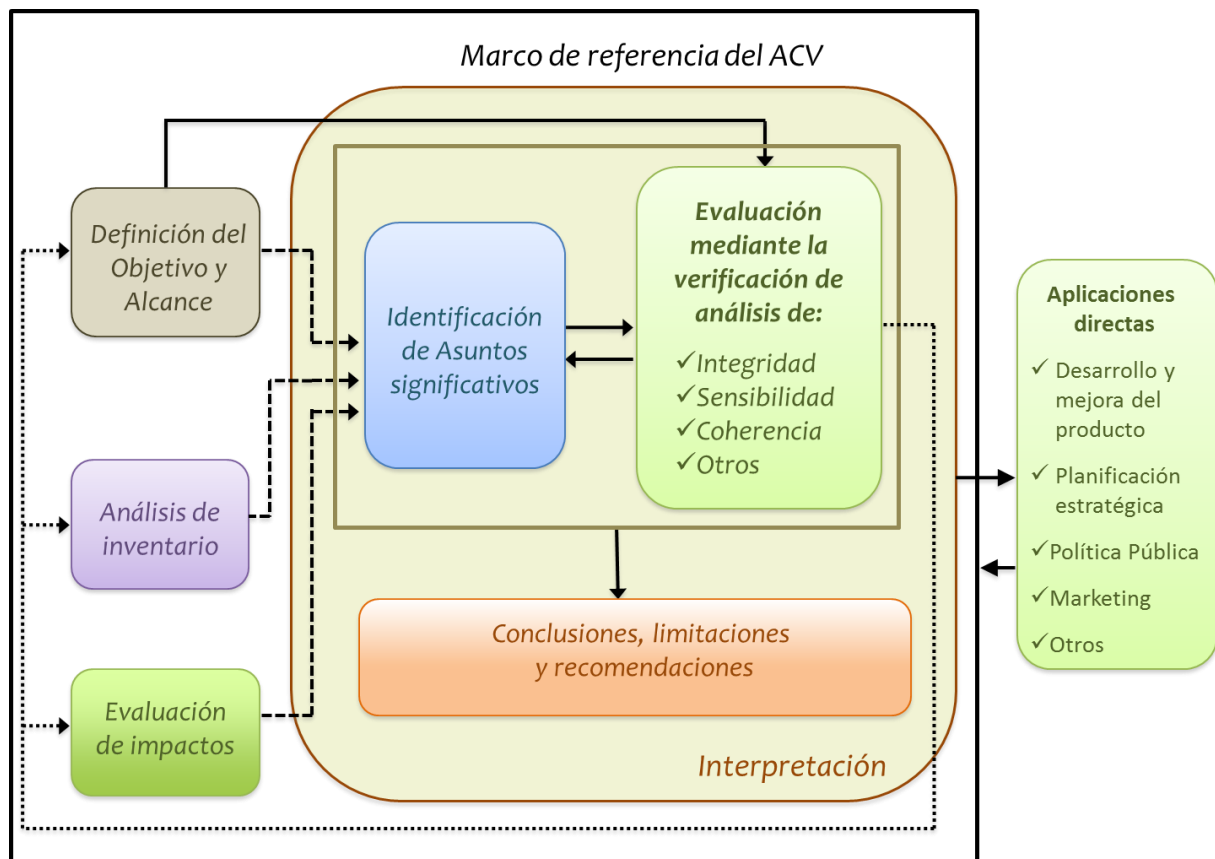


Figura 2.17 Fase de interpretación del ACV. ISO 14044:2006

2.4 COSTO DE CICLO DE VIDA: UNA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el contexto del desarrollo sostenible, el ciclo de vida de los productos está cada vez más regulado por un marco jurídico en el sector industrial, con el fin de garantizar la protección al medio ambiente y la salud humana.

El ciclo de vida del producto comprende desde que se concibe la idea de crearlo, su diseño, elaboración, entrega al consumidor y hasta su desaparición o extinción en el mercado. Según Alting (1993) son seis las etapas en la vida del producto: Reconocimiento de la necesidad, Desarrollo del diseño, Producción, Distribución, Uso y Disposición Final.

Tradicionalmente, los sistemas de análisis de costos de los productos se han enfocado en la evaluación de costos asociados con la etapa de producción, siendo que el mayor porcentaje del costo de un producto, es determinado en las fases preoperativas, es decir antes de iniciar su producción (selección de alternativas de producción, materia prima, maquinaria a utilizar, características del producto, etc.).

En los últimos años se han desarrollado varias técnicas con el objetivo de complementar la información ambiental de un producto con información relativa a sus costos. White et al. (1996) menciona que se está utilizando diferente nomenclatura para denominar técnicas con este objetivo común: Análisis del Costo Total (ACT o Total Cost Assessment o Full Cost Assessment o Total Cost Accounting - TCA) o Costo de Ciclo de Vida (CCV o Life Cycle Costing-LCC). Sin embargo, la principal diferencia entre ellas es que la metodología ACT se centra únicamente en el estudio de los costos de la compañía (también denominados costos internos), mientras que la metodología CCV considera, además, los costos que la sociedad debe soportar como consecuencia del impacto que produce el producto a lo largo de su ciclo de vida completo (también denominados costos externos o externalidades).

Desde una perspectiva de ciclo de vida, los costos de un producto no son exclusivamente los costos que contabiliza la compañía fabricante del producto. Asiedu y Gu (1998) mencionan que el costo del ciclo de vida de un producto consiste

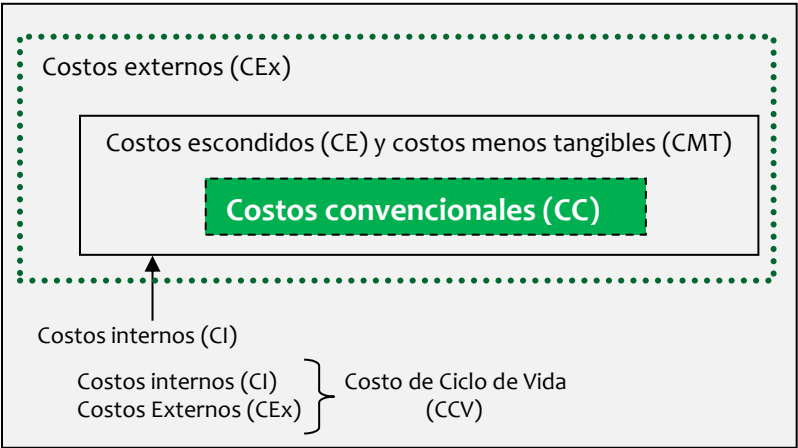
en un inventario de costos de la compañía, del usuario y de la sociedad desde su generación hasta su disposición final. Estos costos pueden clasificarse en categorías dependiendo de la etapa del ciclo de vida del producto, como muestra la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Etapas y costos del ciclo de vida

Costos ➡	De la compañía	del usuario	De la sociedad
Diseño	Reconocimiento del mercado Desarrollo		
Producción	Materia prima/Energía Servicios auxiliares Sueldos y Salarios		Residuos Contaminación Daños a la salud
Uso	Transporte Almacenaje Desperdicios Servicio de garantía	Transporte Almacenaje Energía Materiales Mantenimiento	Empaques Residuos Contaminación Daños a la salud
Disposición/ Reciclaje		Disposición final Reciclaje	Residuos Disposición Final Contaminación Daños a la salud

Fuente: Adaptado de Altling (1993)

Pero una estructura más adecuada y general para clasificar los costos de un producto es su división en costos internos y externos, según muestra la Figura 2.18.



Fuente: Adaptado de White et al. (1996)

Figura 2.18 Clasificación de los costos de un producto

Los costos internos son costos de los cuales la compañía es responsable en un período de tiempo determinado. Se denominan también costos totales de la compañía y pueden clasificarse en:

- ✓ Costos convencionales o directos: costos de materia prima, fabricación, transporte, equipamiento, etc.
- ✓ Costos escondidos o indirectos: permisos, licencias, gestión de residuos en la propia empresa, operaciones de control de la contaminación, etc., que se contabilizan como costos generales en lugar de asignarlos directamente al producto o procesos.
- ✓ Costos menos tangibles: costos como consecuencia de la mejora de la imagen de la compañía y el producto y la calidad del producto, la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores, etc. De forma análoga a los anteriores, estos costos se incluyen en la contabilidad de la empresa como gastos generales.

White et al. (1992), Sharma y Weitz (1995) o Asiedu y Gu (1998) describen las técnicas actuales que pueden aplicarse para calcular estos costos internos. Algunos ejemplos son los modelos paramétricos (basados en la predicción del costo de un producto a partir de regresiones de históricos o cualquier otra relación entre el costo y atributos mensurables del producto), los modelos de detalle (basados en la estimación del costo a partir de los tiempos de producción y cantidades de materia prima) o la metodología ABC (basada en la asignación de costos de un producto dependiendo de las actividades necesarias para su fabricación).

Un ejemplo de combinación de esta última metodología ABC con la metodología ACV es la que propone Hogan et al. (1997) y que denomina Gestión del Ciclo de Vida (Life Cycle Management –LCM). En ella se realiza una asignación de los costos considerados tradicionalmente como indirectos o generales a los productos o procesos en función de las actividades que crean la necesidad de su existencia.

Los costos externos son costos de los cuales la compañía no es responsable en un período de tiempo concreto, en el sentido de que no existe mercado ni regulación gubernamental que le asigne un costo. Por esta razón, son costos que, a pesar de ser reales, no se contabilizan en los costos generados por un producto.

Según Shields y Young (1991) y Nasr y Varel (1997), estos costos se denominan también costos sociales, ya que recaen a largo plazo sobre la sociedad. Desde esta perspectiva social pueden diferenciarse dos tipos de costos:

- ✓ Costo de retirada del producto. Son costos que recaen sobre el consumidor y la sociedad al final de la vida útil del producto.
- ✓ Costo del impacto ambiental. Estos costos pueden clasificarse en:
 - costos por la reducción de los recursos naturales,
 - costos de los impactos sobre la salud humana,
 - costos de los impactos ecológicos,
 - costos de los impactos sobre infraestructuras y edificios,
 - costos de los impactos sobre los cultivos, etc.

Puesto que todos ellos tienen una relación directa con costos ambientales, algunos autores utilizan la nomenclatura de eco-costos para referirse a ellos, aunque no siempre con el mismo significado.

Sin embargo, Shapiro (2001) menciona que a pesar de que los costos externos son costos reales, no es fácil realizar una rigurosa caracterización y cuantificación de ellos, ya que establecer un valor monetario de bienes para los cuales nunca ha existido un mercado es complicado.

Según Vogtländer y Bijma (2000) existen tres formas de medir los costos externos:

- Cuantificar el efecto negativo del daño generado por la contaminación (valoración del impacto).
- Cuantificar el esfuerzo requerido para prevenir el daño.
- Cuantificar el esfuerzo requerido para reparar el daño.

Algunos autores, para cuantificar los efectos negativos de la contaminación, han recopilado las valoraciones económicas que diversas publicaciones han estimado. Se diferencian en que unos establecen un precio para los contaminantes en función del daño (impacto) que producen, mientras que otros establecen un precio en función de lo que costaría prevenir las emisiones.

2.5 HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL ANÁLISIS DE INDICADORES

En general, los métodos de inteligencia artificial (IA) son una respuesta al deseo de aproximar el comportamiento y el pensamiento humano a diversos sistemas para la solución de determinados problemas. En la actualidad, estos métodos tienen gran auge y son motivo de interés y aplicación en diversas áreas de la investigación.

Los sistemas difusos tienen la capacidad de emular la forma de la inferencia humana y además pueden almacenar la experiencia en forma lingüística. Por su parte, las redes neuronales artificiales se sustentan en que pueden realizar el aprendizaje y la clasificación de patrones. Por otro lado los sistemas neuro-difusos tienen la capacidad de aprender y almacenar conocimiento en forma lingüística. Por último, los sistemas genéticos tratan de imitar la selección natural en la que se busca tener al individuo más fuerte, el cual posibilitará la realización de determinados procesos de optimización.

2.5.1 Entrenamiento de datos y detección de patrones

Uno de los problemas de la ciencia experimental es encontrar algoritmos y funciones que ajusten o expliquen datos que se observan de fenómenos naturales. La principal ventaja de la existencia de dichas funciones es la posibilidad de predecir el comportamiento de un sistema a futuro y controlar sus salidas mediante la aplicación de entradas adecuadas. Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) o simplemente Redes Neuronales, es una técnica de la IA, que nos permite establecer modelos utilizando datos o experiencias pasadas. De tal forma que se identifican patrones o regularidades en los datos y así posibilita la construcción de aproximaciones al problema (Palma y Marín, 2008).

Las redes neuronales se basan en generalizar información extraída de datos experimentales, los cuales se determinan por expertos humanos, reciben datos de entrada que se transforman para producir una salida, con el objetivo de clasificarlos o ajustar una función, esto, a través de un proceso de aprendizaje o entrenamiento, es

decir, modificación de parámetros de la RNA mediante un procedimiento prestablecido con la finalidad de mejorar su rendimiento.

Una RNA es un paradigma de procesamiento de información inicialmente inspirado en el modo en el que lo hace el cerebro. Las RNA están compuestas por cierto número de elementos de procesamiento o neuronas conectadas entre sí por conexiones que tienen asignado valor numérico modificable, llamado peso, y trabajando simultáneamente para resolver un problema específico (Giarratano y Riley, 2001).

Cada neurona puede recibir información de otras neuronas (que actúan para ella como entradas) o de una entrada externa, y a su vez generar información en una salida que puede servir de información de entrada a otras neuronas. El procesamiento que cada neurona hace con la información que recibe, consiste en generar un valor (información) de salida que es función de una combinación lineal de los valores de sus entradas, tal como lo resume la ecuación 1 (Ec. 1).

$$y_i = f_i \left(\sum_{j=1}^n W_{ij} X_j + b_i \right) \quad \text{Ec 1}$$

Dónde:

- y_i representa el valor de salida de la neurona i
- X_j es el valor de la entrada j (valor de la salida de otra neurona, también designada como el índice j)
- W_{ij} es el peso de la conexión entre las neuronas i y j
- b_i es el umbral o sesgo (bias) de la neurona
- f_i es la función de activación.

Esta función de activación puede ser lineal. Sin embargo, usualmente son de tipo No Lineal (sigmoidal, gaussiana, etc.). Esa no linealidad de la f_i constituye la base para que una RN pueda ser el aproximador universal de funciones no lineales. La estructura de una RNA está determinada por la disposición de las neuronas y de sus funciones de activación. Las neuronas se agrupan en capas, considerándose como “ocultas” aquellas que no corresponden a la capa de entrada (las neuronas que actúan como entrada de señales o valores externos) y la capa de salida.

La Figura 2.19 muestra la estructura de una RN, el modelo neuronal fue propuesto por McCulloch y Pitts (1943).

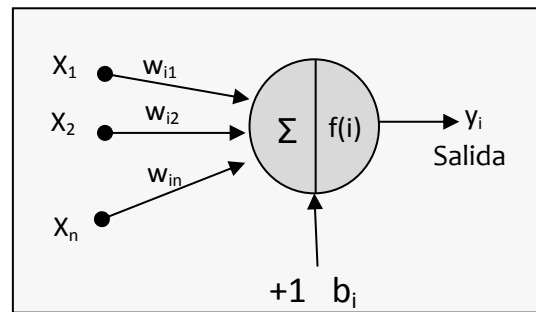


Figura 2.19 Modelo neuronal de McCulloch-Pitts

La principal característica de las redes neuronales es su capacidad de aprendizaje. Este aprendizaje consiste en el ajuste de los pesos de las conexiones entre neuronas de una forma iterativa para conseguir un efecto deseado, el de “aprender” las relaciones existentes entre los pares de valores de vectores de entradas-salidas que se le suministren, o encontrar un patrón común en los datos de entrada para poderlos clasificar de acuerdo a los distintos patrones.

Se basan en el modelo matemático propuesto por McCulloch y Pitts (1943) y se caracteriza por:

1. Un conjunto de unidades de procesamiento (Neuronas).
2. Un estado de activación para cada unidad, equivalente a la salida de la unidad.
3. Conexiones entre neuronas, generalmente definidas por un peso que determina el efecto de una señal de entrada en la unidad.
4. Una regla de propagación, que determina la entrada efectiva de una neurona a partir de las entradas externas.
5. Una función de activación que actualiza el nuevo nivel de activación basándose en la entrada efectiva y la activación anterior.
6. Una entrada externa que corresponde a un término determinado como fuerza de disparo para cada unidad.
7. Un método para reunir la información, correspondiente a la regla de aprendizaje.
8. Un ambiente en el que el sistema va a operar, con señales de entrada e incluso señales de error.

En este modelo cada neurona recibe un conjunto de entradas $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ y devuelve una única salida y . Dentro de cada RNA existen numerosas conexiones entre las diversas neuronas que la conforman y estas conexiones pueden establecerse con mayor o menor intensidad. Esta intensidad la determinan los pesos sinápticos (W_{ij}). De tal forma que cada entrada X_j se encuentra afectada por un peso W_k .

La intensidad de interacción entre dos neuronas está dada por el peso sináptico que las relaciona (W_{ij}): si es positivo, la neurona pre-sináptica excitará a la post-sináptica y si es negativo, la inhibirá. Inicialmente la RNA está conectada aleatoriamente, no dispone de ningún conocimiento útil almacenado. Para que pueda efectuar una determinada tarea necesita ser entrenada, lo que constituye la fase de aprendizaje.

El aprendizaje de la RNA, también conocido como entrenamiento, es el proceso de configuración de la red, que puede ser supervisado (asociativo) o no supervisado (auto-organizado). El primero consiste en entrenar la red a partir de un conjunto de datos o patrones de entrada y salida, cuyo objetivo es ajustar los pesos de la red de manera tal que la salida generada sea lo más cercana al valor de salida dado. En el aprendizaje no supervisado se presenta sólo un conjunto de patrones a la red y el objetivo del algoritmo de aprendizaje es encontrar características estadísticas entre agrupamientos de patrones en las entradas.

Se pueden distinguir tres tipos de aprendizaje en las RNA:

- 1) Supervisado: se suministra a la RNA tanto el valor del vector de entradas, como el valor del vector de salidas. Durante el proceso de aprendizaje, la red ajusta sucesivamente el peso de las conexiones de forma que se minimiza el error entre los valores del vector de salidas de la red neuronal y los valores del vector de salidas esperado. Este tipo de aprendizaje es usual en aproximación de funciones no lineales con redes neuronales.
- 2) No supervisado: La red neuronal no recibe ninguna valor esperado del vector de salidas, pero busca en los valores del vector de entradas alguna propiedad o correlación que los permita clasificar de acuerdo a la misma.

- 3) Reforzado: Es un caso especial de aprendizaje supervisado en el que el valor del vector de salidas esperado no es suministrado: únicamente se suministra a la RN la información precisa de si el valor del vector de salidas es igual o no al esperado.

2.5.2 Algoritmos de Agrupamiento (Clusterización)

El problema de formar grupos en un conjunto de datos es muy importante para el conocimiento del comportamiento de una población de la cual solo se tiene una cantidad de sus elementos. La solución de estos problemas se realiza mediante la creación de algoritmos de agrupamiento.

Los métodos de agrupamiento no paramétricos pueden dividirse en tres grupos fundamentales: jerárquicos, particionales y basados en densidad.

Los algoritmos jerárquicos son aquellos en los que se va particionando el conjunto de datos por niveles, de modo tal, que en cada nivel generalmente se unen o se dividen dos grupos del nivel anterior, según si es un algoritmo aglomerativo o divisivo.

Los algoritmos particionales son los que realizan una división inicial de los datos en grupos y luego mueven los objetos de un grupo a otro según se optimice alguna función objetivo.

Los algoritmos basados en densidad enfocan el problema de la división de una base de datos en grupos teniendo en cuenta la distribución de densidad de los puntos, de modo tal que los grupos que se forman tienen una alta densidad de puntos en su interior mientras que entre ellos aparecen zonas de baja densidad.

El proceso de clusterización consiste en la división de los datos en grupos de características similares. El representar una serie de datos en clústers, conlleva a la pérdida de detalles, pero permite la simplificación de los mismos. Clusterización es una técnica de aprendizaje automático, en la que el aprendizaje es realizado de forma no supervisada. Existe una variedad de algoritmos de clusterización los cuales los principales se pueden clasificar en:

- ✓ Modelos Jerárquicos (Algoritmos aglomerativos, Algoritmos Divisivos)
- ✓ Modelos De Particionado Y Recolocación (Clustering Probabilístico, Método de los k-vecinos (k-medoids), Método de las k-medias, Algoritmos basados en densidad, Clustering de conectividad basada en densidad (Density-Based Connectivity Clustering), Clustering basado en Funciones de densidad)
- ✓ Métodos basados en rejillas
- ✓ Métodos basados en la co-ocurrencia de datos categóricos
- ✓ Clustering basado en restricciones
- ✓ Algoritmos para datos de grandes dimensiones
- ✓ Clustering subespacial
- ✓ Técnicas de co-clustering

Las cuatro técnicas de agrupación más representativas utilizadas con frecuencia en combinación con redes de funciones de base radiales y modelado difuso son: C-medias, clusterización difusa C-medias, el método de clusterización de montaña y clusterización sustractiva. Estas técnicas de agrupamiento proporcionan enfoques para encontrar prototipos que caracterizan a un conjunto de datos. Estos prototipos se utilizan como centros para las funciones de base radial o reglas difusas en ANFIS. Para el caso de estudio analizaremos el método de clusterización sustractiva.

2.5.3 Clusterización Sustractiva para el análisis de datos

El método clusterización sustractiva se utiliza para explorar las similitudes y diferencias entre dos o más conjuntos de datos multidimensionales. El método de agrupación sustractiva considera un conjunto de n datos $\{x_1, \dots, x_n\}$ en un espacio multidimensional. Dado que cada punto de dato es un candidato para centro de los clústers, la medida de densidad en los datos x_i se define como se muestra en la Ecuación 2:

$$Di = \sum_{j=1}^n \exp \left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{\left(\frac{r_a}{2}\right)^2} \right) \quad \text{Ec (2)}$$

Donde r_a es un valor constante positivo. Por lo tanto, un punto de datos tendrá un valor de densidad alta si tiene muchos puntos de datos vecinos. El radio r_a define la vecindad, los puntos de datos fuera de este radio contribuyen poco a la medida de la densidad. Después de calculada la medida de densidad de cada punto de datos se localiza el de mayor densidad y este se selecciona como el centro del clúster. La densidad de cada punto x_i es revisada por la ecuación 3:

$$D_i = D_i - D_{c1} \exp \left(-\frac{\|x_i - x_{c1}\|^2}{(\frac{r_b}{2})^2} \right) \quad \text{Ec (3)}$$

Donde: r_b es una constante positiva, x_{c1} el punto seleccionado y D_{c1} su densidad.

Por lo tanto, cuando las medidas de densidad de los puntos de datos cercanos al centro del primer clúster x_{c1} se han reducido significativamente, se seleccionan como el centro de la agrupación siguiente. El r_b define la vecindad que tiene una reducción mensurable en la medida de densidad. El r_b constante es normalmente más grande que r_a para evitar estrechamente espaciados centros de los conglomerados; generalmente r_b es igual a $1.5r_a$.

Después de obtener la medida de la densidad de cada punto de datos, se selecciona el siguiente grupo central x_{c2} y todas las medidas de densidad de puntos de datos se revisan de nuevo. Este proceso se repite hasta que se genera un número suficiente de centros de clúster. Cuando se aplica clusterización sustractiva para un conjunto de datos de entrada-salida, cada uno de los centros representan un prototipo o perfil que exhibe ciertas características del sistema a modelar. Estos centros de los conglomerados se utilizan como la premisa de reglas difusas. Por ejemplo, suponga que el centro para el grupo i -ésimo es c_i en una dimensión M . El c_i se puede descomponer en dos vectores componentes p_i y q_i , donde p_i es la de entrada y contiene el primer elemento N de c_i ; q_i es la parte de salida y contiene la última $M - N$ elementos de c_i . Entonces, dado un vector entrada x , el grado en que se define regla difusa i se define según Ecuación 4.

$$\mu_i = \exp \left(-\frac{\|x - p_i\|^2}{(\frac{r_a}{2})^2} \right) \quad \text{Ec (4)}$$

2.5.4 Genfis2

Genfis2 genera una estructura FIS (Fuzzy Inference System) o Sistema de Inferencia Difusa de tipo Sugeno que modela el comportamiento de los datos utilizando clusterización substractiva. Este método requiere conjuntos separados de datos de entrada y salida como argumentos de entrada.

Cuando sólo hay una salida, genfis2 puede ser utilizado para generar un FIS inicial para la formación de ANFIS. Genfis2 logra esto mediante la extracción de un conjunto de reglas que modela el comportamiento de los datos.

El método de extracción de reglas primero utiliza la función subclust para determinar el número de reglas y funciones de pertenencia de los antecedentes, después lleva a cabo la estimación lineal de mínimos cuadrados para determinar las ecuaciones de cada regla de los consecuentes. Esta función devuelve una estructura FIS que contiene un conjunto de reglas difusas que describen el comportamiento del conjunto de datos.

Los argumentos de genfis2 son los siguientes:

- X_{in} : matriz de datos de entrada
- X_{out} : matriz de valores de salida.
- r_a : vector que especifica un rango de influencia desde el centro del clúster en cada una de las dimensiones de datos.

La función de membresía (FM) de entrada por defecto es una gaussiana, y la salida es lineal. Una FM gaussiana se especifica a través de dos parámetros $\{c, \sigma\}$ tal como lo muestra la Ecuación 5.

$$gaussian(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad Ec (5)$$

Una FM gaussiana es determinada totalmente por c y σ , c representa el centro y σ determina el ancho de la FM.

2.5.5 Los sistemas difusos: herramienta para el manejo de la incertidumbre

La lógica difusa es una rama de la IA que permite analizar información del mundo real en una escala de falso-verdadero. Manipula información vaga, incierta o inexacta, son una alternativa a las nociones de pertenencia y lógica. Puede controlar o describir un sistema usando reglas de sentido común que se refieren a cantidades definidas. Frecuentemente, los sistemas difusos tienen reglas tomadas de los expertos, pero cuando no hay experto los sistemas difusos adaptativos aprenden las reglas (Ponce, 2010).

La lógica difusa consta de tres etapas:

- I. La primera se basa en un proceso donde las variables tienen un grado de incertidumbre metalingüístico. Por lo tanto, el rango de valores (*universo de discurso*) de cada variable puede clasificarse por conjuntos difusos.
- II. En la segunda, se proponen reglas lingüísticas (inferencia) que servirán de guía para que el sistema se comporte o responde de manera más adecuada, idónea o deseada según el modelo de referencia o los objetivos del usuario. El grado de pertenencia de cada una de las variables se evalúa en un conjunto de reglas de inferencia. Dichas reglas, fueron determinadas con ayuda de un experto. El conjunto de reglas de inferencia determina una consecuencia, es decir, asigna un grado de pertenencia a un conjunto difuso que caracteriza a las salidas.
- III. La tercera etapa comprende el proceso para determinar los valores óptimos de salida, conocido como *defuzificación*, y que consiste en pasar el grado de pertenencia, proveniente de la consecuencia de la regla de inferencia, a un valor real. Para esto, previamente se definieron funciones de membresía de cada una de las salidas con el fin de obtener un valor cuantificable.

En la Figura 2.20 se muestra el diagrama de flujo de un sistema difuso.

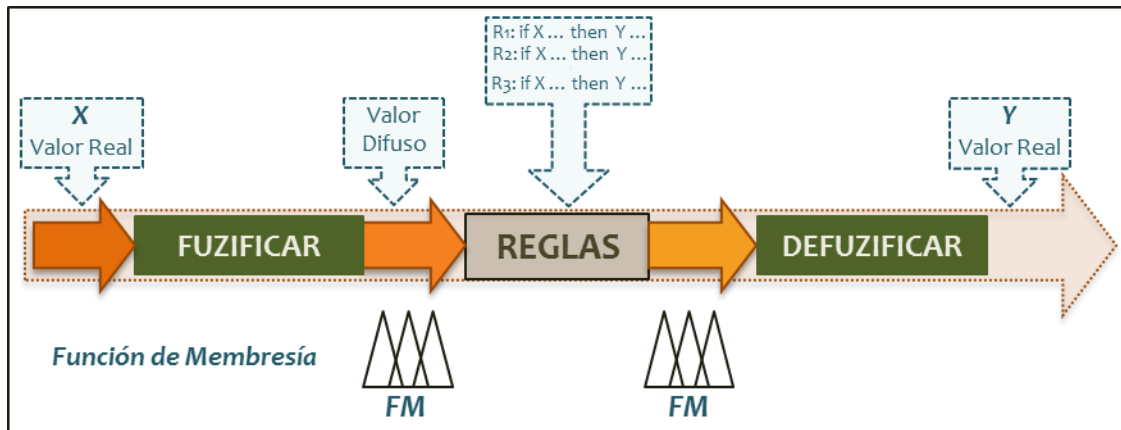


Figura 2.20 Metodología de lógica difusa

Los sistemas basados en lógica difusa son muy importantes porque permiten la incorporación, tanto de la información numérica como de la información lingüística de una forma sistemática.

Permite 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.

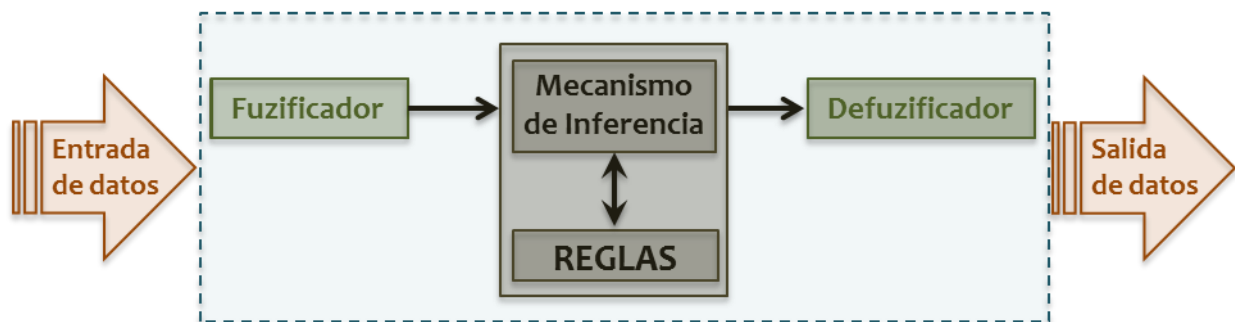


Figura 2.21 Esquema general de un sistema basado en lógica difusa

Los componentes o etapas de un sistema difuso, tal como lo muestra la figura 2.21 son:

1. Fuzificación: En esta interfaz las entradas numéricas se transforman a valores lingüísticos, es decir, a cada variable de entrada se le asigna un grado de pertenencia (o función de membresía) a cada uno de los conjuntos difusos que se han considerado, mediante las funciones características asociadas a estos conjuntos difusos.

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.

Una vez definidas estas variables se establecen los grados de pertenencia (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 .

Finalmente, una vez definidos 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 está integrada por lo menos de dos elementos:
 - I. 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 módulo de fuzificación y de defuzificación, así como la base de reglas; la cual contiene la definición lingüística de las variables.
 - II. 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.
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 (no necesita la interface de defuzificación).
- Inferencia de Takagi-Sugeno: las entradas son expresiones difusas pero las salidas son funciones determinísticas. Este método tiene la ventaja de incrementar la predicción, así como aumenta la eficiencia computacional, ya que responde de una forma más rápida y proporciona elementos para analizar el sistema.

2.5.6 Sistemas expertos y generación de nuevo conocimiento

Los Sistemas Expertos (SE) o sistema basado en el conocimiento son una rama de la IA que hace un amplio uso del conocimiento especializado para resolver problemas como un especialista humano. Esto es, el especialista tiene conocimientos o habilidades especiales que la mayoría no conoce o no dispone; puede resolver problemas que la mayoría no podría resolver, o los resuelve con mayor eficiencia (y a otro costo), (Giarratano y Riley, 2001).

El conocimiento de los SE puede obtenerse por experiencia o por consulta de los conocimientos que suelen estar disponibles en libros, revistas y con personas capacitadas. La Figura 2.22 muestra el concepto básico de un SE basado en conocimiento.

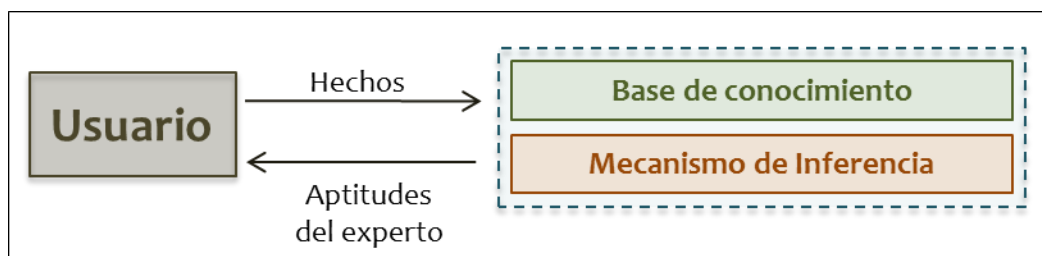


Figura 2.22 Estructura básica de un Sistema Experto

El usuario aporta los hechos o información al SE y recibe consejo o experiencia como respuesta. En su interior, el SE incluye dos componentes principales: 1) la base del conocimiento y 2) un mecanismo de inferencia. La base del conocimiento contiene el conocimiento que le permite al mecanismo de inferencia obtener conclusiones. Los SE abarcan diversas disciplinas; en particular la ciencia cognitiva,

referente al estudio de la manera en que piensa el humano, especialmente cuando resuelve problemas. El estudio de la cognición es importante si se pretende lograr que un sistema emule a los especialistas humanos. A menudo ellos no pueden explicar cómo resuelven problemas. Si el especialista no puede explicar cómo se soluciona un problema, no es posible codificar el conocimiento en un SE basado en el conocimiento explícito. Para este caso la posibilidad son los programas basados en la inducción y RNA.

Resulta fundamental obtener mayor conocimiento sobre las consecuencias que los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE's) ocasionan y las diferentes opciones de su manejo. La adquisición y manejo de los AEE's (Aparatos Eléctricos y Electrónicos) está asociado a los estilos de vida de los segmentos de la población. Aunado a esto, está la diversidad de aparatos electrónicos que oferta el mercado, por lo que la generación de estos residuos requiere de un análisis a un mayor nivel de resolución que arroje más información sobre los diversos grupos de consumidores y tipos de RAEE's generados.

Por ello la investigación se realizó con jóvenes universitarios tomando como caso de estudio la UABC (Universidad Autónoma de Baja California) campus Mexicali. El teléfono celular es objeto de estudio, ya que en un estudio previo de cuantificación realizado en la ciudad se determinó que es el teléfono celular uno de los AEE's que más se desecha en el flujo de los RSU's (Cruz, 2010).

El propósito de este estudio fue obtener indicadores ambientales, económicos y sociales de los hábitos de consumo y prácticas de manejo de los teléfonos celulares en una comunidad universitaria y, de esta forma, evaluar el impacto que éstos ocasionan al ambiente e identificar prácticas de manejo de los generadores y aspectos económicos que esto representa. Se propone el uso de las metodologías de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Costo de Ciclo de Vida (CCV) y herramientas de Inteligencia Artificial (IA) para el análisis de los datos la obtención de indicadores de impacto ambiental, económico y social.

En el caso de los AEE's es necesario detectar las oportunidades de mejora, ya sea en el diseño del producto o en los procesos asociados a él, identificando las etapas y potenciales impactos que éstos ocasionan cuando se conviertan en RAEE's. La fabricación de AEE's ambientalmente amigables tal vez represente poca oportunidad de lucro. Sin embargo, en algunos países principalmente en vías de desarrollo, la electrónica de consumo presenta características de bajo costo inicial y corto tiempo de vida útil.

Como parte del desarrollo de la investigación, se estableció un modelo para dar secuencia a las etapas que se desarrollaron en la metodología de este trabajo y poder integrar las herramientas e instrumentos que se utilizaron, ya que para la gestión de los RAEE's se requiere trabajar con indicadores. Por ello, se propuso un modelo que involucre los indicadores sociales y ambientales y costos económicos asociados; el modelo se presenta en la Figura 3.1.

En el modelo se incluyeron tres etapas del ciclo de vida de los AEE's: 1) producción/adquisición de materias primas, 2) uso y 3) retirada. En cada etapa se analizarán los tres tipos de variables (ambientales, económicas y sociales).

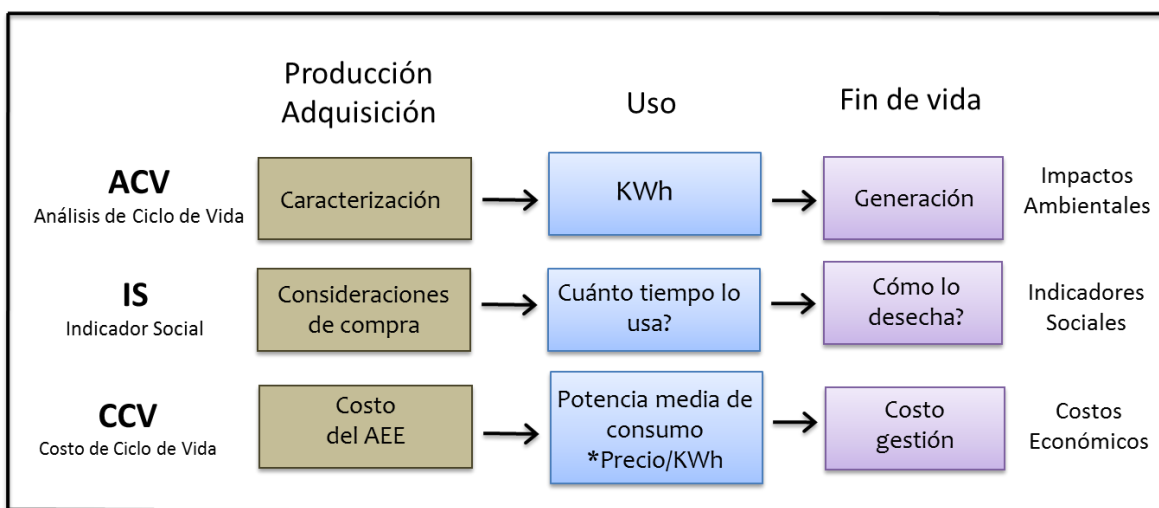


Figura 3.1 Modelo para la determinación de indicadores en la gestión de los RAEE's

3.1 ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

En el diseño de un sistema integral de gestión es importante considerar características de los diversos factores y actores que intervienen en todo el ciclo de vida del producto. Por lo anterior, en esta investigación se propuso integrar aspectos ambientales, económicos y sociales para la obtención de indicadores que sustenten la importancia y necesidad de implementar acciones acorde a las condiciones de la población y el residuo que se trate.

Para la obtención del indicador ambiental se utilizó la herramienta de ACV. En la etapa de adquisición/producción se obtuvieron datos referentes al consumo y caracterización del teléfono celular. La etapa de uso se evaluó tomando el consumo energético del teléfono celular durante su tiempo de vida útil. Finalmente, la etapa de retirada se definió a través de la tasa de generación y reciclaje de los teléfonos celulares. El indicador ambiental resulta de la agregación de las tres etapas.

Los costos económicos se obtuvieron a través de la aplicación del CCV (Costo de Ciclo de Vida). En la etapa de adquisición/producción se calculó el valor promedio del teléfono celular más consumido entre universitarios. El costo por el uso del teléfono celular se obtuvo de la cantidad por costo de kWh de uso. El concepto de costo por retirada o desecho se refiere al costo promedio por tonelada de RAEE's gestionada. Para el caso de estudio que se presenta no se incluyó el costo externo del ciclo de vida del celular.

El indicador social se evaluó a través de la aplicación de una encuesta a la población estudiada, la cual incluye apartados referentes al perfil del usuario, prácticas de consumo, hábitos de uso, prácticas de manejo y nivel de conocimiento. Para la etapa de adquisición/producción se incluyeron reactivos para conocer cuáles son los atributos que el usuario universitario de teléfono celular considera al momento de la compra. En la etapa de uso se buscó información referente a la vida útil del teléfono celular según este segmento de la sociedad. Finalmente, en la etapa de desecho, se identificaron las formas en que el teléfono celular llega al desuso y la posibilidad de escenarios de aprovechamiento.

Además, con la finalidad de obtener información referente al flujo de los teléfonos celulares funcionales y en desuso, se aplicó una encuesta a centros de reparación y distribución.

La población en el campus seleccionado para la investigación en el periodo fue de 19,151 estudiantes. Se seleccionó una muestra representativa de la población, con un nivel de confianza del 90%, aplicando la ecuación 6 para determinar el tamaño de muestra.

$$n = \frac{NK^2}{N\beta^2 + K^2} \quad \text{Ec (6)}$$

Donde:

n: Tamaño de muestra

N: Tamaño de la población

K: Nivel de confianza

β : Precisión

Se aplicaron las encuestas en diversas áreas de la UABC (Cafeterías de las diferentes facultades, pasillos y oficinas). Los datos de la encuesta fueron capturados en una base de datos y finalmente se dio tratamiento estadístico como procesamiento previo.

3.2 DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

Para la obtención de información en la determinación del indicador ambiental se realizaron dos etapas:

- 1) Caracterización de teléfonos celulares. Esta etapa se realizó para obtener la información de un teléfono celular promedio, tales como peso total, peso por componente, materiales, etc.
- 2) Aplicación de la metodología ACV según ISO 14040-44 (2006) a diversos escenarios de uso y gestión del teléfono celular promedio. En esta etapa se llevó a cabo un estudio de ACV de cada uno de los escenarios planteados mediante la aplicación del software SimaPro 7.1. Ajustando los datos obtenidos en campo y a través de la literatura, se evaluaron indicadores de impacto ambiental en las etapas de adquisición/producción, uso y retirada del celular.

3.2.1 Caracterización de un teléfono celular promedio

El proceso de caracterización comprende las fases de desmontaje, peso, registro y etiquetado, de una muestra representativa de teléfonos celulares. En la fase de desmontaje se separaron las partes para identificar el material de cada componente. Después se registraron características de modelo, marcas, consumo energético, peso, etc. Finalmente se etiquetaron y con el apoyo de los especialistas se identificaron los materiales y el proceso de fabricación empleado.

Sin embargo, debido al tamaño de los diversos componentes de los equipos celulares, se tomaron algunas referencias bibliográficas para establecer la composición de las piezas metálicas, altavoces o bocinas, cámara, micrófono y antena. Finalmente, para los componentes eléctricos/electrónicos se tomó como referencia información del Proyecto de Ecoinvent 2.0, referente a “Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal”, se seleccionaron los dispositivos más adecuados, creando y aproximando la composición de aquellos que no se encuentran incluidos en el manual. Hay que tener en cuenta que los datos utilizados de la base de datos Ecoinvent fueron previamente adaptados al caso de estudio, modificando información relativa a la aportación energética por tecnologías (mix eléctrico), distancias, medios de transporte, etc.

3.2.2 Aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida

Definición de objetivos y alcance

Para el análisis del ciclo de vida del teléfono celular se consideraron las etapas de producción/adquisición, uso y reciclado y retirada de componentes, siendo el alcance el mostrado en la figura 3.2.

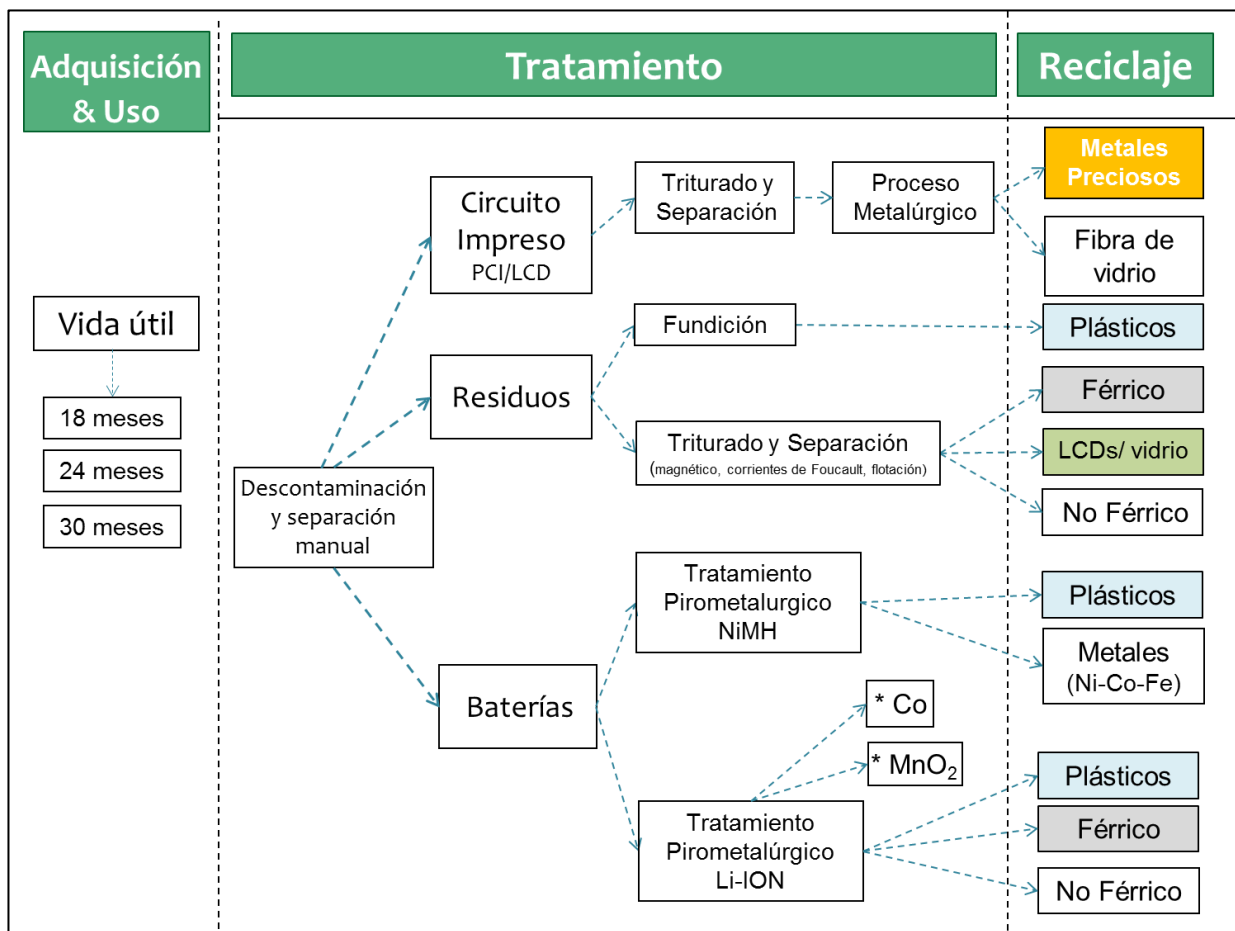


Figura 3.2 Procesos para el reciclaje del teléfono celular

La unidad funcional seleccionada para el estudio ha sido el uso y gestión de teléfono celular durante 30 meses. Para esta misma unidad funcional, se propusieron tres escenarios, que se diferenciaban en la duración de la vida útil del celular:

- escenario base (S₀) corresponde a un teléfono celular con 18 meses de tiempo de vida útil.
- escenario uno (S₁) corresponde a un teléfono celular con 24 meses de tiempo de vida útil.
- escenario dos (S₂) corresponde a un teléfono celular con 30 meses de tiempo de vida útil.

Así pues, para completar la unidad funcional, el escenario S₀ requiere el uso de 1.67 teléfonos celulares de vida útil 18 meses para alcanzar la unidad funcional, el escenario S₁ requiere un teléfono y otro durante la mitad de su vida útil, y el S₃ permite alcanzar con un único teléfono celular la unidad funcional.

Para cada uno de estos escenarios se consideraron las siguientes etapas del ciclo de vida de un teléfono celular:

- Etapa de adquisición/producción, en la que se consideraron los porcentajes de componentes obtenidos mediante el análisis de los datos recolectados a través de la caracterización de 15 teléfonos celulares.
- Etapa de distribución, en la que consideró la producción del teléfono celular en China y su posterior distribución desde la ciudad de México, por lo que se ha incluido el transporte en barco transoceánico (puerto Shanghái China-Ensenada México) y transporte terrestre (Ensenada-Ciudad de México-Mexicali).
- Etapa de uso, en la que a través de información obtenida de la literatura fue posible calcular la media de consumo energético de un celular en su etapa de uso. Multiplicando la media de consumo por 1.5 (para escenario 0), por 2 (para escenario 1) y por 2.5 (para escenario 2), debido al hecho de que cuando mayor vida útil tiene un teléfono celular, menor tiempo dura la batería con carga y la recarga de la batería se realiza más seguida.
- Etapa de retirada, en la que se incluyó el transporte a la planta de tratamiento para el desmontaje y posterior reciclado de componentes y el propio proceso de separación y reciclaje con las cargas evitadas correspondientes. En cuanto al transporte, se ha considerado el impacto debido al transporte hasta la ciudad de Monterrey N.L. México, lugar donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento de RAEE's. En cuanto al proceso de tratamiento, se considera la descontaminación y separación manual de componentes, quedando tres fracciones de residuos (PCI-LCD, Residuos y Baterías), los cuales siguen distintos tratamientos para la recuperación de materiales.

Inventario del ciclo de vida

Una vez caracterizado el teléfono celular, se aplicó la base de datos Ecoinvent 2.0 para elaborar el inventario de cada uno de ellos. Puesto que se trata de una base de datos europea, se adaptaron los datos al caso de aplicación, modificando, tal y

como se ha comentado anteriormente, distancias de transporte, medios de transporte y mix eléctrico en la etapa de uso y retirada en México, según la Secretaría de Energía (SENER) para 2012 (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Generación bruta por tecnologías

TECNOLOGÍA	PROMEDIO (MWh)	%
Termoeléctrica	14,861,095.498	74.84
Vapor	3,523,256.233	17.74
Ciclo Combinado	9,642,577.137	48.56
Turbogas	283,880.105	1.43
Combustión interna	104,170.888	0.52
Dual	1,318,788.912	6.64
Carboeléctrica	1,431,486.050	7.21
Geotermoeléctrica	547,077.917	2.76
Nucleoeléctrica	582,473.041	2.93
Eólica (Renovable)	11,863.232	0.06
Hidroeléctrica (Renovable)	2,970,084.090	14.96

Fuente:SENER 2012

De acuerdo a la flexibilidad de software de análisis utilizado (SimaPro), tomamos las siguientes consideraciones: la generación geotermoeléctrica no fue considerada como tal ya que el software no presenta una tecnología similar. A la generación en termoeléctrica se le restó lo generado por vapor y este último fue catalogado como Gas Industrial-Cogeneración.

Evaluación del impacto

Con relación a las categorías de impacto, se han seleccionado las más utilizadas en la bibliografía, aplicando los factores de caracterización propuestos por el método CML (2000), que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Categorías de impacto y unidades en que se expresan

CATEGORÍAS DE IMPACTO	UNIDADES
Acidificación	kg SO ₂ eq
Agotamiento de recursos naturales	kg Sb eq
Calentamiento global	kg CO ₂ eq
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Eutrofización	kg PO ₄ ⁻³ eq
Smog fotoquímico	kg C ₂ H ₄ eq

Así pues, se obtendrán, para la misma unidad funcional en cada uno de los escenarios propuestos, los indicadores ambientales en valor absoluto y desglosado por etapas y componentes, con el fin de identificar los puntos débiles del ciclo de vida de un teléfono celular.

3.3 DETERMINACIÓN DE INDICADORES SOCIALES

Para la determinación de los Indicadores Sociales (IS), se trabajó con información obtenida a través de una encuesta que se diseñó para obtener datos referentes al manejo de los teléfonos celulares. Posteriormente, los resultados se analizaron estadísticamente y mediante la aplicación de la herramienta de IA.

3.3.1 Definición de la encuesta

Tal y como se ha comentado anteriormente, la encuesta se definió con el objetivo de obtener información del ciclo de vida de los teléfonos celulares (hábitos de consumo y retirada) en estudiantes universitarios.

Para ello, la encuesta se organizó en tres secciones:

- 1) perfil del usuario, donde se incluyeron datos del usuario relativos a: facultad/escuela, carrera, sexo y edad.
- 2) consumo y manejo de los teléfonos celulares, donde se preguntaba información para conocer las prácticas de manejo del usuario con su celular actual y los anteriores
- 3) nivel de conocimiento del usuario de telefonía celular, donde se trataba de conocer la visión, el grado de conocimiento, interés y disposición del usuario con relación a la aplicación de medidas sustentables en el manejo de los celulares en desuso.

Una vez obtenida la información, fue analizada con herramientas estadísticas con el fin de conocer el comportamiento de los datos. Posteriormente los datos fueron adaptados para su tratamiento con herramientas computacionales de IA, ya

que tienen la capacidad de apoyar en el análisis automático e inteligente de grandes volúmenes de datos para encontrar conocimiento útil.

Para la evaluación del impacto social se utilizó clusterización sustractiva (Genfis2), ya que esta nos permite identificar patrones o regularidades en los datos y así posibilita la construcción de modelos. Además, mediante la lógica difusa es factible definir indicadores a través del uso de reglas. Los sistemas difusos tienen reglas tomadas de los expertos, pero cuando no hay experto, los sistemas difusos adaptativos aprenden las reglas (Ponce, 2010). La figura 3.3, muestra la estructura metodológica para la determinación del indicador social.

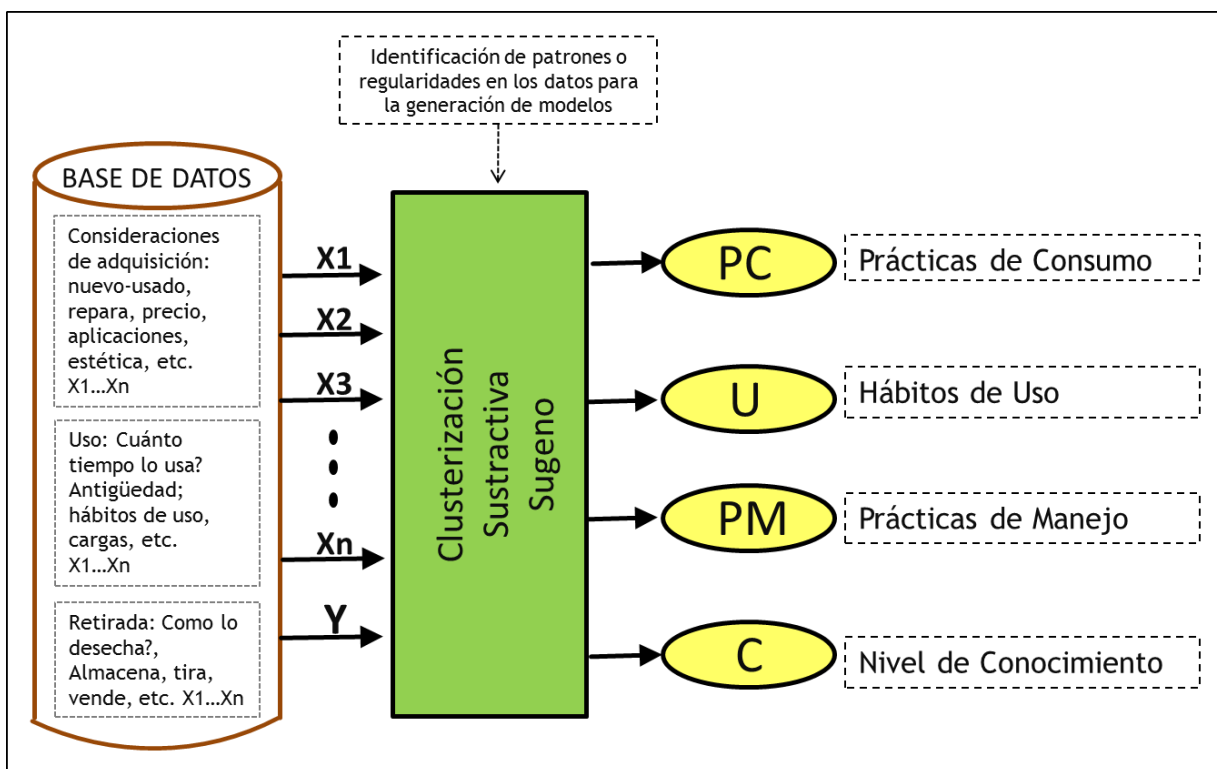


Figura 3.3 Indicador social en la gestión de los teléfonos celulares

Finalmente, en la evaluación del impacto social se elaboraron cuatro modelos para conocer prácticas de consumo, hábitos de uso, prácticas de manejo y nivel de conocimiento de los universitarios referente al teléfono celular. Para ello, se utilizó una matriz de datos para cada modelo donde se incluye información de las diferentes etapas en el ciclo de vida del teléfono celular.

3.3.2 Aplicación de las herramientas de IA

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.

Se utilizó Genfis2 para identificar perfiles que describan las prácticas de consumo, hábitos de uso, prácticas de manejo de los teléfonos celulares en los universitarios, además de su nivel de conocimiento. GENFIS2 genera un FIS (Sistema de Inferencia Difuso) de tipo Sugeno que utiliza un método de clusterización sustractiva. Como resultado, permite extraer un conjunto de reglas del comportamiento de los datos del modelo.

El método de extracción de reglas primero determina el número de reglas y la pertenencia del antecedente a la función de membresía, después utiliza la estimación de mínimos cuadrados lineales para determinar las ecuaciones de los consecuentes para cada regla.

La tabla 3.3 muestra el vector de entradas X ($X_1...X_4$), que corresponden a los valores asignados a los reactivos que evalúan la variable Prácticas de consumo. La variable de salida, Y , predefinida como $\Sigma x = X_1 + ... + X_4$.

Tabla 3.3 Definición de variables para el modelo Prácticas de Consumo (PC)

Nombre de la variable	Simbología	Unidad de medida	Descripción
Precio	X_1	[1..11]	1[hasta 500] 2[>500-1000] 3[>1000-1500] 4[>1500-2000] 5[>2000-2500] 6[>2500-3000] 7[>3000-3500] 8[>3500-4000] 9[>4000-4500] 10 [>4500-5000] 11[>5000]
Criterios de compra	X_2	[1..5]	1[Estética] 2[Precio] 3[Aplicaciones] 4[Marca] 5[Otros]
Donde compra	X_3	[1..3]	1[Otro] 2[EEUU] 3[México]
Nuevo/2da	X_4	[1..2]	1[Nuevo] 2[Usado]
Prácticas de Consumo	Y_1	[0..20]	0 [No considera aspectos ambientales al comprar su teléfono celular] : 20 [Considera aspectos ambientales al adquirir su teléfono celular]

Tabla 3.4 Definición de variables para el modelo Hábitos de Uso (U)

<i>Nombre de la variable</i>	<i>Simbología</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Descripción</i>
Antigüedad	X_1	[1..7]	1[≤6meses] 2[6-12meses] 3[12-18meses] 4[18-24meses] 5[24-36meses] 6[36-48meses] 7[60meses o más]
Consumo energético	X_2	[1..5]	1[29-35 hr/sem] 2[22-28 hr/sem] 3[15-21 hr/sem] 4[8-14 hr/sem] 5[1-7 hr/sem]
Tiempo vida	X_3	[1..7]	1[≤6meses] 2[6-12meses] 3[12-18meses] 4[18-24meses] 5[24-36meses] 6[36-48meses] 7[60meses o más]
Motivo cambio	X_4	[1..3]	1[Obsoleto][Estética/moda][+Aplicaciones][Otro] 2[Cambio contrato/Compañía][Puntos][Robo/Extravío] 3[No funciona]
Móviles en la vida	X_5	[1..9]	1[9 o más] 2[8] 3[7] 4[6] 5[5] 6[4] 7[3] 8[2] 9[1]
Uso	Y_1	[5..34]	5 [No practica, ni le interesan las practicas proambientales en el manejo del celular durante la etapa de uso] • • 34 [Prácticas de uso respetables con el medio ambiente]

La tabla 3.4 muestra la definición de variables para el modelo hábitos de uso. Dado por el vector de entradas X ($X_1...X_5$) que corresponden a los valores asignados a los reactivos que evalúan la variable Uso. La variable Y_1 , predefinida como $\Sigma x = X_1 + ... + X_5$.

La tabla 3.5 se muestra el vector de entradas X ($X_1...X_9$) que evalúan la variable prácticas de manejo, así como, la variable de salida, Y_1 , predefinida como $\Sigma x = X_1 + ... + X_9$. En la tabla se define el nombre de la variable, se presenta la simbología, se establece la unidad de medida para cada entrada y en la columna de descripción se indica el concepto de la unidad de medida.

Tabla 3.5 Definición de variables para el modelo perfil-Prácticas de Manejo (PM)

<i>Nombre de la variable</i>	<i>Simbología</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Descripción</i>
Celular anterior	X ₁	[1..4]	1[Disposición] 2[Almacenamiento] 3[Tratamiento] 4[Reuso]
Celulares guardados	X ₂	[1..6]	1[más de 5] 2[5] 3[4] 4[3] 5[2] 6[1]
Ha reparado	X ₃	[1..2]	1[No] 2[Si]
Tiempo uso reparado	X ₄	[1..4]	1[≤6meses] 2[6-12meses] 3[>12meses] 4[Uso actual]
Usa 2da	X ₅	[1..2]	1[No] 2[Si]
Regalada-comprada	X ₆	[1..3]	1[Regalado] 2[Comprado] 3[Ambas]
Más tiempo vida	X ₇	[1..2]	1[No] 2[Si]
Cuánto tiempo	X ₈	[1..4]	1[6meses] 2[12meses] 3[>12meses] 4[Hasta que no funcione]
No funciona	X ₉	[1..6]	1[Tiro a la basura] 2[Otros] 3[Almaceno] 4[Centro de Acopio] 5[Reparo] 6[Vendo/Dono/Regalo]
Prácticas de Manejo	Y ₁	[3..31]	3 [No realiza prácticas proambientales en el manejo de los celulares en desuso] . . . 31 [Realiza prácticas proambientales en el manejo de los celulares en desuso]

La tabla 3.6 muestra el vector de entradas X (X₁...X₇), que corresponden a los valores asignados a los reactivos que evalúan la variable Conocimiento. La variable de salida, Y, predefinida como $\Sigma x = X_1 + \dots + X_7$.

Tabla 3.6 Definición de variables para el modelo Nivel-Conocimiento (NC)

<i>Nombre de la variable</i>	<i>Simbología</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Descripción</i>
Problemática	X ₁	[0..1]	0[No] 1[Si]
Aprovechamiento	X ₂	[0..1]	0[No] 1[Si]
Tratamiento	X ₃	[0..1]	0[No] 1[Si]
Empresas	X ₄	[0..1]	0[No] 1[Si]
Centros de acopio	X ₅	[0..1]	0[No] 1[Si]
Responsables programas	X ₆	[0..1]	0[Productor/Gobierno/Población] 1[Los tres] 0[No sabe]
Responsables disposición	X ₇	[0..2]	1[Población/Fabricante/Gobierno/Municipio] 2[Todos]
Conocimiento	Y ₁	[0..8]	0 [No tiene conocimiento sobre la problemática, manejo, responsables, etc., de los celulares en desuso] . . . 8 [Tiene el mayor nivel de conocimiento sobre la problemática, manejo, responsables, etc., de los celulares en desuso]

3.4.2.1 Análisis de datos cuantitativos

Una vez Identificadas las variables dependientes (prácticas de consumo-PC, hábitos de uso-U, prácticas de Manejo-PM y nivel de conocimiento-NC) e independientes para cada perfil se estructuró una matriz de datos con la información necesaria para su análisis.

Variables de entrada de la categoría prácticas de consumo

Para la variable PC, los datos de entrada (X) fueron definidos por el precio del celular promedio, criterios de compra, lugar de compra, condiciones de compra (nuevo o usado); y los datos de salida (Y), definidos para conocer las prácticas de consumo del generador universitario categorizadas en positivo, indiferente, negativo (Ver tabla 3.7).

Tabla 3.7 Matriz de entrada para PC

Variables de entrada (X)				Variables de salida (Y)
Precio	Criterios de compra	Lugar de compra	Nuevo/2da	Prácticas de Consumo
X1	X2	X3	X4	Y1

Variables de entrada de la categoría de Uso

Para la variable U, los datos de entrada (X) fueron definidos por el tiempo de uso del celular (antigüedad), consumo energético (horas/carga), motivo de cambio y cantidad de celulares que ha utilizado; y los datos de salida (Y), definidos para conocer las prácticas de uso del generador universitario en positivo, indiferente, negativo (Ver tabla 3.8).

Tabla 3.8 Matriz de entrada para la variable Uso

Variables de entrada (X)					Variables de salida (Y)
Antigüedad	Consumo Energético	Tiempo de Vida	Motivo del cambio	Celulares en la vida	Hábitos de Uso
X1	X2	X3	X4	X5	Y1

Variables de entrada de la categoría Prácticas de Manejo

Para la variable PM, los datos de entrada (X) fueron definidos por la forma de deshacerse del celular anterior, cantidad de celulares almacenados, si ha reparado, tiempo de utilizar celulares una vez reparados, utiliza equipos de segunda mano (regalada/comprada), si está dispuesto a ampliar el tiempo de vida útil de su celular y forma en que dispone los equipos en desuso; y los datos de salida (Y), definidos para conocer las prácticas de Uso del generador universitario en positivo, indiferente, negativo (Ver tabla 3.9).

Tabla 3.9 Matriz de entrada para la variable PM

Variables de entrada (X)									Variables de salida (Y)
Celular anterior	Celulares guardados	Ha reparado	Tiempo uso reparado	Usa 2da	Regalada comprada	Mas tiempo de vida	Cuánto tiempo	No funciona	Prácticas de Manejo
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y1

Variables de entrada de la categoría Nivel de Conocimiento

Para la variable C, los datos de entrada (X) fueron definidos por el conocimiento del generador referente a la problemática, aprovechamiento, tratamientos, empresas, centros de acopio, responsables de programas y disposición de los teléfonos celulares en desuso; y los datos de salida (Y), definidos para conocer los perfiles de conocimiento del generador universitario de teléfonos celulares en positivo, indiferente, negativo (Ver tabla 3.10).

Tabla 3.10 Matriz de entrada para la variable nivel de conocimiento

Variables de entrada (X)							Variables de salida (Y)
Problemática	Aprovechamiento	Tratamiento	Empresas	Centros de acopio	Responsables costo-programas	Responsables disposición	Nivel de Conocimiento
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	

Las matrices que se presentan de las tablas 3.8 a la 3.10 agrupan las características, prácticas y hábitos de los usuarios universitarios de telefonía celular, con los datos obtenidos de la adición de cada X normalizada (Y1), para definir los grupos (clústers) necesarios que cumplan con un perfil similar, y posteriormente generar las reglas que reflejen perfiles de comportamiento de los datos.

De manera resumida, las matrices están compuestas de la forma que presenta la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Dimensión de matrices

Variable	Tuplas	Atributos de entrada (X)	Salida (Y)
Prácticas de consumo	3,282	4	1
Hábitos de uso		5	1
Prácticas de manejo		9	1
Nivel de conocimiento		7	1

Desarrollo del sistema

En la figura 3.5 se presenta gráficamente el sistema que se propone basado en el modelado de reglas difusas para obtener el comportamiento de los universitarios en las diversas etapas de vida del teléfono celular. Este modelo proporciona la tendencia referente a las prácticas de consumo, uso, manejo y nivel de conocimiento de los estudiantes universitarios.

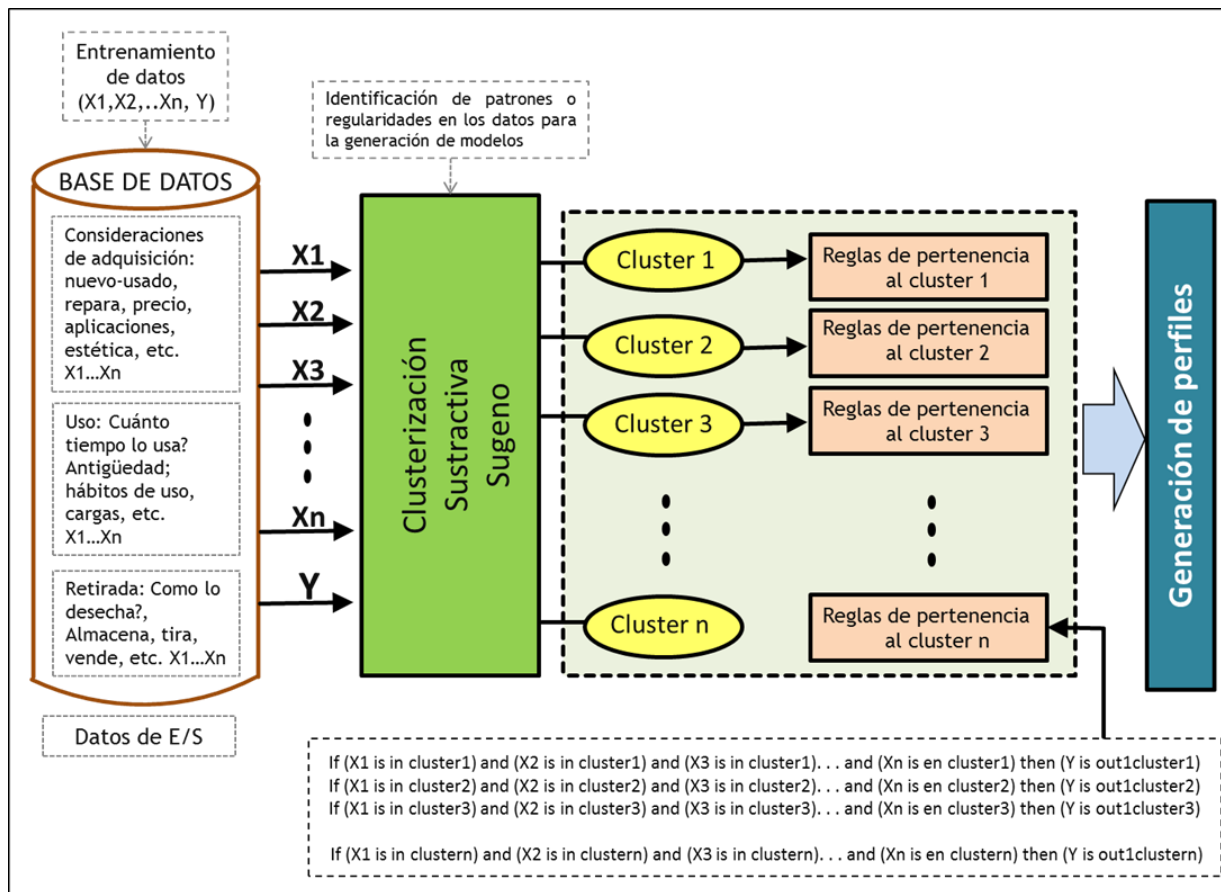


Figura 3.4 Estructura básica del sistema basado en reglas difusas aplicando TSK

Para desarrollar este trabajo se utilizaron cuatro programas, el primero fue Access 2010 para desarrollar las bases de datos y almacenar la información. Los programas utilizados para el tratamiento estadístico, graficación, generar las matrices de entrada al sistema y para la normalización de los datos fueron el Excel 2010 y SPSS 19. Por último se utilizó el Matlab® 2010a para el desarrollo de los modelos que explican el comportamiento de los datos referentes a prácticas de consumo, hábitos de uso, prácticas de manejo y nivel de conocimiento. Esta

herramienta permite generar los archivos FIS (Fuzzy Interferente System), en el cual la matriz de datos preprocesada es la entrada al sistema difuso y se somete a un proceso de agrupamiento (clúster), el cual genera nueva información que permite definir reglas. En la figura 3.6 se observa la secuencia del proceso de los datos.

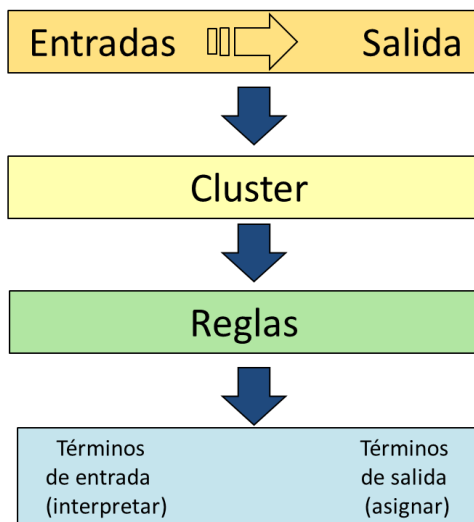


Figura 3.5 Funcionamiento de un FIS

3.4 DETERMINACIÓN COSTOS ECONÓMICOS

Los costos económicos (CE) se obtuvieron para cada una de las etapas del ciclo de vida del celular. En la fase de adquisición el CE fue determinado por el valor promedio en el mercado del teléfono celular más utilizado entre los universitarios (precio). En la fase de uso, el CE fue determinado a través de la literatura. Por último, en la fase de retirada de acuerdo a información de empresas, se obtuvo el costo de gestión por tonelada de RAEE's, tal como lo muestra la Figura 3.6.



Figura 3.6 Determinación del costo económico en la gestión de los RAEE's

Este trabajo se realizó en tres etapas. La primera etapa consistió en caracterizar el teléfono celular promedio. La segunda etapa fue la aplicación de una encuesta a la población universitaria y a centros de reparación/distribución de telefonía celular. Finalmente, la información obtenida fue tratada para la evaluación de potenciales impactos ambientales, económicos y sociales referentes a diversos escenarios de manejo de la telefonía móvil.

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL TELÉFONO CELULAR

En primer lugar se realizó la caracterización del teléfono celular, con el fin de obtener una composición promedio. En el estudio fueron utilizados teléfonos celulares con todos sus componentes. La Figura 4.1 muestra las fases de caracterización de los teléfonos celulares.

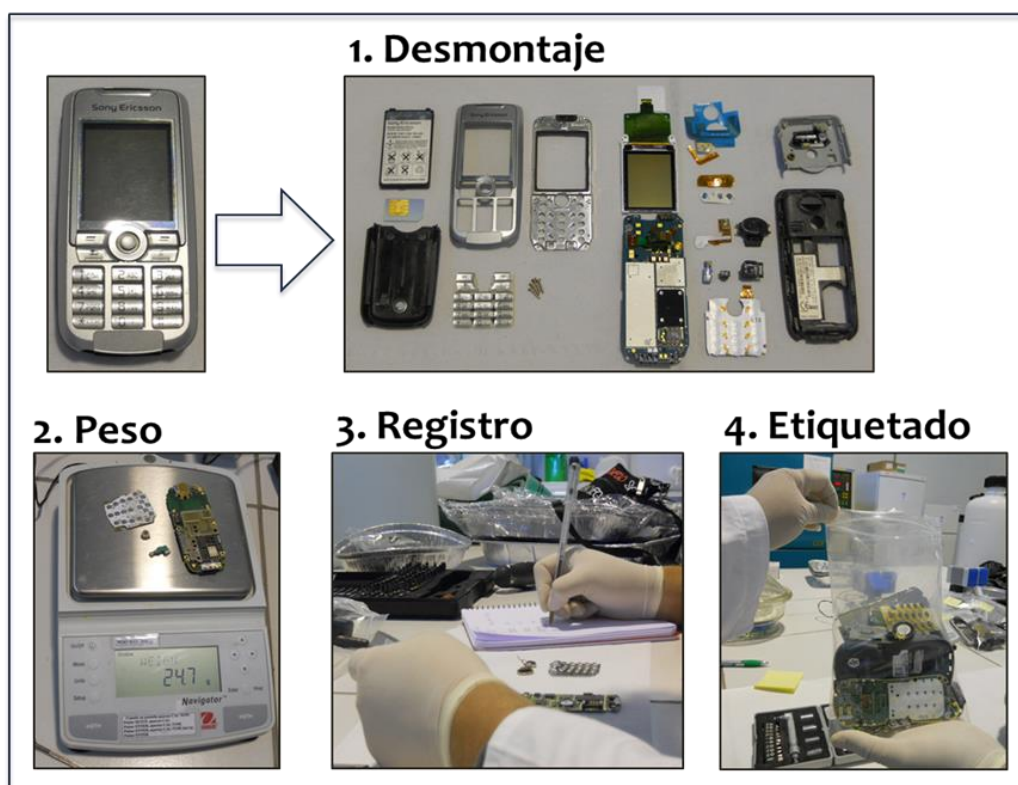


Figura 4.1 Fases de caracterización de los teléfonos celulares

Para cada uno de los teléfonos celulares caracterizados, se desmontaron cada uno de sus componentes, determinando el peso, el material en el que están fabricados y el proceso de fabricación empleado. En lo que se refiere a los componentes analizados, la mayor parte de teléfonos presentan:

- Antena
- Bocina
- Batería
- Micrófono
- Pantalla LCD
- Teclado o botonera
- Placa de circuito impreso
- Carcasas (exteriores, intermedias e interiores)
- Tornillos
- Conectores
- Piezas metálicas

El departamento de materiales de la universidad nos apoyó en el registro de los materiales de cada componente (Figura 4.2). Sin embargo, hubo componentes para los cuales fue necesario establecer composición a través de información bibliográfica, tal es el caso de las placas intermedias (elaboradas con aleaciones Cu-Zn-Sn), bocina, cámara, antena y micrófono (ver Tablas 4.3 y 4.4).



Figura 4.2 Identificación de materiales de los teléfonos celulares

En la literatura se presentan diversas composiciones de un teléfono celular tal como se muestra en la Tabla 4.1. Sin embargo, para este estudio de ACV se usaron los datos obtenidos del muestreo, de acuerdo a la categorización propuesta en la columna B de la Tabla 4.1, las caracterizaciones C y D son propuestas por Wu et al. (2008).

Tabla 4.1 Composición de un teléfono celular

A* (literatura)		B ** (muestreo)		C*** (en mercado 1998)		D*** (Nuevos modelos)	
Material	%	Material	%	Material	%	Material	%
Plástico	45	Plástico	39.96	Plástico	39.7	Plástico	43.2
Vidrio y cerámica	10	Batería	25.69	Metales	39.6	Metales	35.1
Cobre	20	PCI/LCD	26.90	Cerámica	12.3	Cerámica	12.6
No metales	5	Férrico	2.41	Epóxicos	5.97	Epóxicos	6.71
Otros metales	20	No Férrico	5.04	Otros	2.36	Otros	22.38

Fuente: * Construcción Propia de análisis de literatura ** Estudio de caracterización *** Wu et al. (2008)

Después del proceso de muestreo se obtiene la composición del teléfono celular, tal como lo muestra la Figura 4.3 (ver Anexo 4).

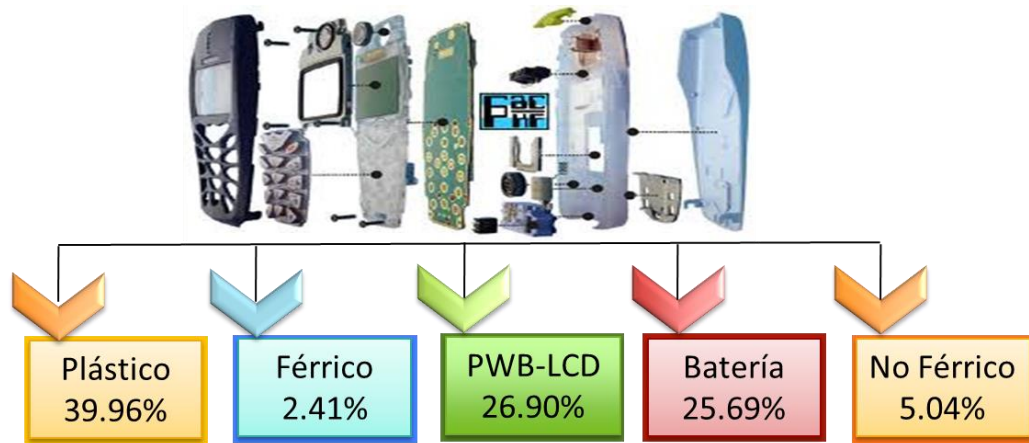


Figura 4.3 Diagrama de componentes de un teléfono celular promedio

4.2 ACV - INDICADORES AMBIENTALES

4.2.1 Definición de objetivos y alcance

Tomando como unidad funcional el ciclo de vida de un teléfono celular promedio utilizado durante 30 meses, se modelaron los tres escenarios descritos en el apartado 3.2.2, de acuerdo a las consideraciones y datos de entrada para cada etapa que se describe en los siguientes apartados. Una vez definidos los escenarios a analizar se estableció la ponderación por etapa de análisis de acuerdo a la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Ponderación por etapa de ACV

Escenarios	Etapas de análisis			
	Adquisición/producción	Distribución	Uso	Retirada/Reciclaje
S0 (18 meses)	1.67	1.67	1	1.67
S1 (24meses)	1.33	1.33	1.1	1.33
S2 (30 meses)-UF	1	1	1.2	1

4.2.2 Análisis de inventario

Una vez identificados los materiales y procesos de fabricación del teléfono celular y con base a los objetivos y alcance del estudio, se aplicaron los siguientes criterios en la definición del inventario:

- Se tomó información de la base de datos Ecoinvent 2.0 (2008), previa adaptación al caso de estudio situado en México (aportación energética por tecnologías, distancias, medios de transporte, etc.).
- Se ha considerado la adquisición de materias primas, fabricación de componentes que forman parte del producto y el transporte de materiales de fabricación de acuerdo a consumos en China.
- No se considera el embalaje del producto terminado.
- Se considera la distribución del producto terminado (China-México).
- Se ha considerado una eficiencia de reciclaje 1:1 de los materiales componentes.

El inventario de materiales por componente se presenta en el anexo VI.

4.2.2.1 Adquisición/producción. Consideraciones y datos de entrada

A partir de la caracterización del teléfono celular promedio, se modeló cada uno de los teléfonos analizados en el software SimaPro 7.3 (2011).

Los datos de inventario correspondientes a la etapa de adquisición de materia prima y producción se adaptaron de Ecoinvent v2 (2008) según lo indicado anteriormente, y atienden a las siguientes características para cada componente:

Carcasas exteriores: fabricadas en ABS y PC (policarbonato) generalmente. Como consecuencia del brillo y luminosidad que presentaban las piezas, se ha considerado una proporción de 20 % de ABS y 80% de PC para las piezas inyectadas. También se emplea PS (poliestireno), PET (polietileno tereftalato) y PP (Polipropileno) en alguna de las piezas plásticas.

Aleaciones de piezas metálicas: como consecuencia del color y las prestaciones, se considera el Zamak, con una composición de Zinc, Aluminio, Cobre y Magnesio (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Pieza metálica ZAMAK

Piezas ZAMAK	%
Zinc	92.33
Al 6%	6
Cu %1.6	1.60
Mg 0.065%	0.07

Tornillos: acero y latón en alguno de los casos.

Botonera o teclados: se considera la silicona como material principal, presentando alguna de ellas partes fabricadas en PC.

Conectores: los conectores que presentan los teléfonos móviles están formados por cobre protegidos con caucho sintético.

Componentes eléctricos/electrónicos: La información se tomó de la base de datos Ecoinvent 2.0 (2008), referente a “Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal”, seleccionando los dispositivos más adecuados, creando y aproximando la composición de aquéllos que no se encuentran incluidos en el manual, como el altavoz, cámara, micrófono y la antena (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Módulo aproximado de composición de componentes

Altavoz	%	Cámara	%	Micrófono	%	Antena	%
Aluminio	10	Cobre	25	Aluminio	70	Latón	2
Hierro	40		25	Cobre	10	Polibutadieno	8
Cobre	9.9	Cristal	50	Acero	20		
Acero prensado	25						
Espuma Poliuretano	0.1						
ABS	15						

Como cada celular analizado tenía componentes y materiales propios (ver Anexo 4), en lugar de obtener un inventario promedio, se modeló cada uno de los celulares en el software SimaPro 7.3 (2011) y se obtuvieron sus indicadores ambientales. Haciendo el promedio de todos ellos, se obtuvieron los indicadores promedios, que fueron modelados en SimaPro como representativos del teléfono celular promedio durante las etapas de adquisición de materias primas y producción. Los datos que representan la etapa de adquisición/producción del ACV se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 ECV de un teléfono celular promedio

Contaminante	Contribución
Antimonio, en tierra (recurso)	0.04882 Kg Sb eq
Dióxido de carbono (emisiones aire)	6.91802 Kg CO ₂ eq
Dióxido sulfuroso (emisiones aire)	0.06637 Kg SO ₂ eq
Metano, trichlorofluoro-, CFC-11 (emisiones aire)	8.1E-06 Kg CFC-11 eq
Eteno (emisiones aire)	0.0031 Kg C ₂ H ₄ -eq
Fosfatos (emisiones agua)	0.00677 Kg PO ₄ ----eq

4.2.2.2 Distribución. Consideraciones y datos de entrada

La tabla 4.6 presenta los recorridos considerados que son necesarios para que el teléfono celular sea enviado del lugar de fabricación al lugar de distribución.

Tabla 4.6 Distribución de un teléfono celular promedio

Etapas	Trayecto	KM	Transporte
Distribución	Shangai, China – Ensenada, México	10771	Barco transoceánico
	Ensenada-México-Mexicali	5589	Terrestre

4.2.2.3 Uso: Consideraciones y datos de entrada

Para esta etapa se calculó la potencia media de consumo energético del celular para los tres escenarios de tiempo de vida. De acuerdo con Rosen y Meier's el consumo de un teléfono celular es de aproximadamente 9kWh/año. Tomando en cuenta S2 como unidad funcional, para este estudio se asumen incrementos de un 10% (S1) y 20% (S2) en pérdida en eficiencia de la batería quedando las proporciones de consumo energético para cada escenario como lo presenta la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Consumo energético por escenario de Ciclo de Vida

Variable	Escenarios		
Consumo (KWh)	S0(18 meses)	S1(24 meses)	S2(30 meses)
	1	1.1	1.2

4.2.2.4 Retirada/Reciclaje. Consideraciones y datos de entrada

En la etapa de retirada, o desuso del teléfono celular fue considerado el escenario de reciclaje. La Figura 4.4 muestra los primeros tres materiales (PCI-LCD, Residuo y Baterías) obtenidos a través de un proceso de descontaminación y separación manual. Estos materiales pasan por procesos y tratamiento distintos para la recuperación de materiales. También se pueden observar los requerimientos para cada proceso así como los porcentajes/cantidad de materiales recuperados.

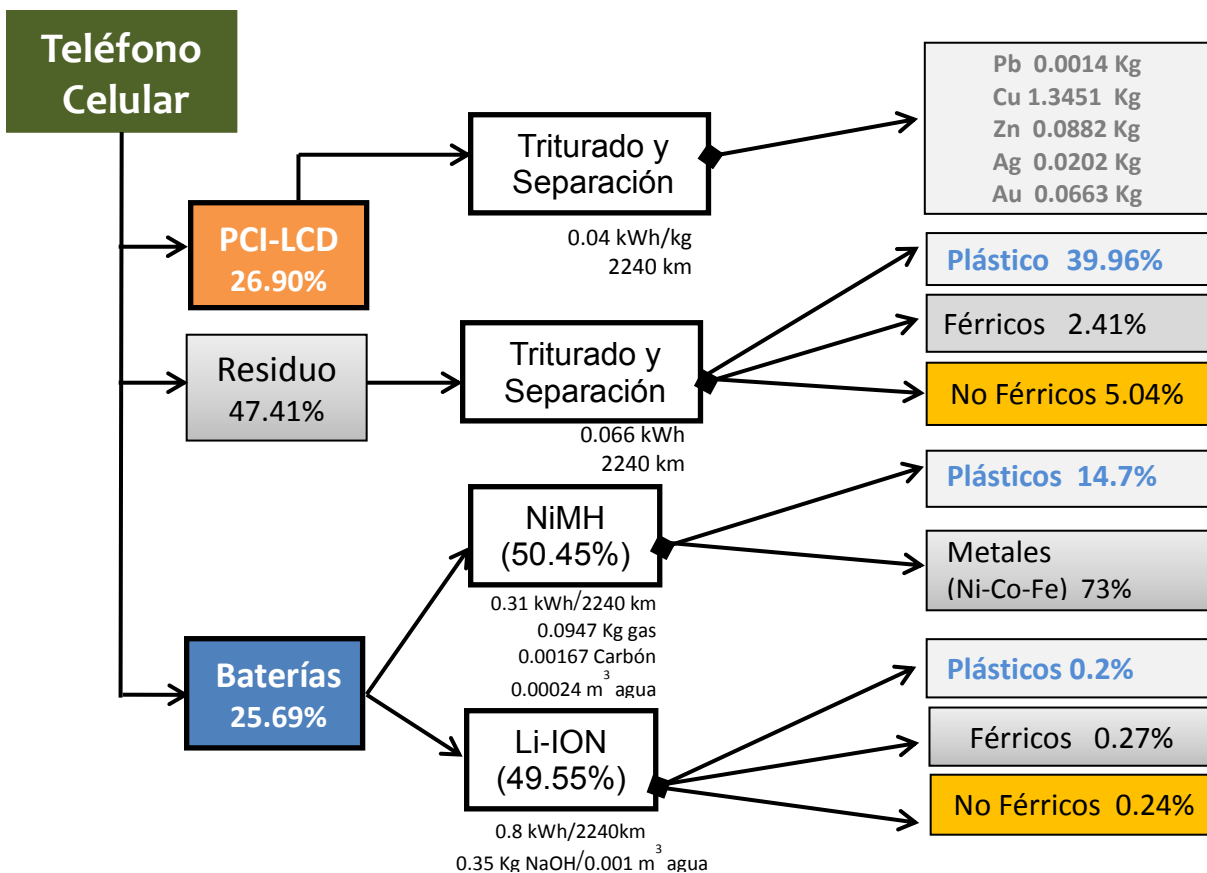


Figura 4.4 Procesos en el tratamiento del teléfono celular

En la Tabla 4.8 se presentan los componentes del celular potencialmente reciclables y las entradas requeridas para cada proceso.

Tabla 4.8 Reciclado de componentes del celular

Componente		Entradas	Porcentaje de reciclables
BATERÍA 0.2569 Kg	Reciclado Li-ion Pirometalúrgico 0.4955 Kg	0.001 m ³ agua 0.8 KWh 0.35 kg NaOH 2240 KgKm (Euro3 32tons)	- 0.2kg Reciclado plásticos mixtos - 0.24kg Reciclado No Férrico - 0.27kg Reciclado Férrico
	Reciclado NiMH Pirometalúrgico 0.5045 Kg	0.00024 m ³ agua 0.31 KWh 0.00167 kg Carbón 0.0947 Kg Gas propano/butano 2888 Km (Euro3 32tons)	- 0.147kg Reciclado plásticos mixtos - 0.73kg Reciclado Férrico
PCI	Reciclado PCI 0.269 Kg	0.04 KWh 2420 Kg Km (Euro3 32tn)	- Reciclado No Férrico (19.14%) - 0.0014 g Reciclado Plomo - 1.3451 g Reciclado Cobre
RESTO	Resto del celular (Carcasas, tornillos, teclados, etc.)		- 0.3996 Kg Reciclado plásticos mix - 0.024 Kg Reciclado Férrico - 0.0504 Kg Reciclado No Férrico
PLÁSTICO	Reciclado plásticos mixtos	0.66 KWh	- HDPE (Polietileno) 0.4 Kg - PVC 0.15 Kg - PET 0.4 Kg

La Tabla 4.9 muestra una relación de materiales primarios y secundarios. La columna de cargas evitadas representa los recursos o materias primas que se evita extraer de la naturaleza a través del uso del material secundario o reciclado. En la columna de materiales secundarios, se observa los materiales reciclados que sustituyen al recurso primario.

Tabla 4.9 Reciclado de materiales del celular

<i>Cargas evitadas</i>	<i>Materiales secundarios</i>
Aluminio, primario, en planta	Aluminio reciclado, en planta
Cobre, primario, en refinera	Cobre secundario, del reciclaje de RAEE's, en refinera
Nickel, primario, a partir de la producción de metales del grupo del platino	Nickel, secundario, del reciclaje de RAEE's, en refinera
Oro, primario, en refinera	Oro, secundario, en refinera de metales preciosos
Plata, almacenamiento regional	Plata, secundario, en refinera de metales preciosos
Platino, primario, en refinera	Platino, secundario, en refinera
Plomo, primario, en planta	Plomo, secundario, del reciclaje de RAEE's, en planta
Zinc, primario, almacenamiento regional	Zinc, del Imperial horno de fundición
Hierro, en planta	Hierro secundario, en planta
Poliestireno, PS	Poliestireno, PS, del reciclaje de RAEE's,
Policloruro de vinilo, PVC	Policloruro de vinilo, PVC, del reciclaje de RAEE's,
Polietileno Tereftalato, PET	Polietileno Tereftalato, PET, del reciclaje de RAEE's,

Se asume que el tratamiento de los componentes del celular es en la ciudad de Monterrey N.L., por lo que se considera el transponte del material a esta ciudad (2240 km transporte terrestre).

4.2.3 Evaluación de impactos

La Tabla 4.10 resume los resultados del ACV por escenario para cada categoría de impacto.

Tabla 4.10 Contribución al impacto ambiental por escenario

<i>Categoría de Impacto</i>	<i>Unidad</i>	<i>sc2</i>	<i>sc1</i>	<i>sc0</i>
Agotamiento Abiótico	Kg Sb eq	0.1734	0.1750	0.1769
Acidificación	Kg SO ₂ eq	0.2329	0.2426	0.2530
Calentamiento Global	Kg CO ₂ eq	22.3995	23.0907	23.8438
Destrucción de capa de ozono	Kg CFC-11	8.13x10 ⁻⁶	1.08x10 ⁻⁵	1.35x10 ⁻⁵
Eutrofización	Kg PO ₄ ---eq	0.0076	0.0094	0.0113
Oxidación Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0.0138	0.0151	0.0164

En la Figura 4.5 se observa el potencial de impacto ambiental para cada componente de un teléfono celular promedio.

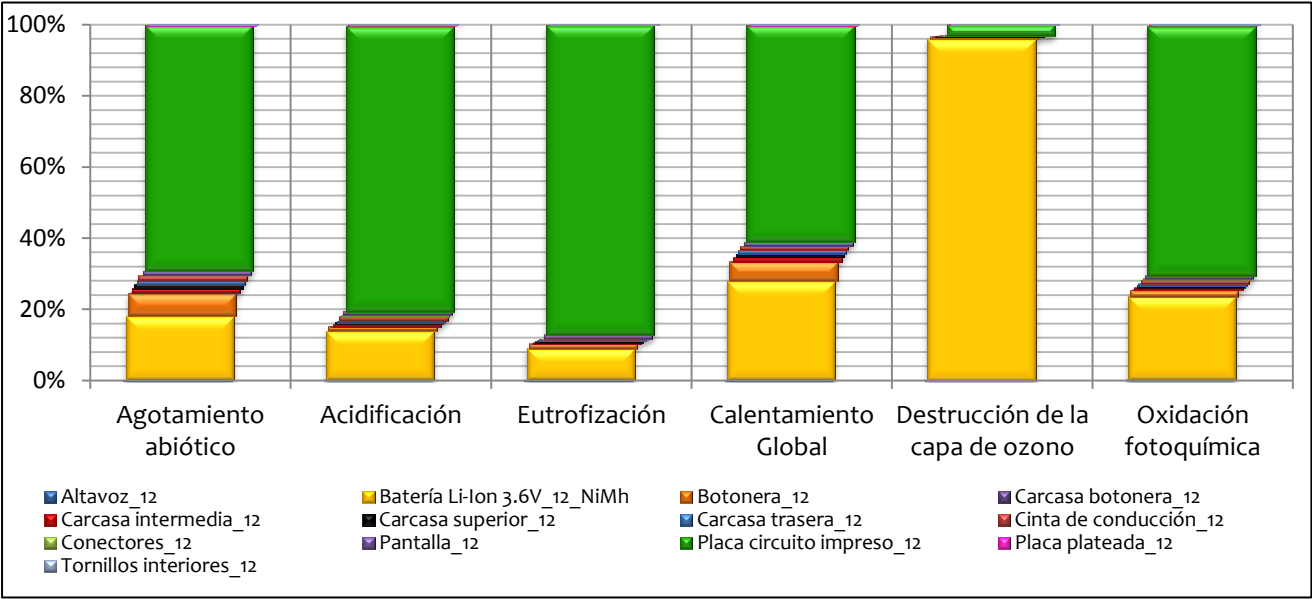


Figura 4.5 Contribución al impacto ambiental por componente

La Figura 4.6 muestra el nivel de contribución al impacto ambiental por etapas de ciclo de vida del teléfono celular. Se observa que las etapas que representan mayor impacto son adquisición/producción y Uso.

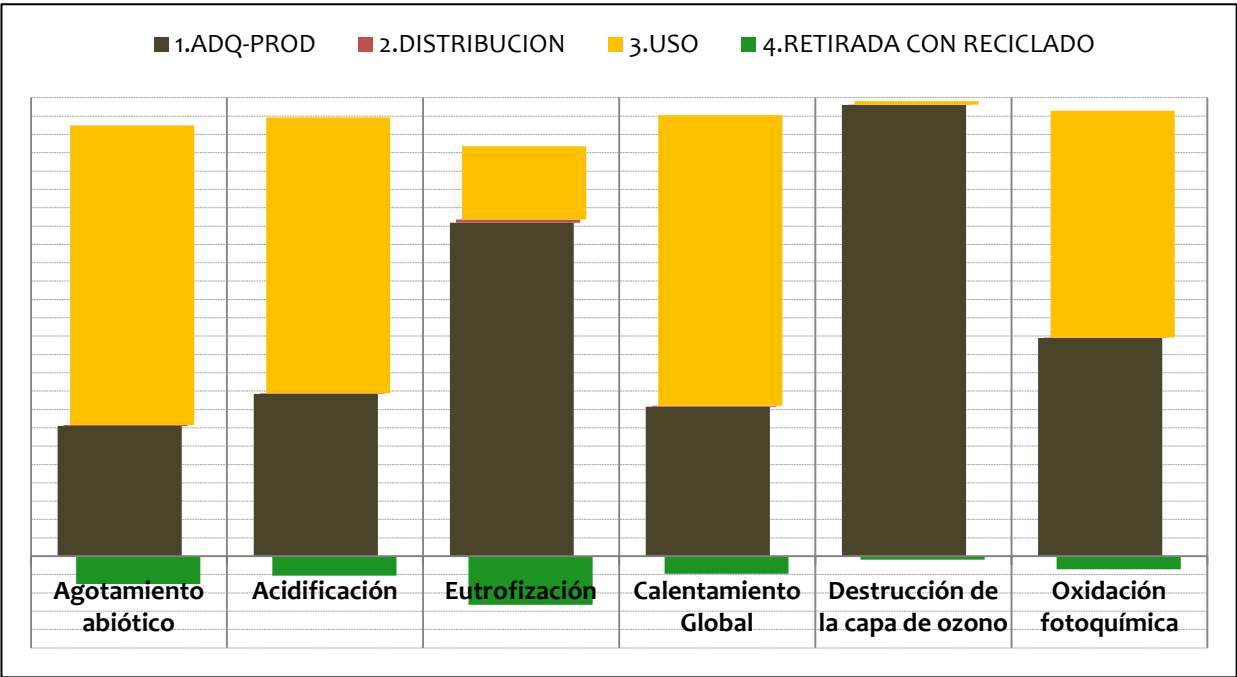


Figura 4.6 Contribución al impacto ambiental por etapa de ciclo de vida

La Figura 4.7 (A-F) muestra una comparación del nivel de contribución al impacto ambiental por escenario.

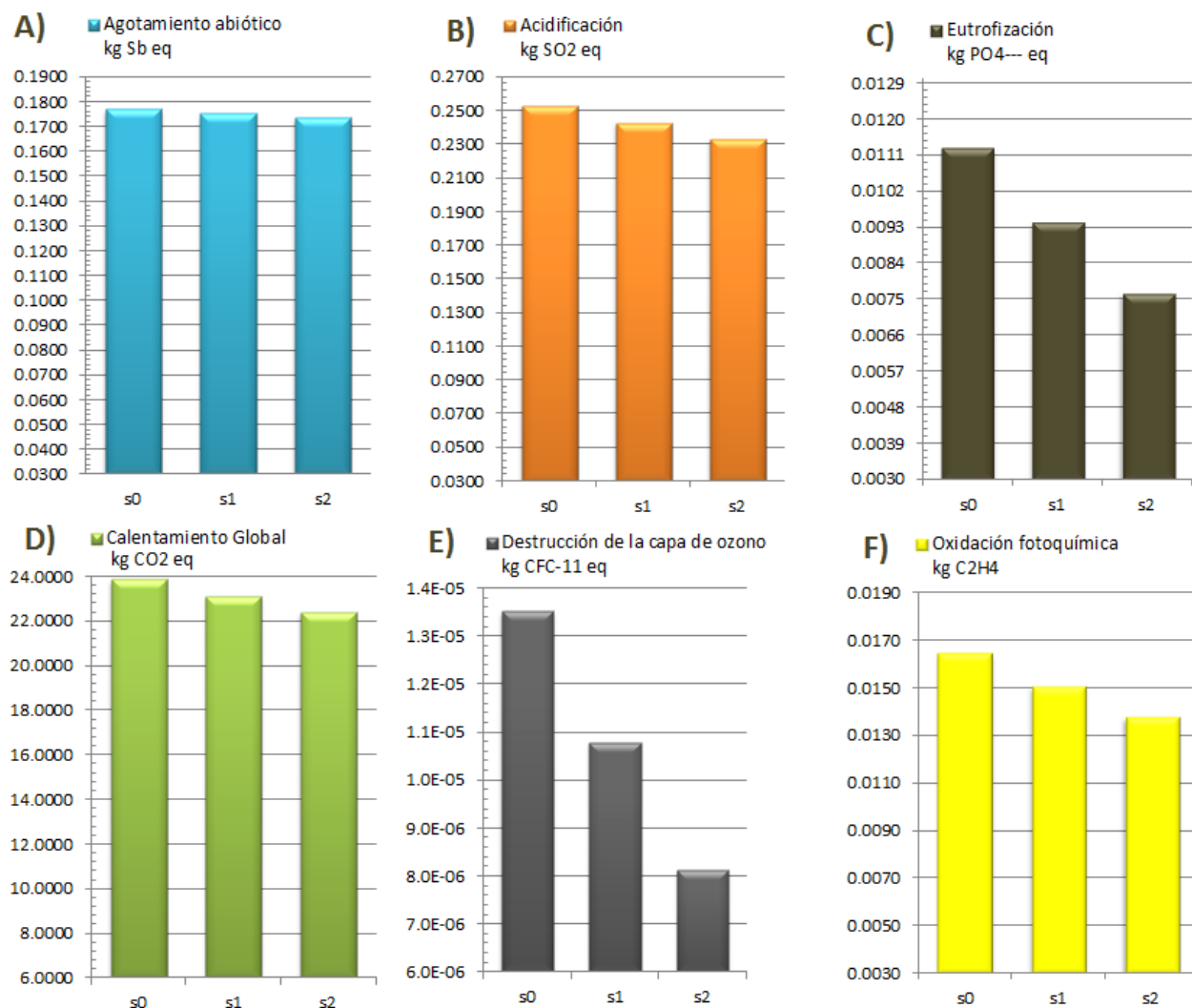
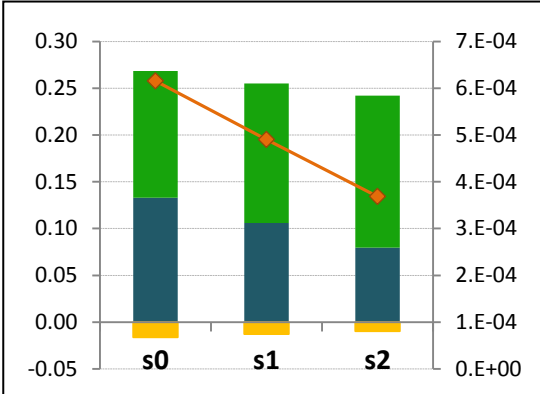


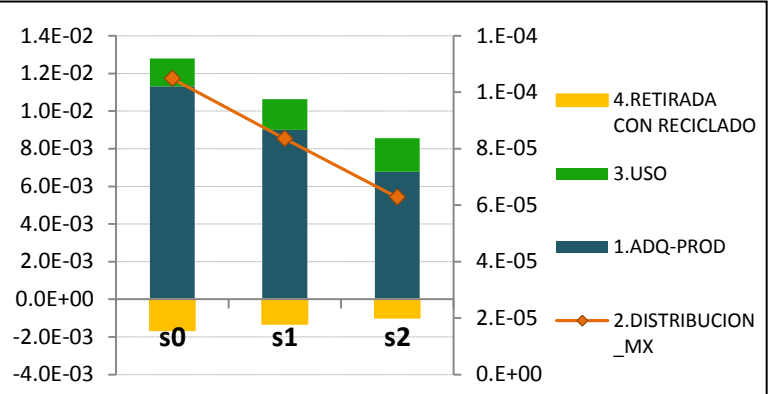
Figura 4.7 Comparativa de escenarios por categoría de impacto

La Figura 4.8 muestra la contribución al impacto ambiental por escenario para cada etapa del ciclo de vida analizada. Es importante resaltar que las cargas evitadas no solo las representan la recuperación de materiales, sino que al dar mayor tiempo de vida útil al teléfono celular se evita la adquisición de nuevos dispositivos llevando a una reducción en la generación de residuos.

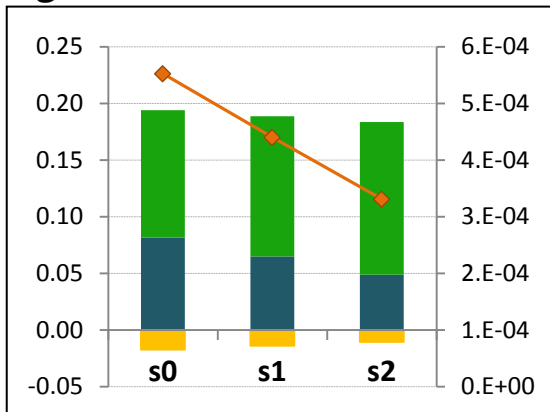
Acidificación



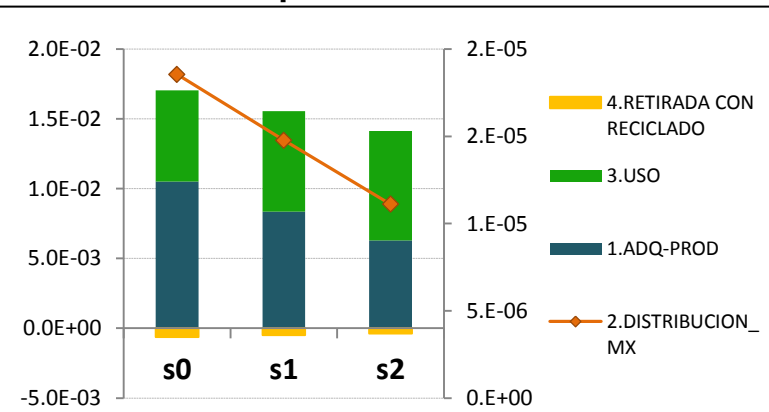
Eutrofización



Agotamiento Abiótico



Oxidación Fotoquímica



Destrucción de la capa de Ozono



Calentamiento Global

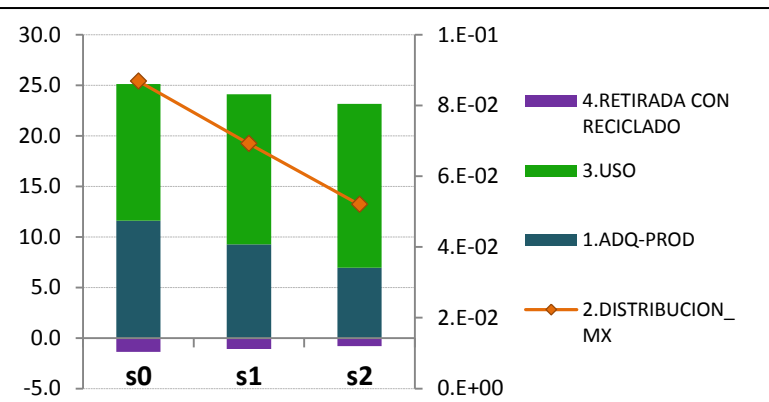


Figura 4.8 Impacto ambiental por categoría y escenario

4.3 INDICADORES SOCIALES. VISIÓN DE LOS UNIVERSITARIOS

Se aplicaron 3,282 encuestas (Anexo 1) en 51 distintas carreras de 14 facultades y escuelas de la UABC-Mexicali. La encuesta fue analizada considerando los apartados incluidos en ella. Se definieron y evaluaron cuatro variables: prácticas de consumo, hábitos de uso, prácticas de manejo y nivel de conocimiento.

Perfil de usuario

El 47.5% de los estudiantes encuestados son mujeres, de las cuales las edades del 44.6% oscila entre 19 y 24 años. Además el 40.7% de los universitarios no son mayores de 19 años (Tabla 4.11).

Tabla 4.11 Relación edad/sexo de los estudiantes universitarios

SEXO	EDAD					TOTAL
	[≤19]	[20-24]	[25-29]	[30-34]	[≥35]	
Hombre	18.6%	28.9%	4%	0.7%	0.3%	52.5%
Mujer	22.1%	22.5%	2.2%	0.4%	0.3%	47.5%
TOTAL	40.7%	51.4%	6.2%	1.1%	0.6%	100%

La Tabla 4.12 muestra los porcentajes de encuestas aplicadas en cada Facultad/Escuela. Se observa que las Facultades de Ingeniería y Cs. Administrativas son las que muestran mayor proporción. Esto se debe a que cuentan con mayor población estudiantil.

Tabla 4.12 Porcentaje de encuestas aplicadas por Facultad/Escuela

Facultad/Escuela	%	Facultad/Escuela	%
Ingeniería	29	Artes	0.8
Cs. Administrativas	15.7	Medicina	6.2
Arquitectura	5.4	Enfermería	2.1
Pedagogía	6.5	Odontología	6.9
Cs. Humanas	6.9	Veterinarias	5.9
Cs. Políticas	2.9	Derecho	5.9
Idiomas	3.7	Deportes	1.9

4.3.2 Prácticas de Consumo

Se registraron 20 diferentes marcas de celulares, de estas las más adquiridas son Nokia (23.6%), Ericsson (18.7%) y Samsung (17.2%) (Figura 4.9).

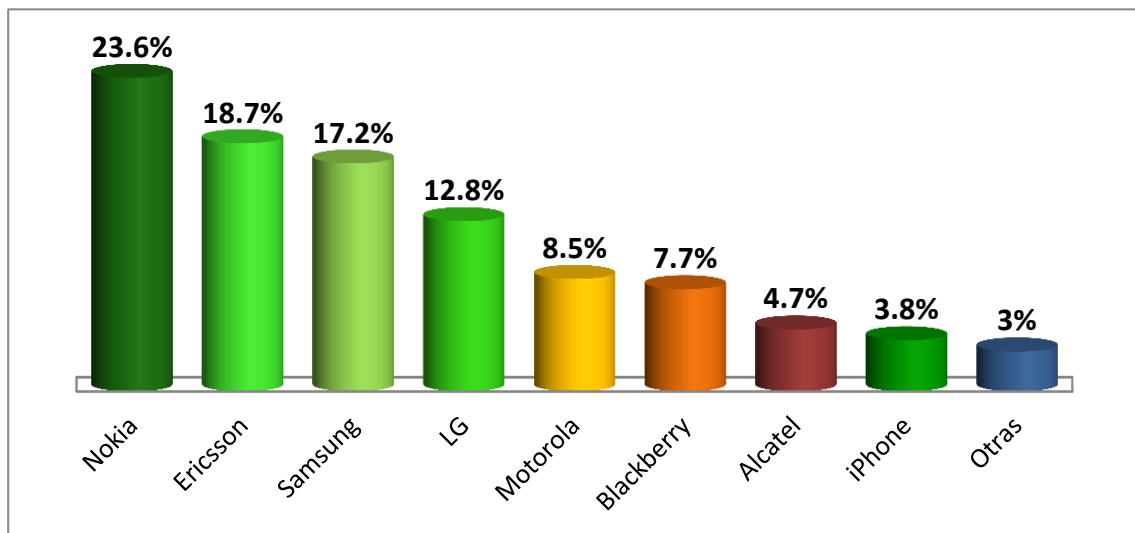


Figura 4.9 Marcas de celular que más consumen entre universitarios

Se observó que la preferencia por marcas no es influenciada por la edad de los usuarios universitarios, tal como lo muestra la Figura 4.10. La marca preferida es Nokia.

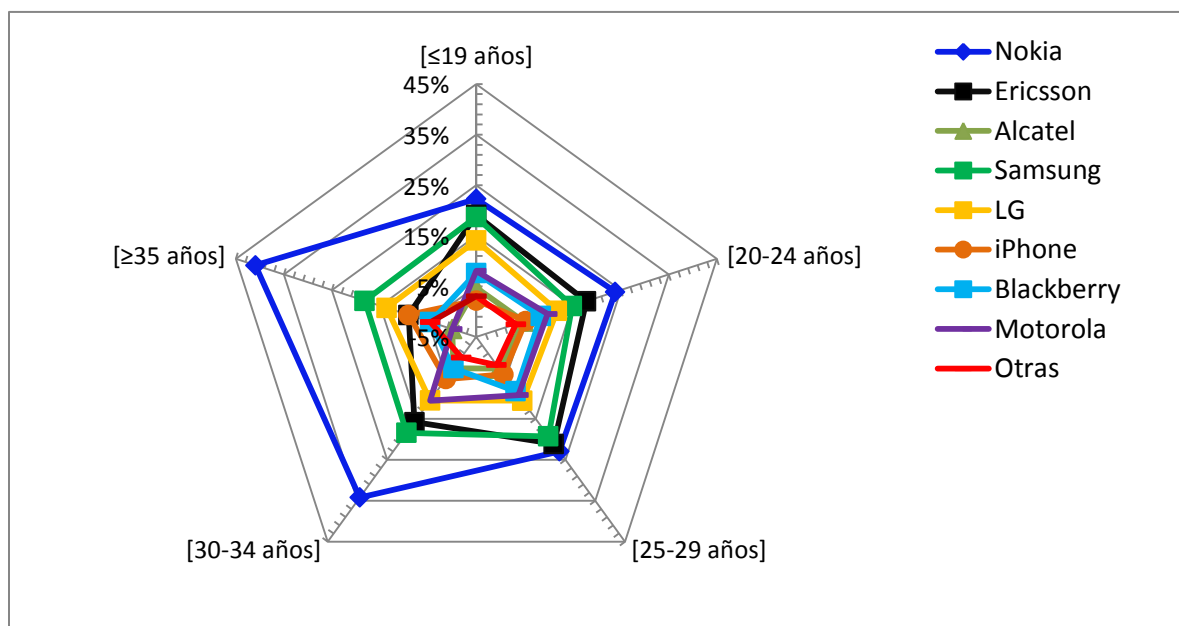


Figura 4.10 Marcas de teléfonos celulares preferidas por edad de usuario

La Figura 4.11 muestra la escala de precios de los celulares adquiridos por los universitarios, se observa que el 20% ha pagado más de 3000 pesos por su teléfono celular. El 11.7% pagó hasta 500 pesos, el 31.9% entre 1000 y 2000 pesos y el 23.4% entre 2000 y 3000 pesos.

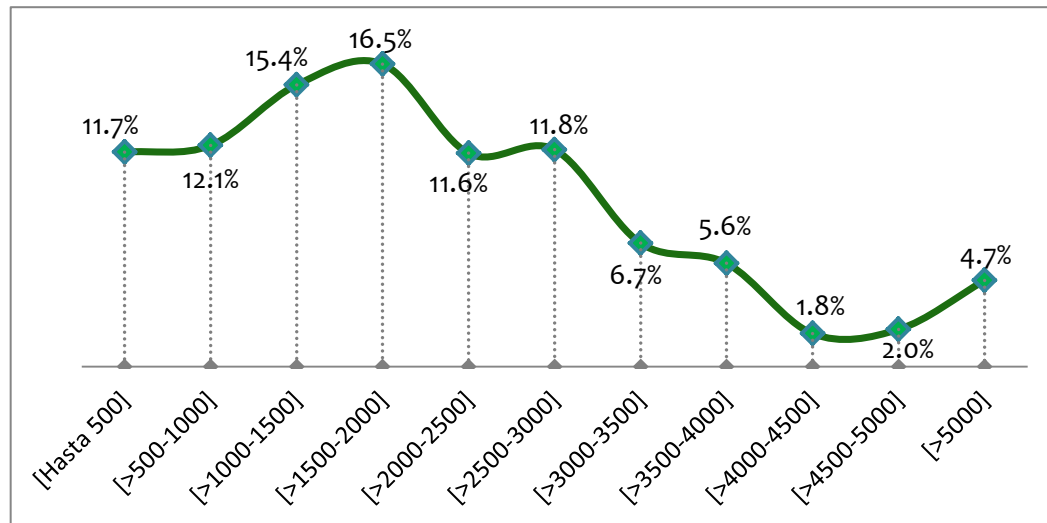


Figura 4.11 Escala de precios de teléfonos celulares adquiridos por universitarios

En la Figura 4.12, se observa que los criterios de mayor importancia que determinan la elección de un nuevo celular son el precio y las aplicaciones. Esta preferencia tal y como se observa, es independiente del sexo del usuario.

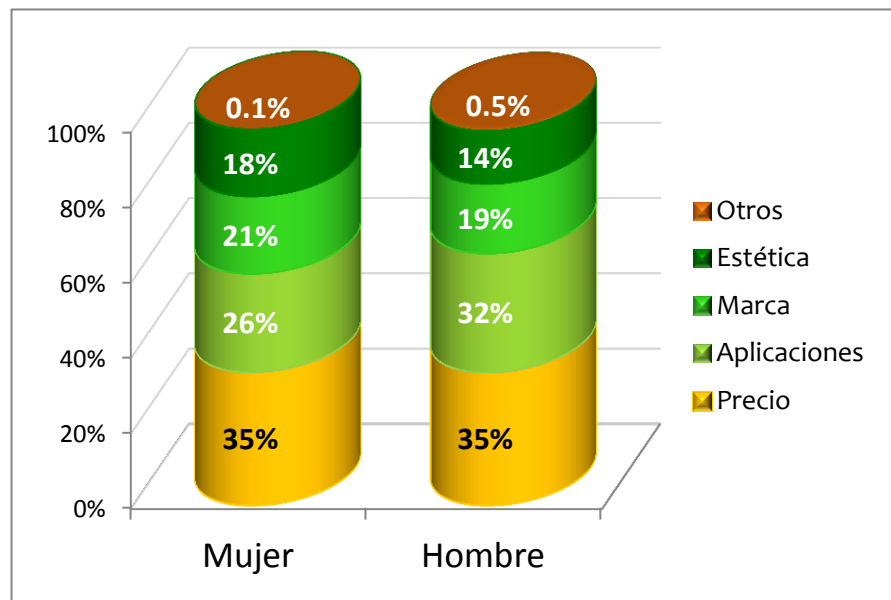


Figura 4.12 Criterio de compra por sexo

Además, en la Figura 4.13 podemos observar que la edad del usuario no modifica las preferencias o atributos de adquisición de los teléfonos celulares.

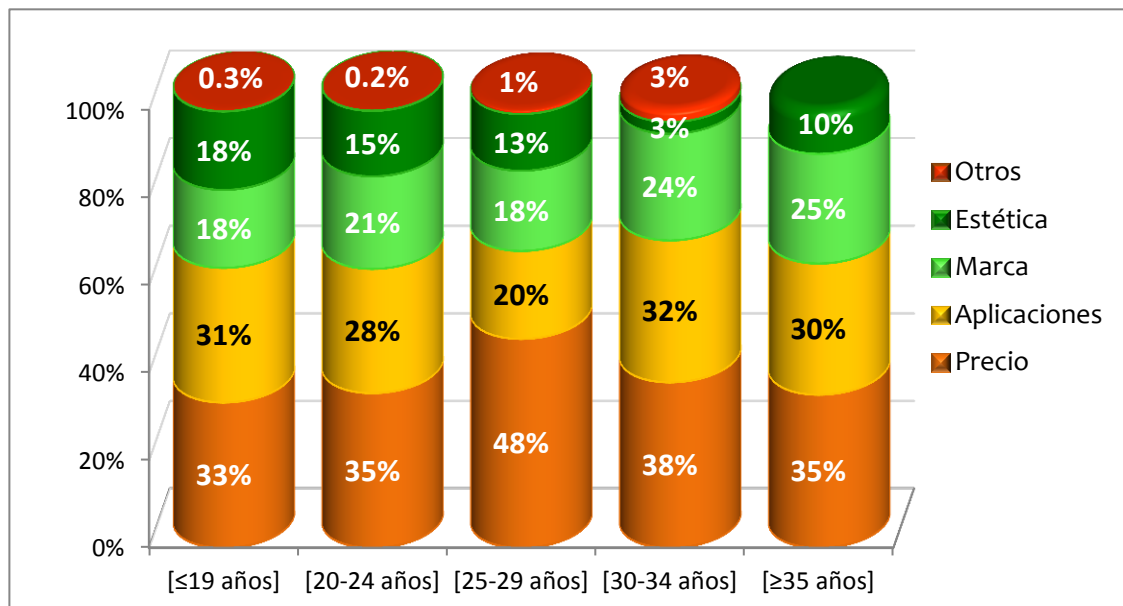


Figura 4.13 Criterios de compra por edad del usuario

El 96% de los universitarios compró su celular en México, mientras el 4% en los Estados Unidos. La Figura 4.14 muestra que un 26% de los teléfonos adquiridos en los Estados Unidos son de segunda mano.

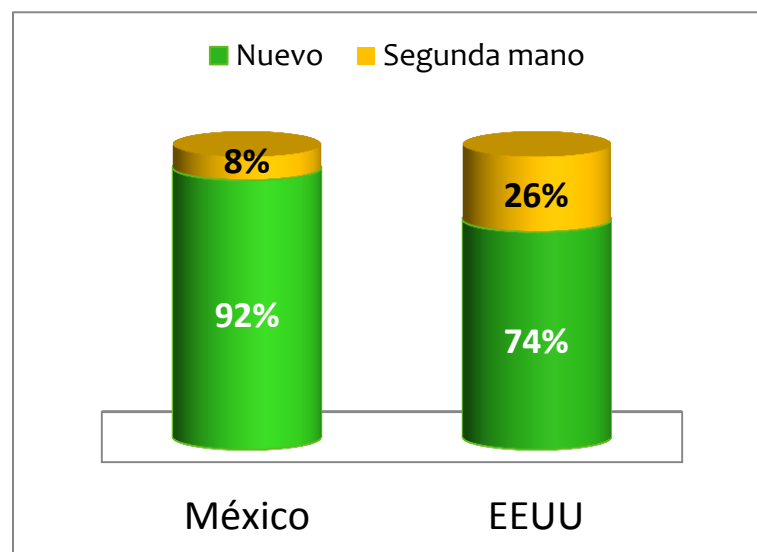


Figura 4.14 Adquisición de un teléfono celular

Modelo para prácticas de consumo (PC)

A través del algoritmo de clusterización sustractiva se identificaron perfiles que describen las prácticas de consumo de telefonía móvil en los universitarios. La Figura 4.15 muestra un ajuste de 100% de los datos al modelo ($R=1$).

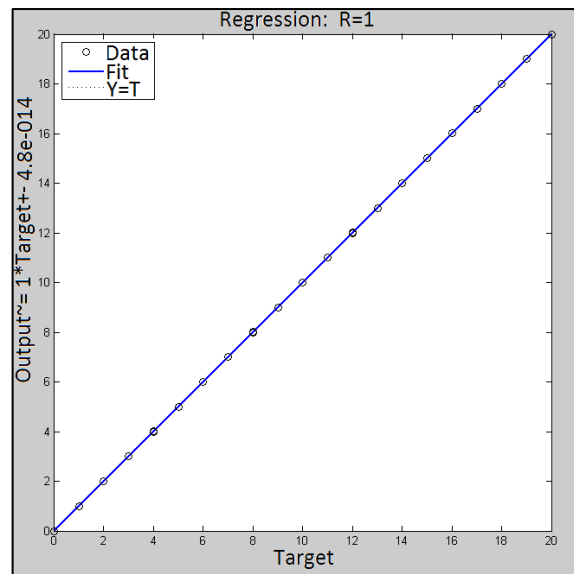


Figura 4.15 Análisis de regresión para la variable consumo

La Figura 4.16 (A-E), que muestra el comportamiento de la variable dependiente ($Y_1 = \text{Consumo}$) con respecto a las variables independientes. Donde X_1 : precio promedio, X_2 : criterio de compra, X_3 : lugar de compra y X_4 : nuevo/usado.

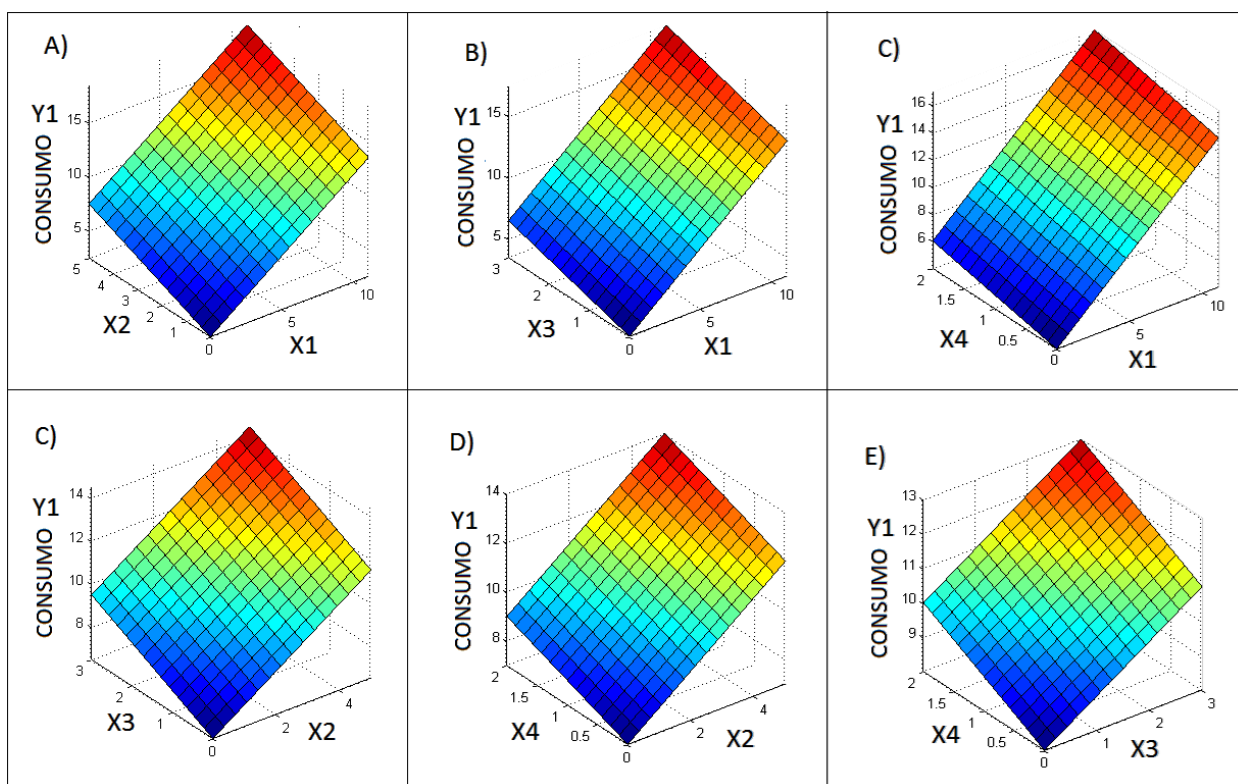


Figura 4.16 Relaciones entre variables independientes ($X_1, \dots, X_4$)

En la Tabla 4.13 se observa la estructura del FIS para los perfiles de consumo. La Figura 4.17 muestra el modelo generado que explica los perfiles de prácticas de consumo de teléfonos celulares en los universitarios. Se observa un rango para Y_1 de $[0-11]$ y la generación de 4 reglas difusas.

Tabla 4.13 Estructura del Sistema de Inferencia Difusa sobre prácticas de consumo

name: 'CONSUMO'	Nombre: CONSUMO
type: 'sugeno'	Tipo: Sugeno
andMethod: 'prod'	
orMethod: 'probor'	
defuzzMethod: 'wtaver'	Método de defuzzificación : Promedio ponderado
impMethod: 'prod'	
aggMethod: 'sum'	
input: [1x4 struct]	Cinco entradas
output: [1x1 struct]	Una salida
rule: [1x4 struct]	4 reglas generadas

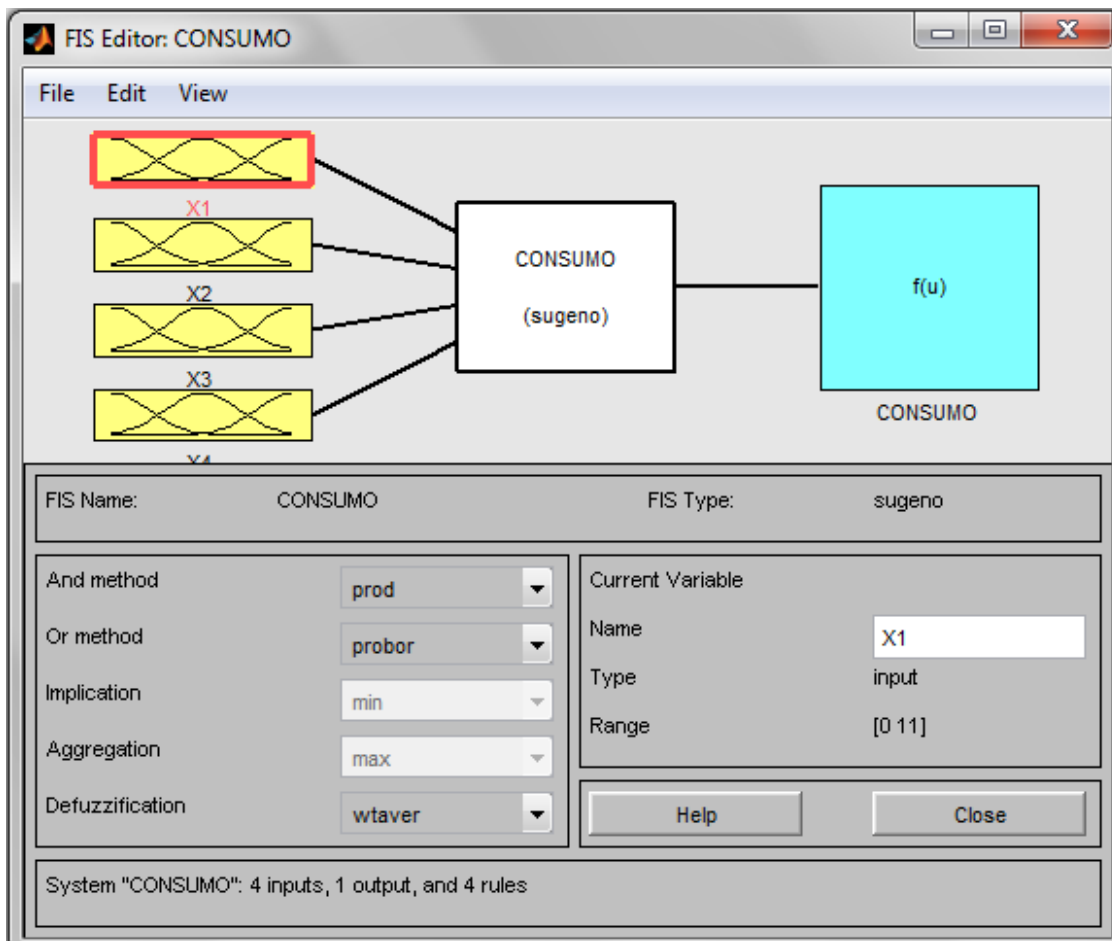


Figura 4.17 Modelo difuso para Prácticas de Consumo

Los rangos obtenidos en el modelo difuso categorizan las prácticas de consumo de acuerdo a las cuatro variables de entrada (X_1 , X_2 , X_3 y X_4). En la Tabla 4.14 se muestra el conjunto de reglas difusas generadas por el modelo.

Tabla 4.14 Reglas If-Then prácticas de consumo

If (X_1 is Caro) and (X_2 is Negativo) and (X_3 is Positivo) and (X_4 is Indiferente) then (CONSUMO is out1cluster1)
If (X_1 is Promedio) and (X_2 is Positivo) and (X_3 is Positivo) and (X_4 is Indiferente) then (CONSUMO is out1cluster2)
If (X_1 is Economico) and (X_2 is Negativo) and (X_3 is Positivo) and (X_4 is Indiferente) then (CONSUMO is out1cluster3)
If (X_1 is Caro) and (X_2 is Indiferente) and (X_3 is Positivo) and (X_4 is Indiferente) then (CONSUMO is out1cluster4)

La Tabla 4.15 muestra las características de los universitarios que agrupa cada clúster de acuerdo a las reglas.

Tabla 4.15 Definición de reglas sobre prácticas de consumo

CONSUMO (out1cluster1) Considera a estudiantes universitarios que consumen teléfonos celulares caros (alto costo), Sus criterios de compra están orientados a la estética y aplicaciones disponibles (negativo), compra en México y le es indiferente las condiciones de adquisición del equipo (Nuevo o usado). Parámetros de la FM: [1 1 1 1 -4.938e-015] $C = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 - 4.938e-015$
CONSUMO (out1cluster2) Universitarios que consumen teléfonos celulares de precio promedio, al momento de la compra los factores que considera contribuyen a buenas prácticas proambientales. Compra en México y le es indiferente las condiciones del equipo (Nuevo o usado). Parámetros de la FM: [1 1 1 1 -5.871e-014] $C = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 - 5.871e-014$
CONSUMO (out1cluster3) Universitarios que consumen teléfonos celulares de bajo costo. Sus criterios de compra están orientados a la estética y aplicaciones disponibles (negativo). Compra en México y le es indiferente las condiciones del equipo (Nuevo o usado). Parámetros de la FM: [1 1 1 1 6.739e-017] $C = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + 6.739e-017$
CONSUMO (out1cluster4) Considera a estudiantes universitarios que consumen teléfonos celulares caros (alto costo), sus criterios de compra están orientados a las aplicaciones disponibles, compra en México y le es indiferente las condiciones del equipo (Nuevo o usado). Parámetros de la FM: [1 1 1 1 5.232e-014] $C = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + 5.232e-014$

4.3.1 Hábitos de uso

Referente a la etapa de uso de teléfonos celulares se encontró que el 64.4% de los universitarios coincide en que el tiempo de vida útil del celular es de hasta 18 meses (Tabla 4.16).

Tabla 4.16 Tiempo de vida útil del teléfono celular entre universitarios

Tiempo Vida útil (Meses)	≤6	6-12	12-18	18-24	24-36	36-48	≥60
Estudiantes Universitarios (%)	20.1	29	15.3	19.8	10.1	5	0.7

En la Figura 4.18 se observa que los estudiantes más jóvenes (19-24 años) y los mayores de 35 años coinciden en que el tiempo de vida útil del celular es de 6 a 12 meses.

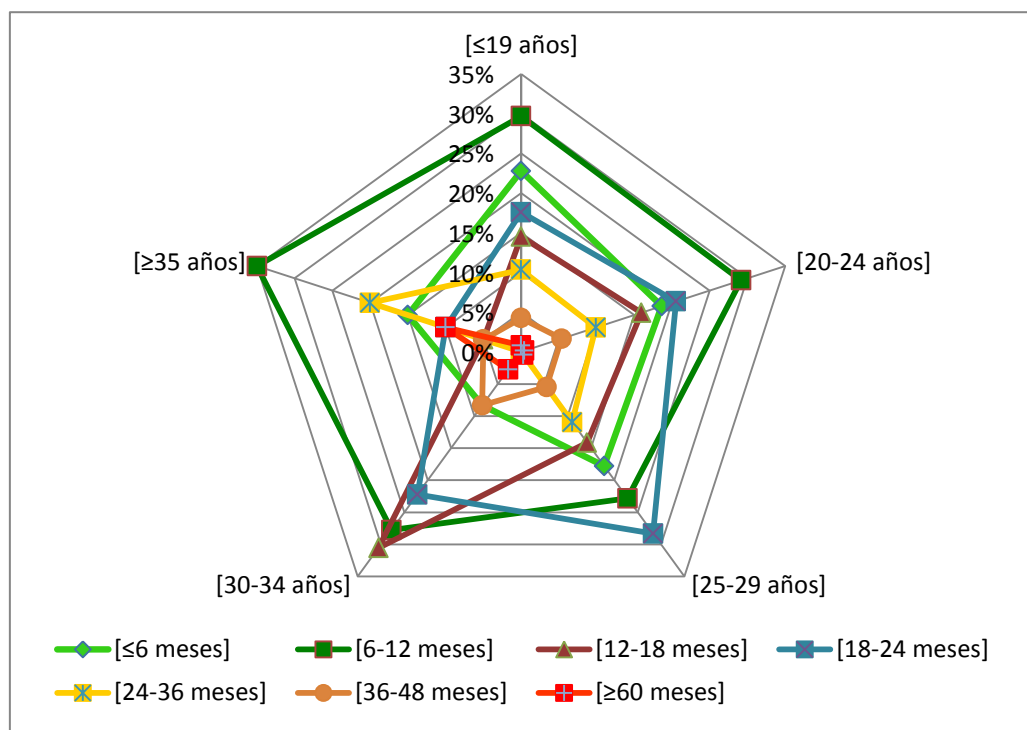


Figura 4.18 Tiempo de vida útil del celular por edad del usuario

La Tabla 4.17 muestra la relación entre el número y horas de recargas energéticas del celular. Se observa que el 34.63% recarga de 3-4 horas y el 51.33% realiza de dos a tres recargas por semana. La media de recarga del celular obtenida es de 20 horas/semana. El 16% recarga su teléfono celular por un periodo de 1 a 8 horas/semana, el 17% de 9 a 16 horas/semana, el 26.9% de 18 a 24 horas y el 40.1% más de 25 horas/semana.

Tabla 4.17 Consumo energético del teléfono celular en la etapa de uso

Cantidad de cargas/semana	Horas/carga					TOTAL
	9 o más	7-8	5-6	3-4	1-2	
7	0.19%	1.51%	0.25%	4.18%	5.98%	12.11%
6	0.03%	0.22%	0.09%	1.32%	2.04%	3.71%
5	0.06%	0.44%	0.09%	2.71%	4.88%	8.18%
4	0.09%	0.66%	0.28%	4.47%	8.43%	13.94%
3	0.38%	1.20%	0.22%	8.90%	14.88%	25.57%
2	0.28%	0.57%	0.50%	9.06%	15.35%	25.76%
1	0.03%	0.66%	0.13%	3.99%	5.91%	10.73%
	1.07%	5.25%	1.57%	34.63%	57.47%	

La Figura 4.19 muestra los factores que determinan el incremento en el volumen de teléfonos celulares en desuso. Se encontró que la pérdida de funcionalidad (43%) es el principal motivador del cambio.

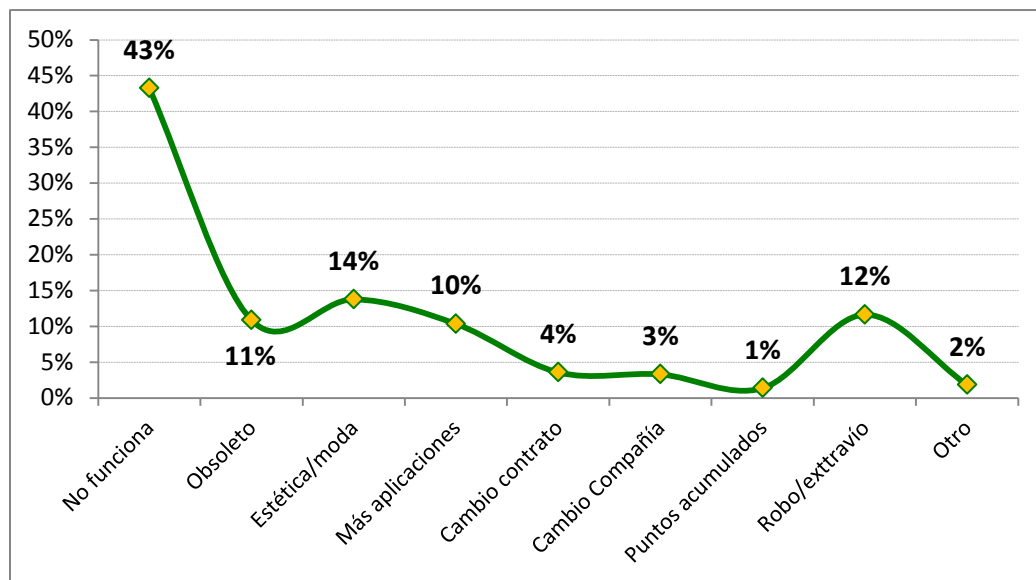


Figura 4.19 Motivo de cambio del teléfono celular entre universitarios

La Figura 4.20 muestra el número de teléfonos celulares que los universitarios han utilizado en su vida. Se observa que el 45% han tenido entre 3 y 4 mientras que el 24.4% ha tenido al menos seis.

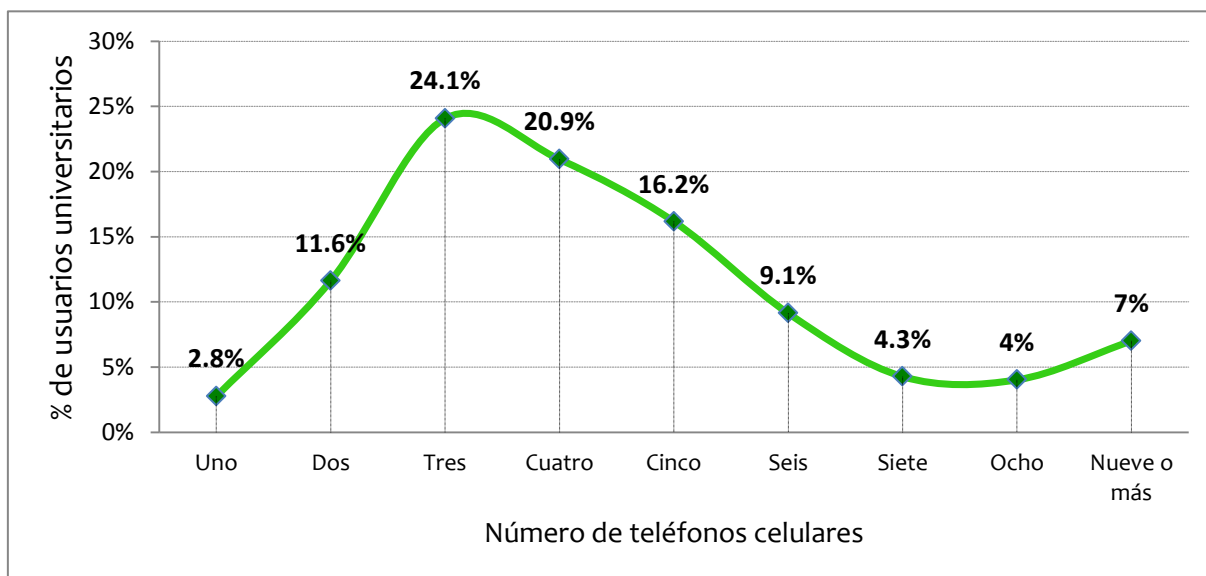


Figura 4.20 Número de celulares que ha tenido

Modelo para hábitos de uso (U)

Tras el análisis de las 3,282 encuestas aplicadas a los generadores universitarios, la normalización de datos y generación de matrices para el análisis con Genfis2, a continuación se presenta el modelo propuesto que define los hábitos de uso (U) del teléfono celular.

El modelo propuesto para los hábitos de uso del teléfono celular, muestra ajuste al 100% de los datos (ver Figura 4.21).

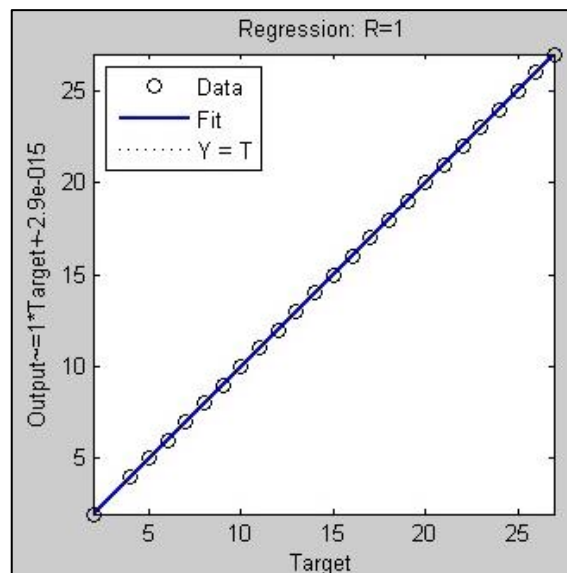


Figura 4.21 Análisis de regresión para la variable USO

La Figura 4.22 (A-D), muestra el comportamiento de la variable dependiente con respecto a las variables de entrada al modelo. Se observa que los hábitos de uso son positivos al incrementar la antigüedad (X_1) del celular y el consumo energético (X_2) (ver inciso A), esto es, si alargamos el tiempo de vida (uso) del teléfono celular se requiere de mayor consumo energético para el mismo equipo, sin embargo estamos evitando la adquisición y por lo tanto producción de un nuevo teléfono celular. En el inciso B se observa que el nivel positivo en la variable dependiente se presenta en universitarios que consideran y dan un mayor tiempo de vida a sus teléfonos celulares.

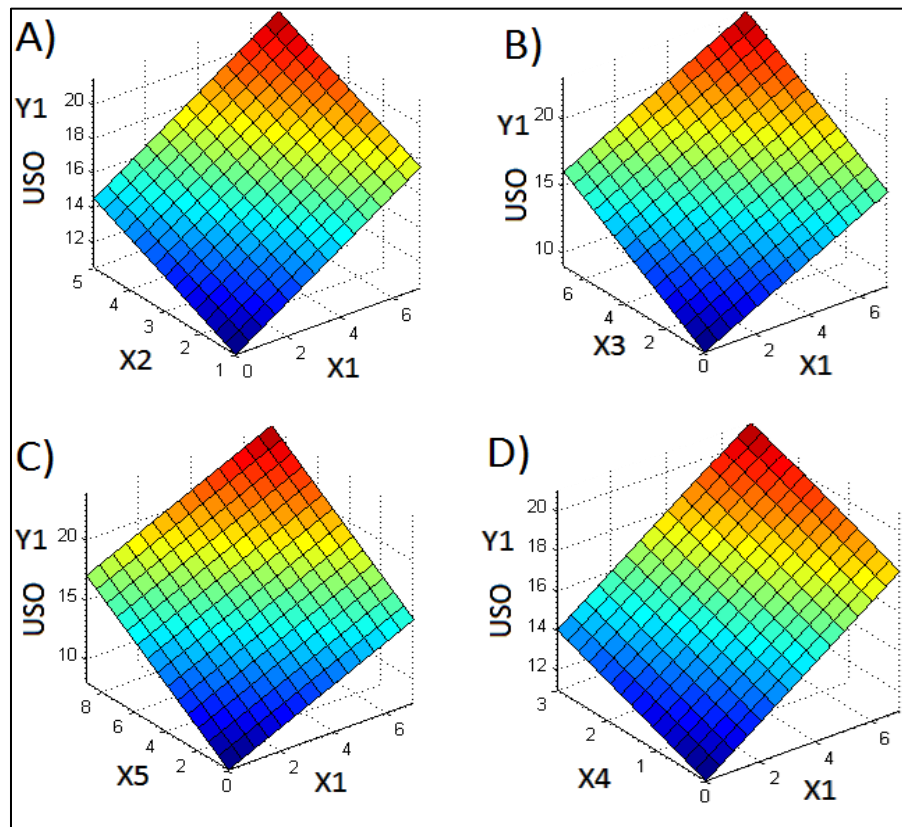


Figura 4.22 Comportamiento de la variable dependiente con respecto a (X_n)

En la Figura 4.23 se observa el modelo que define los hábitos de uso del teléfono celular en los universitarios. Se observa un rango para Y_1 de $[0-7]$ y la generación de 18 reglas difusas. La Tabla 4.18 muestra la estructura del FIS (Sistema de Inferencia Difuso).

Tabla 4.18. Estructura del FIS de hábitos de uso

name: 'USO'	Nombre: USO
type: 'sugeno'	Tipo: Sugeno
andMethod: 'prod'	
orMethod: 'probor'	
defuzzMethod: 'wtaver'	Método de defuzzificación : Promedio ponderado
impMethod: 'prod'	
aggMethod: 'sum'	
input: [1x5 struct]	Cinco entradas
output: [1x1 struct]	Una salida
rule: [1x18 struct]	18 reglas generadas

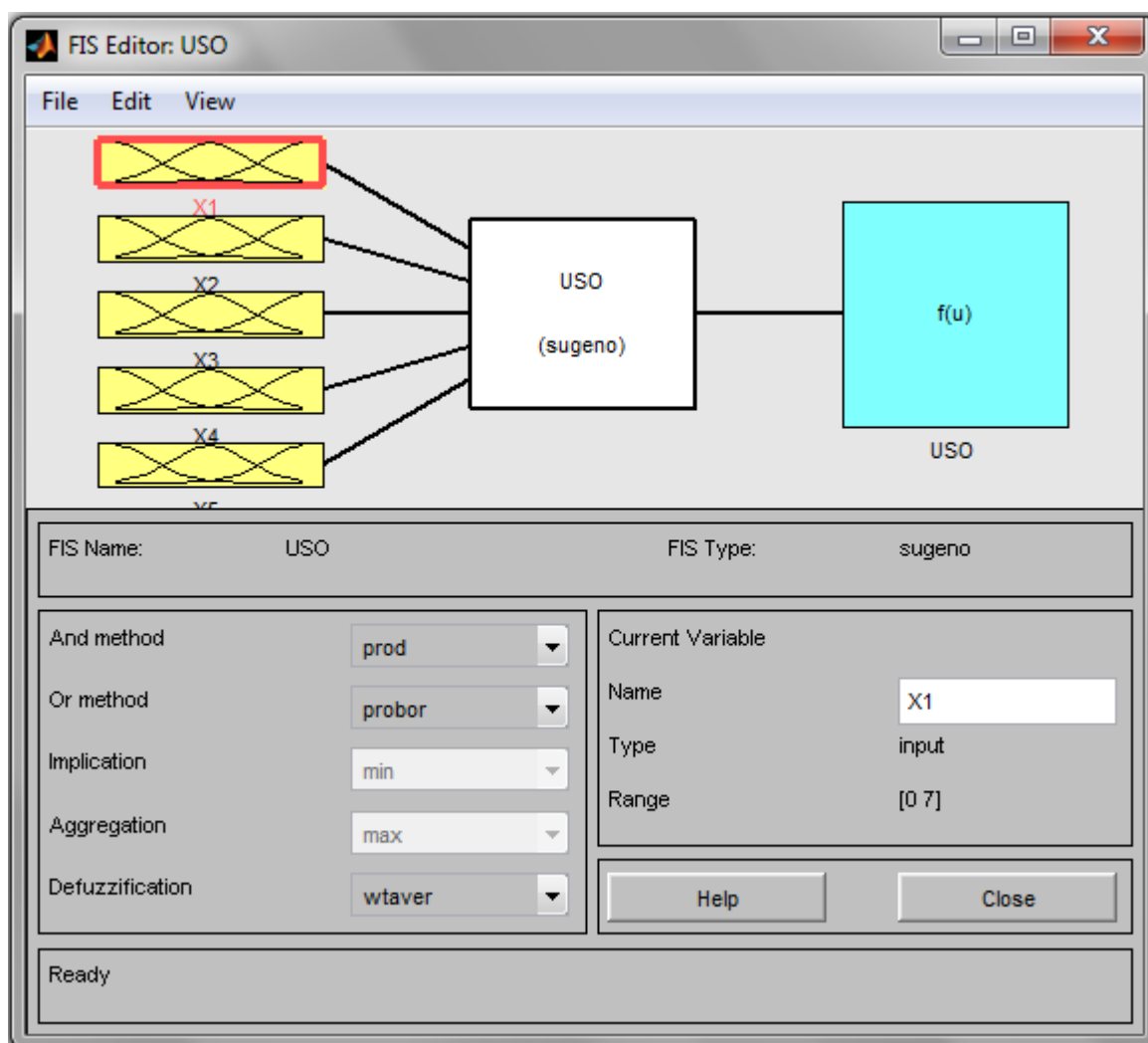


Figura 4.23 Sistema de Inferencia Difuso (FIS) de hábitos de uso

A través del modelo se obtuvieron 18 reglas que definen el comportamiento de los datos.

Los rangos obtenidos en el modelo difuso categorizan los hábitos de uso de acuerdo a las cinco variables de entrada (X_1 : antigüedad, X_2 : consumo energético, X_3 : tiempo de vida, X_4 : motivo de cambio, X_5 : celulares en la vida). En la Tabla 4.19 se muestra el conjunto de reglas difusas generadas por el modelo.

Tabla 4.19 Reglas If-Then hábitos de USO

If (X ₁ is N) and (X ₂ is N) and (X ₃ is M) and (X ₄ is P) and (X ₅ is MA) then (USO is out1cluster1) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is N) and (X ₃ is MB) and (X ₄ is N) and (X ₅ is MA) then (USO is out1cluster2) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is I) and (X ₃ is M) and (X ₄ is N) and (X ₅ is MA) then (USO is out1cluster3) (1)
If (X ₁ is I) and (X ₂ is I) and (X ₃ is MB) and (X ₄ is P) and (X ₅ is A) then (USO is out1cluster4) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is N) and (X ₃ is B) and (X ₄ is P) and (X ₅ is A) then (USO is out1cluster5) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is P) and (X ₃ is MB) and (X ₄ is P) and (X ₅ is MA) then (USO is out1cluster6) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is P) and (X ₃ is MB) and (X ₄ is N) and (X ₅ is M) then (USO is out1cluster7) (1)
If (X ₁ is I) and (X ₂ is I) and (X ₃ is A) and (X ₄ is P) and (X ₅ is A) then (USO is out1cluster8) (1)
If (X ₁ is P) and (X ₂ is N) and (X ₃ is MA) and (X ₄ is P) and (X ₅ is A) then (USO is out1cluster9) (1)
If (X ₁ is P) and (X ₂ is N) and (X ₃ is MA) and (X ₄ is N) and (X ₅ is A) then (USO is out1cluster10) (1)
If (X ₁ is I) and (X ₂ is I) and (X ₃ is MB) and (X ₄ is N) and (X ₅ is B) then (USO is out1cluster11) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is I) and (X ₃ is B) and (X ₄ is P) and (X ₅ is MB) then (USO is out1cluster12) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is N) and (X ₃ is A) and (X ₄ is P) and (X ₅ is A) then (USO is out1cluster13) (1)
If (X ₁ is P) and (X ₂ is I) and (X ₃ is MA) and (X ₄ is P) and (X ₅ is MA) then (USO is out1cluster14) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is N) and (X ₃ is A) and (X ₄ is N) and (X ₅ is MA) then (USO is out1cluster15) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is P) and (X ₃ is B) and (X ₄ is N) and (X ₅ is B) then (USO is out1cluster16) (1)
If (X ₁ is N) and (X ₂ is N) and (X ₃ is MB) and (X ₄ is I) and (X ₅ is MB) then (USO is out1cluster17) (1)
If (X ₁ is I) and (X ₂ is P) and (X ₃ is MA) and (X ₄ is P) and (X ₅ is MA) then (USO is out1cluster18) (1)
Donde: X ₁ ,X ₂ ,X ₄ =[N:Negativo; I:Indiferente; P:Positivo], X ₃ ,X ₅ =[B:Bajo; MB:Medio Bajo; M:Medio; MA:Medio Alto; A:Alto]

En la Tabla 4.20 se definen los hábitos de uso de universitarios para cada regla difusa o grupo conformado.

Tabla 4.20 Definición de reglas de hábitos de uso

USO is out1cluster1 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior (hasta 12 meses), recargan su celular por periodos de tiempo prolongados (más de 15 horas/semana), el tiempo de vida promedio de su celular es (18-24 meses). Ellos cambiaron su celular porque dejó de funcionar y han tenido cuatro teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 -2.114e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 2.114e-014$
USO is out1cluster2 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior (hasta 12 meses), recargan su celular por periodos de tiempo prolongados, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es hasta 18 meses. Ellos cambiaron su celular porque lo consideran obsoleto, buscan más aplicaciones y por razones de estética o moda. Han tenido en promedio cuatro teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 4.764e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 4.764e-015$
USO is out1cluster3 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior (hasta 12 meses), recargan su celular entre 8 y 15 hr/sem, el tiempo de vida de su celular es promedio (18-24 meses). Ellos cambiaron su celular porque lo consideran obsoleto, buscan más aplicaciones y por razones de estética o moda y han tenido en promedio cuatro teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 9.605e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 9.605e-015$

USO is out1cluster4 Universitarios que se utilizaron en promedio 12 y 18 meses su celular anterior, recargan su celular entre 8 y 15 hr/sem, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es hasta 18 meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y no han adquirido más de cuatro celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 -2.532e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 2.532e-014$
USO is out1cluster5 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular por periodos de tiempo prolongados, el tiempo promedio de vida de su celular es de seis meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y no han adquirido más de cuatro celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 -1.685e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 1.685e-015$
USO is out1cluster6 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular no más de 8 hr/sem, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es hasta 18 meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y han tenido en promedio cuatro teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 4.24e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 4.24e-015$
USO is out1cluster7 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular no más de 8 hr/sem, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es hasta 18 meses. Ellos cambiaron su celular porque lo consideran obsoleto, buscan más aplicaciones y por razones de estética o moda. Han tenido entre tres y cinco teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 3.31e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 3.31e-014$
USO is out1cluster8 Universitarios que se utilizaron en promedio 12 y 18 meses su celular anterior, recargan su celular entre 8 y 15 hr/sem, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es mayor a 36 meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y no han adquirido más de cuatro celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 9.119e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 9.119e-015$
USO is out1cluster9 Universitarios que se utilizaron en un periodo promedio de 24 a 36 meses su celular anterior, recargan su celular por periodos de tiempo prolongados (más de 15 hr/sem), el tiempo promedio de vida de útil de su teléfono celular es de 18 a 24 meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y no han adquirido más de cuatro celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 -3.558e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 3.558e-014$
USO is out1cluster10 Universitarios que se utilizaron en un periodo promedio de 24 a 36 meses su celular anterior, recargan su celular por periodos de tiempo prolongados, el tiempo promedio de vida de útil de su teléfono celular es de 18 a 24 meses. Ellos cambiaron su celular porque lo consideran obsoleto, buscan más aplicaciones y por razones de estética o moda. No han adquirido más de cuatro celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 -2.104e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 2.104e-014$
USO is out1cluster11 Universitarios que se utilizaron en promedio 12 y 18 meses su celular anterior, recargan su celular entre 8 y 15 hr/sem, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es hasta 18 meses. Ellos cambiaron su celular porque lo consideran obsoleto, buscan más aplicaciones y por razones de estética o moda. Han adquirido más de seis celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 9.639e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 9.639e-015$
USO is out1cluster12 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular entre 8 y 15 hr/sem, el tiempo promedio de vida de su celular es de seis meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y han adquirido entre seis y ocho celulares en su vida. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 9.361e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 9.361e-015$

USO is out1cluster13 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular por periodos de tiempo prolongados, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es mayor a 36 meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y no han adquirido más de cuatro celulares en su vida. Parámetros de la FM: [11111-3.495e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 3.495e-014$
USO is out1cluster14 Universitarios que se utilizaron en promedio 24 y 36 meses su celular anterior, recargan su celular entre 8 y 15 hr/sem, el tiempo promedio de vida de útil de su teléfono celular es de 18 a 24 meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y han tenido en promedio cuatro teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [11111 8.479e-016] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 8.479e-016$
USO is out1cluster15 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular por periodos de tiempo prolongados, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es mayor a 36 meses. Ellos cambiaron su celular porque lo consideran obsoleto, buscan más aplicaciones y por razones de estética o moda. Han tenido en promedio cuatro teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [11111 2.254e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 2.254e-014$
USO is out1cluster16 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular no más de 8 hr/sem, el tiempo promedio de vida de su celular es de seis meses. Ellos cambiaron su celular porque lo consideran obsoleto, buscan más aplicaciones y por razones de estética o moda. Han adquirido más de seis celulares en su vida. Parámetros de la FM: [11111 -2.039e-013] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 2.039e-013$
USO is out1cluster17 Universitarios que se utilizaron por corto tiempo su celular anterior, recargan su celular por periodos de tiempo prolongados, el tiempo de vida de útil de su teléfono celular es hasta 18 meses. . Ellos cambiaron su celular por cambios en el servicio, robo o extravío y han adquirido entre seis y ocho celulares en su vida. Parámetros de la FM: [11111 -7.959e-015] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 7.959e-015$
USO is out1cluster18 Universitarios que se utilizaron en promedio 12 y 18 meses su celular anterior, recargan su celular no más de 8 hr/sem, el tiempo promedio de vida de útil de su teléfono celular es de 18 a 24 meses. Ellos cambiaron su celular porque dejo de funcionar y han tenido en promedio cuatro teléfonos celulares en su vida. Parámetros de la FM: [11111 -7.216e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 - 7.216e-014$

4.3.3 Prácticas de Manejo

La Tabla 4.21 y Figura 4.24 muestran la forma en que el universitario se deshace de un teléfono celular cuando funciona. Se observa que esta práctica no depende del sexo del usuario, la tendencia es almacenar (43.4%).

Tabla 4.21 Práctica de manejo del teléfono celular no funcional

Práctica de manejo	Sexo		TOTAL (%)
	Mujer (%)	Hombre (%)	
Tiro a la basura	18	25	22.2
Almaceno	48	41	43.4
Centro de acopio	1	1	0.5
Reparo	29	30	29.5
Vendo/Dono/Regalo	3	2	2.4
Otro	2	2	2

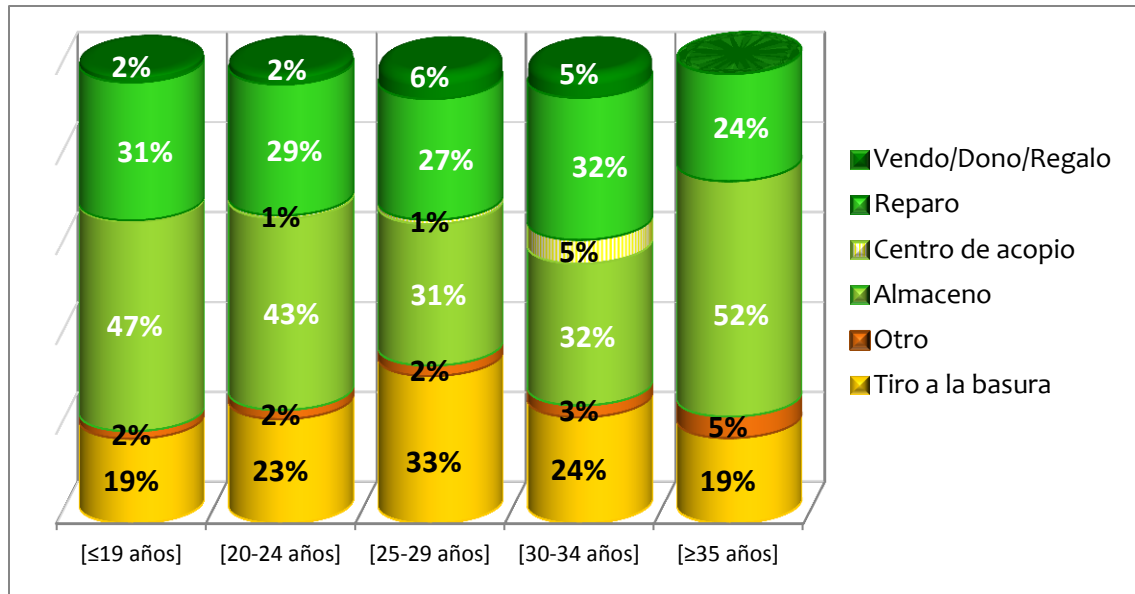


Figura 4.24 Práctica de manejo del teléfono celular por edad

El 47% de los usuarios universitarios han utilizado equipos de segunda mano el 73% de los cuales fueron comprados (Figura 4.25). Además, el 28.4% de los universitarios han reparado en alguna ocasión sus teléfonos celulares, de este grupo el 43% han extendido la vida útil del celular periodos no mayores de 6 meses y el 23% lo utiliza actualmente (Figura 4.26).

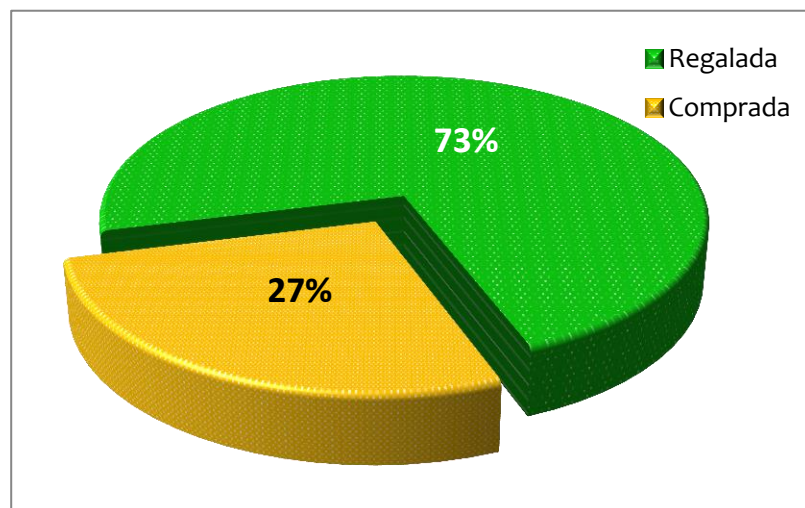


Figura 4.25 Adquisición de teléfonos celulares de segunda mano

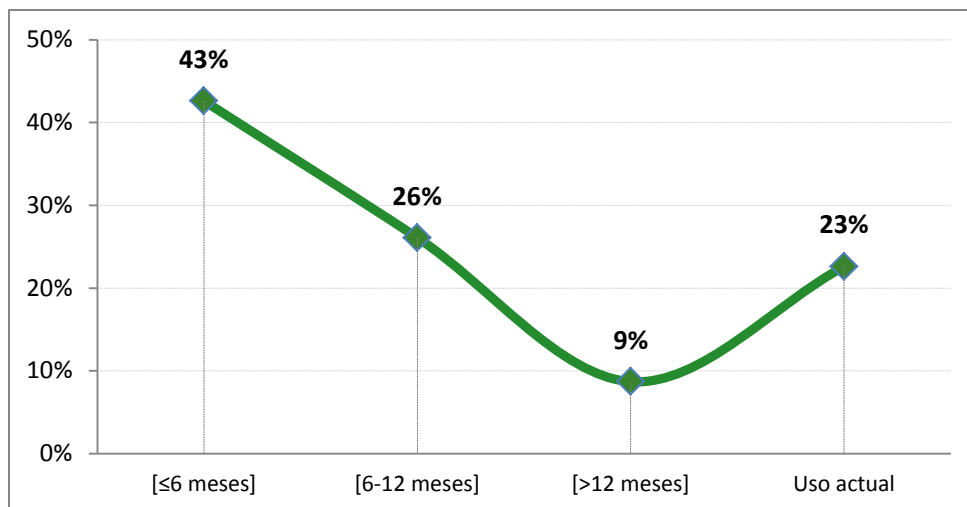


Figura 4.26 Tiempo de vida útil después de la reparación

En la Figura 4.27 se observa que en la práctica de almacenar celulares no influye la edad del usuario. La tendencia es almacenar de uno a tres teléfonos.

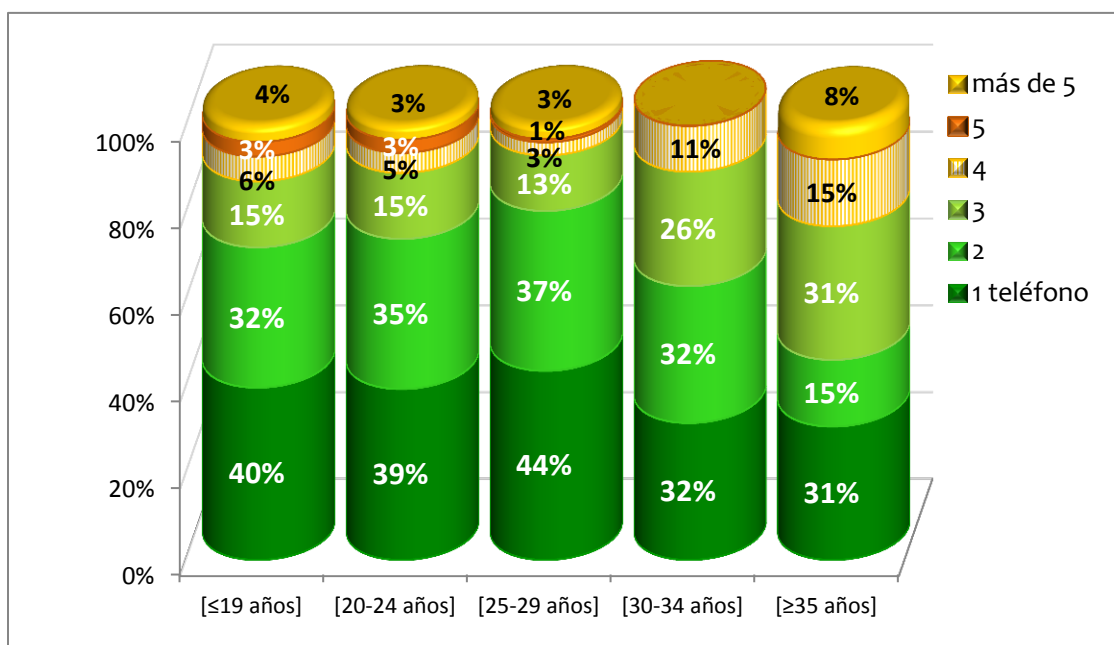


Figura 4.27 Cantidad de teléfonos celulares almacenados por edad del usuario

Modelo prácticas de manejo (PM)

El modelo generado que explica las prácticas de manejo de la telefonía móvil mostró alto nivel de correlación entre las variables de entrada y salida con un ajuste al 100% de los datos (Figura 4.28).

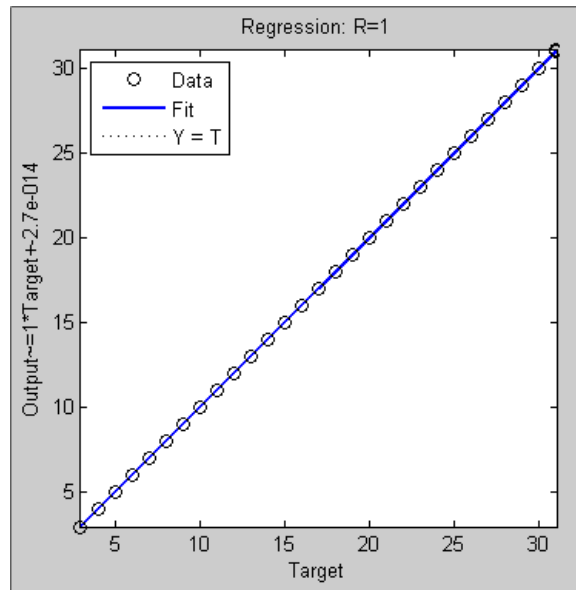


Figura 4.28 Análisis de regresión para la variable PM

La Figura 4.29 muestra la relación de las variables de entrada (X_1 : Anterior; X_2 : Guardados; X_3 : Reparado; X_4 : Tuso_Rep; X_5 : 2daMano; X_6 : Regalado-comprado; X_7 : Uso-Tiempo; X_8 : Cuanto-Tiempo; X_9 : No-Funciona) con respecto a las prácticas de manejo ($Y_1=PM$).

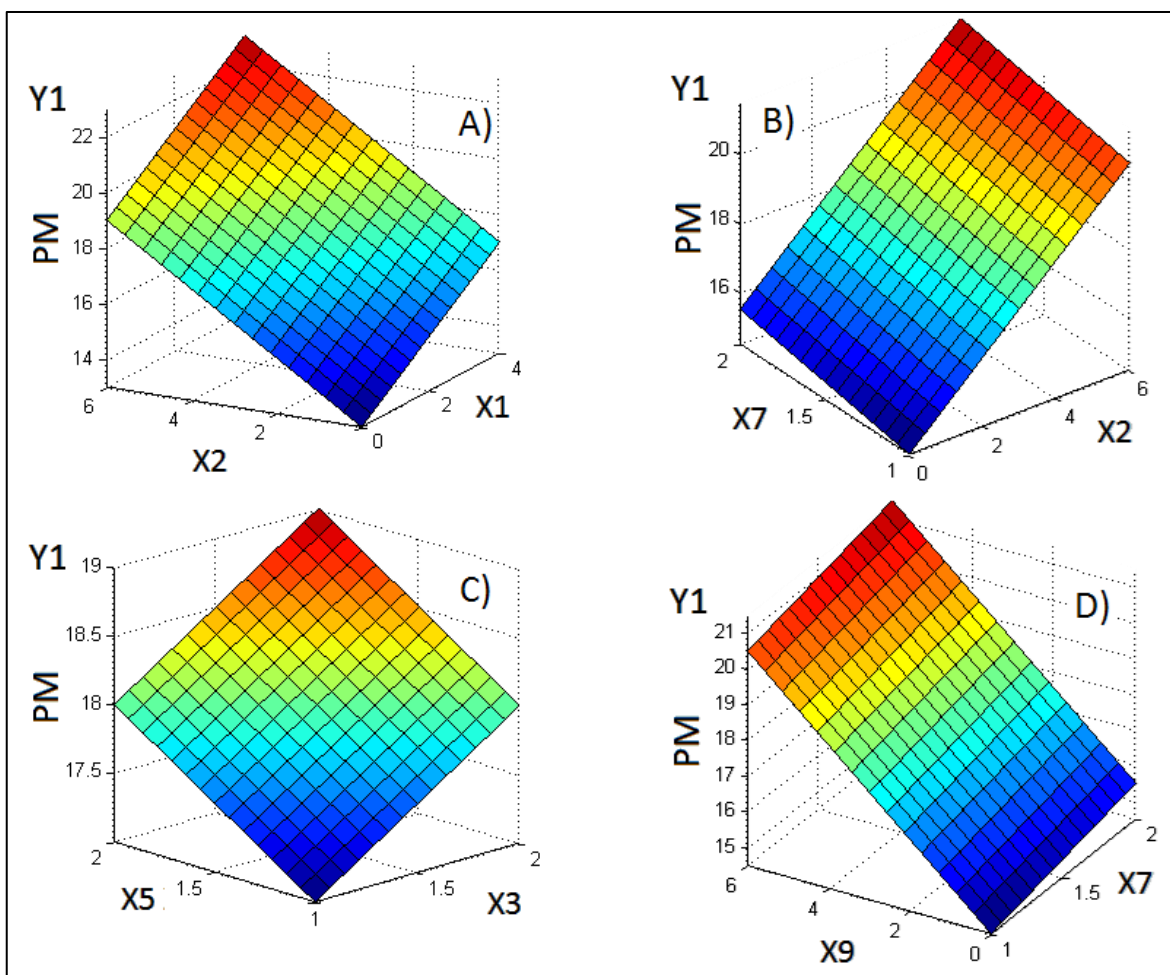


Figura 4.29 Comportamiento de la variable dependiente con respecto a (X_n)

Se observa que a mayor X_2 (menos telefonos celulares guardados) mayor X_1 (las practicas de manejo con el celular anterior son más respetuosas del medio ambiente). Esto es, que los universitarios que guardan menor cantidad de teléfonos celulares los han desviado al reuso (inciso A). En inciso B, se observa que a mayor X_2 (menos celulares guardados), mayor X_7 (disposición a largar el tiempo de vida util); es decir, los universitarios que tienen almacenados poco o nada de teléfonos celulares son los que tienen mayor disposición en alargar la vida útil de sus teléfonos. El inciso C, muestra que a mayor X_5 (usan celulares de segunda mano) mayor X_3 (ha reparado), es decir, existe mayor coincidencia en que los universitarios que han reparado algun teléfono celular, usan equipos de segunda mano y por consiguiente muestran mejores practicas de manejo de sus equipos. En el inciso D, se observa que X_7 (alargar vida útil), no es una varible de gran influencia sobre X_9 (No funciona), ya que,

las prácticas de manejo de los universitarios al dejar de funcionar su celular en mayor proporción están orientadas al reuso. La Tabla 4.22 muestra la estructura del sistema de inferencia generado. La Figura 4.30 muestra el modelo generado que explica los perfiles de prácticas de manejo de teléfonos celulares en los universitarios. Se observa el rango para Y1 de [3-31] y la generación de 17 reglas difusas.

Tabla 4.22 Estructura del FIS de prácticas de manejo

name: 'PM'	Nombre: PM
type: 'sugeno'	Tipo: Sugeno
defuzzMethod: 'wtaver'	Método de defuzzificación : Promedio ponderado
impMethod: 'prod'	
input: [1x9 struct]	Nueve entradas
output: [1x1 struct]	Una salida
rule: [1x17 struct]	17 reglas difusas generadas

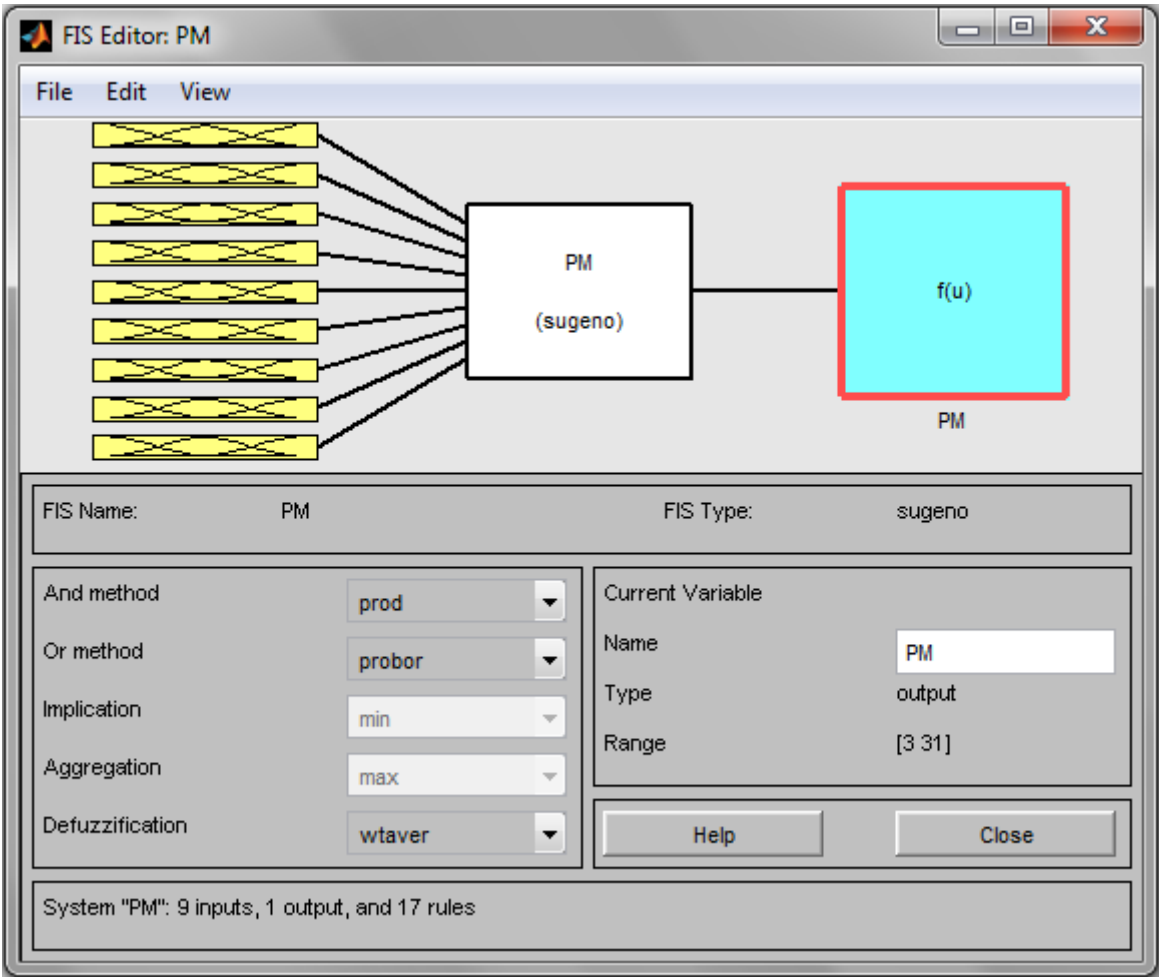


Figura 4.30 Sistema de Inferencia Difuso (FIS) de prácticas de manejo

Los rangos obtenidos en el modelo difuso categorizan las prácticas de manejo de acuerdo a las nueve variables de entrada ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$ y X_9). En la Tabla 4.23 se muestra el conjunto de reglas difusas generadas por el modelo.

Tabla 4.23 Reglas If-Then Prácticas de Manejo

If (X_1 is I) and (X_2 is I) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster1) (1)
If (X_1 is I) and (X_2 is P) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster2) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster3) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster4) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is I) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is N) and (X_8 is N) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster5) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is N) and (X_8 is N) and (X_9 is N) then (PM is out1cluster6) (1)
If (X_1 is I) and (X_2 is I) and (X_3 is P) and (X_4 is P) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster7) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is I) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is N) and (X_8 is N) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster8) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is I) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is P) and (X_8 is I) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster9) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is P) and (X_4 is P) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is P) then (PM is out1cluster10) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is I) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is P) and (X_8 is I) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster11) (1)
If (X_1 is N) and (X_2 is I) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster12) (1)
If (X_1 is N) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is N) then (PM is out1cluster13) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is I) and (X_3 is P) and (X_4 is P) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is P) and (X_8 is P) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster14) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is P) and (X_8 is I) and (X_9 is I) then (PM is out1cluster15) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is P) and (X_6 is P) and (X_7 is N) and (X_8 is N) and (X_9 is N) then (PM is out1cluster16) (1)
If (X_1 is N) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is N) and (X_8 is N) and (X_9 is N) then (PM is out1cluster17) (1)
Donde: N:Negativo; I:Indiferente; P:Positivo

La Tabla 4.24 define el conjunto de reglas difusas extraídas del modelo.

Tabla 4.24 Definición de reglas de prácticas de manejo

PM is out1cluster1 Estudiantes universitarios que tienen almacenados entre dos y cuatro teléfonos celulares, nunca han reparado pero si han utilizado de segunda mano regalados o comprados. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por más de 12 meses o hasta que deje de funcionar. Parámetros de la FM: [111111111-3.996e-011] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 3.996e-011$
PM is out1cluster2 Estudiantes universitarios que tienen almacenado al menos un teléfono celular, nunca han reparado ni han utilizado celulares de segunda mano. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por más de 12 meses o hasta que deje de funcionar. Parámetros de la FM: [111111111-1.008e-011] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 1.008e-011$
PM is out1cluster3 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados al menos cinco teléfonos celulares, nunca han reparado ni han utilizado de segunda mano. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por más de 12 meses o hasta que deje de funcionar. Parámetros de la FM: [111111111-6.695e-013] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 6.695e-013$
PM is out1cluster4 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados al menos cinco teléfonos celulares, nunca han reparado pero si han utilizado de segunda mano regalados o comprados. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por más de 12 meses o hasta que deje de funcionar. Parámetros de la FM: [1111111111.855e-010] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 1.855e-010$
PM is out1cluster5 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados entre dos y cuatro teléfonos celulares, nunca han reparado algún teléfono ni han utilizado de segunda mano. Este grupo no está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos. Cuando sus celulares no funcionan los tiran a la basura. Parámetros de la FM: [1111111114.258e-012] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 4.258e-012$
PM is out1cluster6 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados al menos cinco teléfonos celulares, nunca han reparado algún teléfono ni han utilizado de segunda mano. Este grupo no está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos y cuando ya no funcionan los tiran a la basura. Parámetros de la FM: [1111111111.29e-012] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 1.29e-012$
PM is out1cluster7 Estudiantes universitarios tienen almacenados entre dos y cuatro teléfonos celulares, han reparado algún teléfono y han logrado alargar su vida útil por un periodo mayor de 12 meses. Han utilizado celulares de segunda mano regalados o comprados. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos y cuando ya no funcionan generalmente lo almacenan. Parámetros de la FM: [111111111-2.639e-012] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 2.639e-012$
PM is out1cluster8 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados entre dos y cuatro teléfonos celulares, nunca han reparado algún teléfono pero si han utilizado de segunda mano regalados o comprados. Este grupo no está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos y cuando ya no funcionan generalmente lo almacenan. Parámetros de la FM: [111111111-7.647e-012] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 7.647e-012$
PM is out1cluster9 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados entre dos y cuatro teléfonos celulares, nunca han reparado algún teléfono ni han utilizado de segunda mano. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos y la práctica común al dejar de funcionar es almacenar. Parámetros de la FM: [1111111112.692e-012] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 2.692e-012$

PM is out1cluster10 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados al menos cinco teléfonos celulares. Han llevado a reparar algún teléfono y han logrado alargar su vida útil por un periodo de entre 6 y 12 meses. Han utilizado teléfonos de segunda mano comprados o regalados. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por más de 12 meses o hasta que deje de funcionar y la práctica común al dejar de funcionar es desviar a reuso (reparar, vender, donar, regalar). Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 -1.751e-013] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 1.751e-013$
PM is out1cluster11 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados entre dos y cuatro teléfonos celulares. Nunca han llevado a reparar algún teléfono pero si han utilizado teléfonos de segunda mano comprados o regalados. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por un periodo no mayor a 12 meses y la práctica común al dejar de funcionar es almacenar. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 2.18e-011] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 2.18e-011$
PM is out1cluster12 Estudiantes universitarios que ha tirado a la basura común su celular anterior, tienen almacenados entre dos y cuatro, nunca han reparado algún teléfono pero si han utilizado celulares de segunda mano regalados o comprados. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por más de 12 meses o hasta que deje de funcionar y la práctica común al dejar de funcionar es almacenar. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 3.905e-013] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 3.905e-013$
PM is out1cluster13 Estudiantes universitarios que ha tirado a la basura común su celular anterior y tienen almacenados al menos cinco, nunca han reparado algún teléfono ni han utilizado celulares de segunda mano. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por más de 12 meses o hasta que deje de funcionar, sin embargo la práctica común al dejar de funcionar es tirar. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 -2.988e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 2.988e-014$
PM is out1cluster14 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados entre dos y cuatro teléfonos celulares. Han llevado a reparar algún teléfono y han logrado alargar su vida útil por un periodo de entre 6 y 12 meses. No utilizan teléfonos de segunda mano. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por un periodo mayor de 12 meses o hasta que deje de funcionar. La práctica común al dejar de funcionar es almacenar. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 -8.131e-013] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 - 8.131e-013$
PM is out1cluster15 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados al menos cinco teléfonos celulares. Nunca han llevado a reparar algún teléfono ni han utilizan teléfonos de segunda mano. Este grupo está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos por un periodo no mayor de 12 meses. La práctica común al dejar de funcionar es almacenar. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 1.656e-012] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 1.656e-012$
PM is out1cluster16 Estudiantes universitarios que desvían a reuso (vende/dona/regala) sus celulares en desuso, sin embargo tienen almacenados al menos cinco teléfonos celulares. Nunca han llevado a reparar algún teléfono pero si utilizan de segunda mano comprados o les han regalado. Este grupo no está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos y la práctica común al dejar de funcionar es tirarlo a la basura. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 4.243e-013] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 4.243e-013$
PM is out1cluster17 Estudiantes universitarios que ha tirado a la basura común su celular anterior y tienen almacenados al menos cinco, nunca han reparado algún teléfono ni han utilizado celulares de segunda mano. Este grupo no está dispuesto a alargar el tiempo de vida de sus teléfonos y la práctica común al dejar de funcionar es tirar. Parámetros de la FM: [1 1 1 1 1 1 1 1 2.534e-014] $U = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 2.534e-014$

4.3.4 Conocimiento

La variable Conocimiento (IC) fue evaluada considerando los siguientes puntos:

- ✓ Problemática (CP): Si considera un problema la generación y manejo de este residuo.
- ✓ Aprovechamiento (CA): Si cree que los equipos en desuso pueden ser aprovechados.
- ✓ Tratamiento (CT): Si cree que los equipos en desuso requieren de un tratamiento especial.
- ✓ Responsabilidad: tanto de los costos de implementación de programas (CRP) como del manejo/disposición (CRD) de teléfonos celulares en desuso.
- ✓ Empresas (CE): si conocen de empresas encargadas del tratamiento de este tipo de residuos.
- ✓ Centros de acopio (CCA): si están enterados de su existencia y/o utiliza el servicio.

Con relación a quién considera que es el responsable del manejo de los celulares al final de su vida útil, en la Figura 4.31 se observa que el 31% de los universitarios le atribuye esta responsabilidad al fabricante, mientras que el 34% menciona tanto al fabricante, como a las autoridades municipales y el mismo consumidor son responsables del buen manejo de estos residuos.

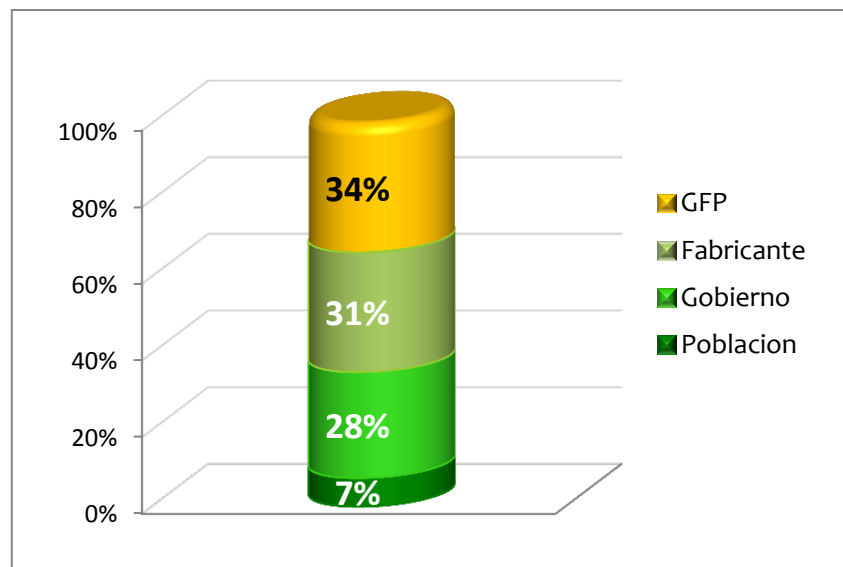


Figura 4.31 Percepción sobre la responsabilidad en la disposición final del teléfono celular

El 72% de los estudiantes coincidieron en que el disponer los celulares en la basura doméstica representa un serio problema. El 63% dijo que éstos, pueden ser aprovechados y el 39% que requieren de un tratamiento especial. Sin embargo sólo el 8% mencionó conocer empresas dedicadas al manejo de equipos electrónicos al final de su vida útil y el 14% sabe de centros de acopio (Figura 4.32).

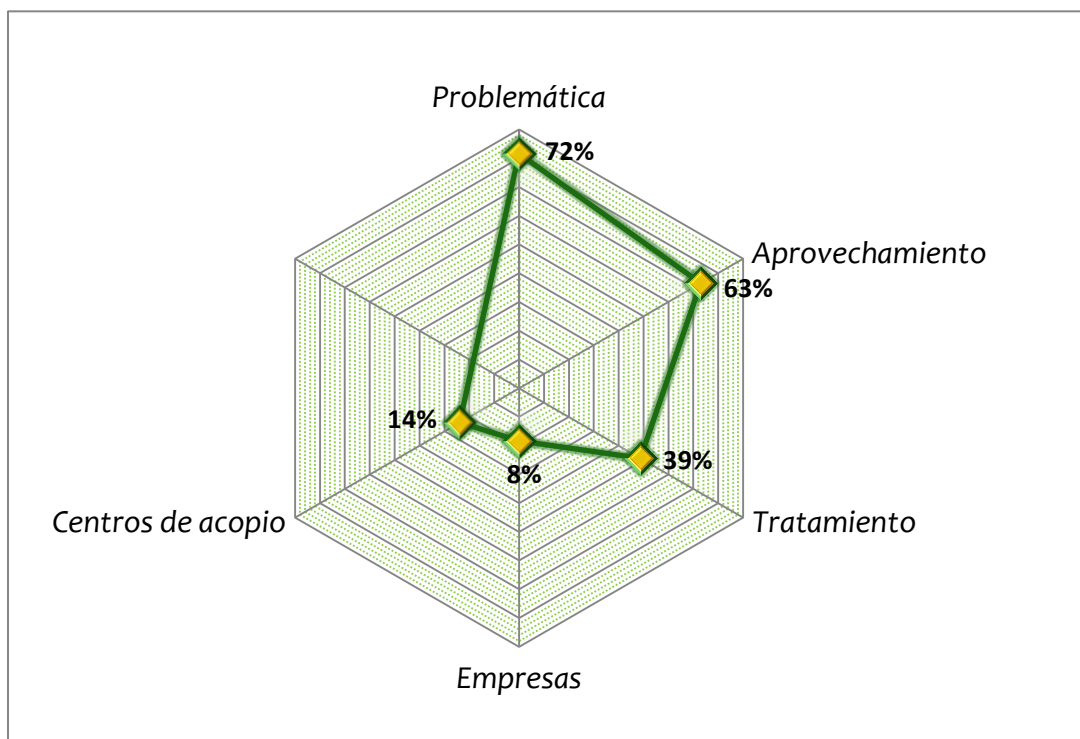


Figura 4.32 Percepción del usuario de telefonía celular

De acuerdo a la percepción de los universitarios el costo por la implementación de programas de recolección/reciclaje lo deben asumir el gobierno o el fabricante o la población (96.9%). El 1% coincide en que somos todos responsables de asumir estos costos y el 2% dice no tener conocimiento.

Modelo para nivel de conocimiento (NC)

El modelo generado que define el nivel de conocimiento de los universitarios con relación a la problemática de los teléfonos celulares en distintas etapas del ciclo de vida mostró un ajuste del 100% de los datos (Figura 4.33).

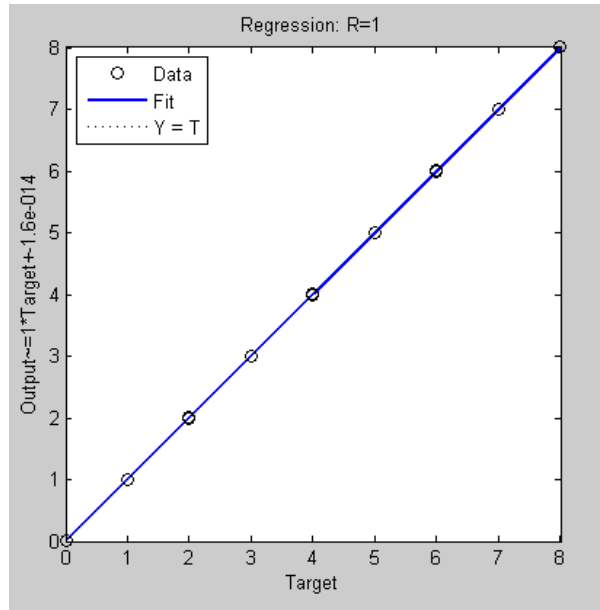


Figura 4.33 Nivel de ajuste de datos para Nivel de Conocimiento (NC)

En las Figuras 4.34 y 4.35 se muestran las relaciones entre las variables independientes ($X_1, \dots, X_9$) que determinan el nivel de conocimiento de los universitarios (NC). Se observa que las personas que conocen la problemática de los teléfonos en desuso (X_1) y saben que pueden ser aprovechados (X_2) (inciso A), saben que requieren de tratamiento especial para su disposición (X_3) (inciso B), o conocen empresas donde se realiza (X_4) (inciso C), representan el mayor nivel de conocimiento. También se observa que los universitarios con mayor conocimiento de esta problemática (X_1) y conocen la existencia de centros de acopio (X_5) (inciso D), saben quiénes son los responsables de realizar y costear los programas de concientización para el manejo de los teléfonos celulares al final de su vida útil (X_6) (inciso E), o saben quiénes son los responsables de la disposición correcta (X_7) (inciso F), muestran mayor nivel de conocimiento.

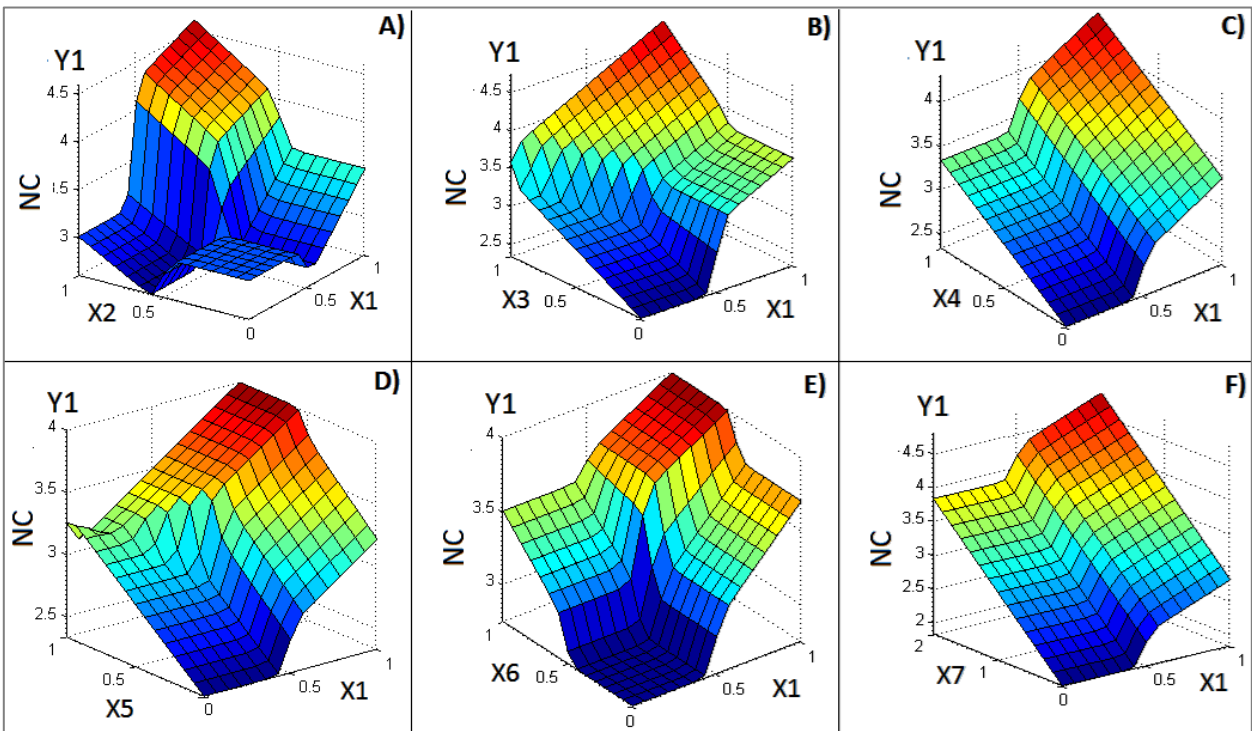


Figura 4.34 Comportamiento de la variable NC

En la Figura 4.33 se observan las relaciones entre los universitarios que saben que los celulares en desuso pueden ser aprovechados (X_2) y conocen empresas dedicadas al tratamiento (X_4) (inciso G); los universitarios que saben que los celulares en desuso pueden ser aprovechados (X_2) y conocen centros de acopio (X_5) (inciso H); los universitarios que saben que se requiere de tratamiento especial para la disposición de sus celulares (X_3) y conocen empresas dedicadas al tratamiento (X_4) (inciso I).

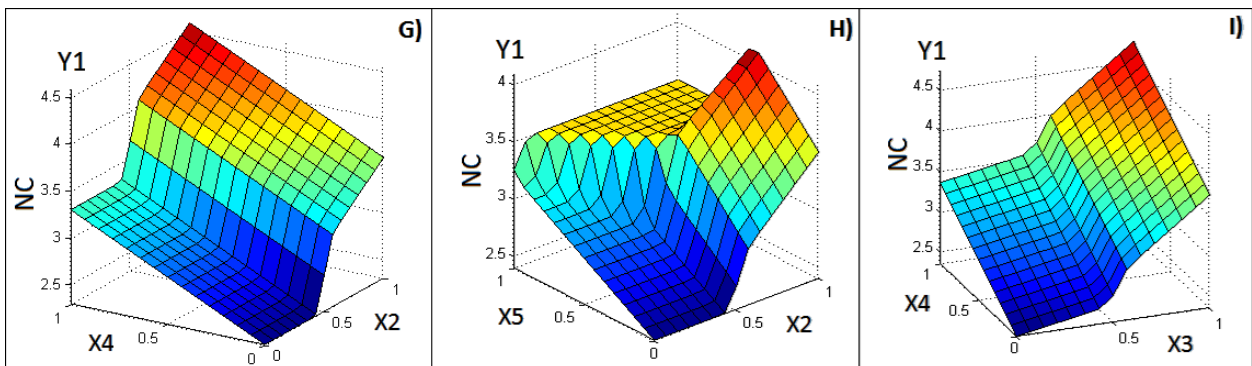


Figura 4.35 Comportamiento de la variable dependiente con respecto a (X_n)

La Tabla 4.25, muestra la estructura del sistema de inferencia modelado.

Tabla 4.25. Estructura del FIS del Nivel de Conocimiento

name: 'NC'	Nombre: NC
type: 'sugeno'	Tipo: Sugeno
andMethod: 'prod'	
orMethod: 'probor'	
defuzzMethod: 'wtaver'	Método de defuzzificación : Promedio ponderado
impMethod: 'prod'	
aggMethod: 'sum'	
input: [1x7 struct]	Siete entradas
output: [1x1 struct]	Una salida
rule: [1x11 struct]	Once reglas difusas generadas

La Figura 4.36 muestra el modelo del nivel de conocimiento de los estudiantes universitarios. Se observa un rango para Y_1 de $[0-8]$ y la generación de 11 reglas difusas.

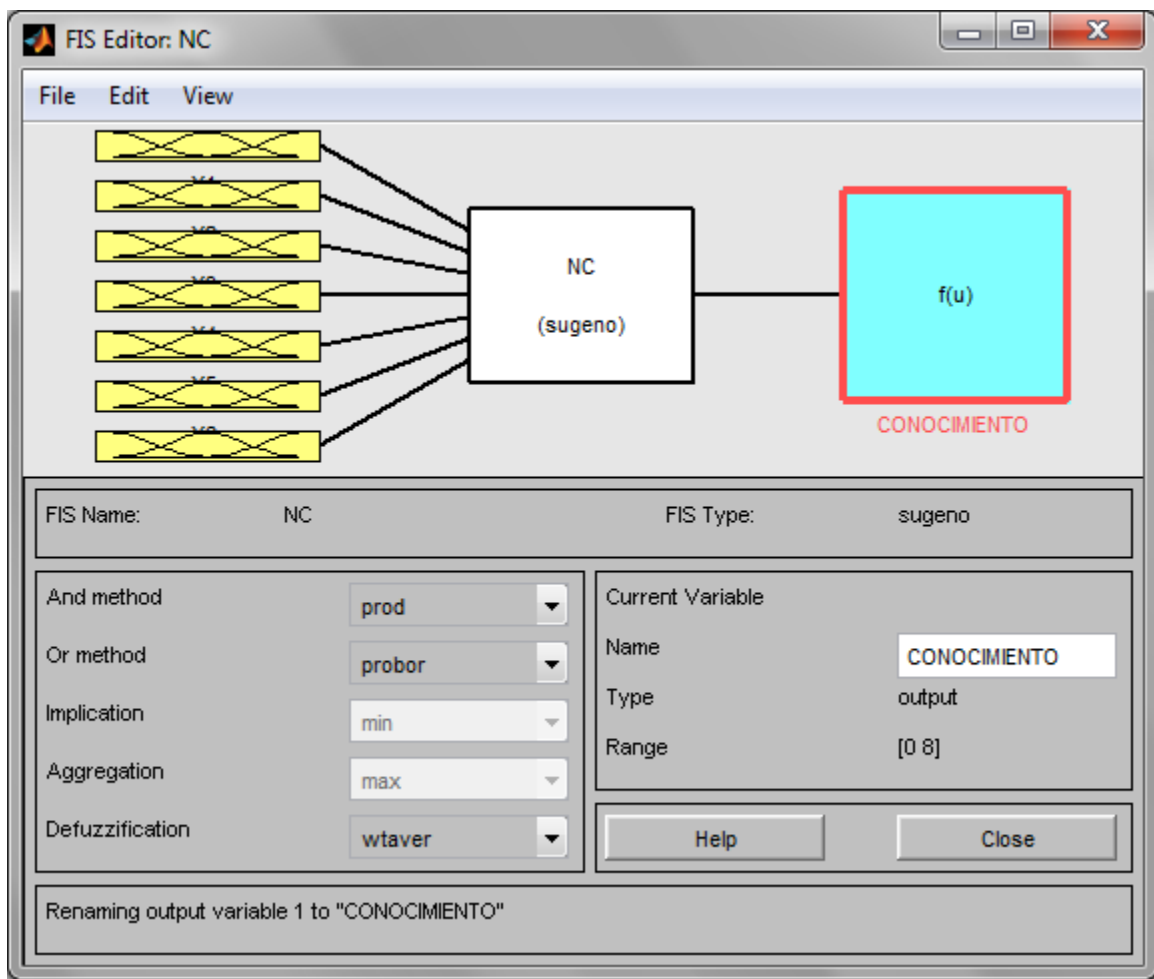


Figura 4.36 Sistema de Inferencia Difuso (FIS) sobre el Nivel de conocimiento

Los rangos obtenidos en el modelo difuso categorizan el nivel de conocimiento de los estudiantes universitarios de acuerdo a las siete variables de entrada ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ y X_7). En la Tabla 4.26 se muestra el conjunto de reglas difusas generadas por el modelo.

Tabla 4.26 Reglas If-Then Nivel de conocimiento

If (X_1 is N) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster1) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is P) and (X_3 is P) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster2) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is P) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster3) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is P) and (X_3 is P) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is P) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster4) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster5) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is P) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is P) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster6) (1)
If (X_1 is N) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is P) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster7) (1)
If (X_1 is N) and (X_2 is P) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster8) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is N) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is P) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster9) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is N) and (X_3 is P) and (X_4 is N) and (X_5 is N) and (X_6 is N) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster10) (1)
If (X_1 is P) and (X_2 is P) and (X_3 is P) and (X_4 is N) and (X_5 is P) and (X_6 is N) and (X_7 is M) then (NC is out1cluster11) (1)
Donde: $X_1, \dots, X_6 = [\text{Negativo}; \text{P:Positivo}]$, $X_7 = [\text{B:Bajo}; \text{M:Medio}; \text{A:Alto}]$

En la Tabla 4.27 se definen las características para cada clúster o regla generada en el modelo.

Tabla 4.27 Definición de reglas para el nivel de conocimiento

NC is out1cluster1 Universitarios que no conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, su aprovechamiento, tratamiento, ni empresas dedicadas a ello. No conocen centros de acopio, ni sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas. Consideran que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil son el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: $[0 \ 0 \ 2 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1.546e-015]$ $NC = 2 * X_3 + X_4 + X_5 + X_7 + 1.546e-015$
NC is out1cluster2 Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, sobre la posibilidad de ser aprovechados y saben que se requiere de tratamiento especial. No conocen empresas dedicadas a lo anterior. No conocen centros de acopio, ni sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas. Consideran que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil son el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: $[0 \ 3 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$ $NC = 3 * X_2 + X_4 + X_7$
NC is out1cluster3 Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, sobre la posibilidad de ser aprovechados. No saben que requieren de tratamiento especial al final de su vida útil. No conocen empresas dedicadas a lo anterior. No conocen centros de acopio, ni sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas. Consideran que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil son el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: $[2 \ 0 \ 0 \ 1 \ 3 \ 0 \ 1 \ 0]$ $NC = 2 * X_1 + X_4 + 3 * X_5 + X_7$

NC is out1cluster4 Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, sobre la posibilidad de ser aprovechados y saben que se requiere de tratamiento especial. No conocen empresas dedicadas a lo anterior. No conocen centros de acopio. Ellos saben quiénes son los responsables de la implementación de programas, sin embargo, asumen que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil es el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [1 -1 4 1 2 0 1 0] $NC = X_1 - X_2 + 4 * X_3 + X_4 + 2 * X_5 + X_7$
NC is out1cluster5 Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso. No saben si pueden ser aprovechados, ni que requieren de un tratamiento al final de su vida útil, ni empresas dedicadas a ello. No conocen centros de acopio, ni sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas. Consideran que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil es el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [1 0 0 1 1 0 1 0] $NC = X_1 + X_4 + X_5 + X_7$
NC is out1cluster6 Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, saben que es pueden ser aprovechados. No saben si requieren de un tratamiento al final de su vida útil, ni empresas dedicadas a ello, ni conocen centros de acopio. Sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas y asumen que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil es el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [-1 4 0 1 1 0 1 0] $NC = -X_1 + 4 * X_2 + X_4 + X_5 + X_7$
NC is out1cluster7 Universitarios que no conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, su aprovechamiento, tratamiento, ni empresas dedicadas a ello. No conocen centros de acopio y sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas. Consideran que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil son el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [0 0 1 1 1 1 1 0] $NC = X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7$
NC is out1cluster8 Universitarios que no conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, saben que pueden ser aprovechados, no saben que requieren de tratamiento al final de su vida útil, ni empresas dedicadas a ello. No conocen centros de acopio, ni sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas. Consideran que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil son el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [0 1 -1.212e-015 1 1 0 1 0] $NC = X_2 - 1.212e-015 * X_3 + X_4 + X_5 + X_7$
NC is out1cluster9 Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, no saben que pueden ser aprovechados al entrar a la etapa de desuso, no saben que requieren de tratamiento al final de su vida útil, ni empresas dedicadas a ello. No conocen centros de acopio. Sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas y asumen que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil es el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [2 0 0 1 1 0 1 0] $NC = 2 * X_1 + X_4 + X_5 + X_7$
NC is out1cluster10 Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, no saben que pueden ser aprovechados al entrar a la etapa de desuso, saben que requieren de tratamiento al final de su vida útil pero no conocen empresas dedicadas a ello. No saben de la existencia de centros de acopio. No sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas y asumen que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil es el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [2 0 0 1 0 0 1 0] $NC = 2 * X_1 + X_4 + X_7$
If (X1 is P) and (X2 is P) and (X3 is P) and (X4 is N) and (X5 is P) and (X6 is N) and (X7 is M) then (NC is out1cluster11) (1) Universitarios que conocen sobre la problemática de los celulares en desuso, saben que pueden ser aprovechados al entrar a la etapa de desuso, saben que requieren de tratamiento al final de su vida útil pero no conocen empresas dedicadas a ello. Conocen centros de acopio. No sabe quiénes son los responsables de la implementación de programas y asumen que los responsables de la disposición del celular al final de su vida útil es el gobierno o el fabricante o la población. Parámetros de la FM: [1 -2.466e-014 3 1 0 0 1 0] $NC = X_2 - 2.466e-014 * X_2 + 3 * X_3 + X_4 + X_7$

4.4 VISIÓN DE REPARADORES DE TELEFONÍA CELULAR

Con la finalidad de conocer el flujo de los teléfonos celulares en México, además analizar el nivel de conocimiento sobre la problemática y que tan dispuestos estarían a participar en la implementación de programas a favor del manejo sustentable de los celulares en desuso se aplicó esta encuesta en centros de reparación. La encuesta (Anexo 2) fue evaluada en tres puntos clave: Flujo de reuso, Flujo de reacondicionamiento y Conocimiento.

4.4.1 Uso

Referente al uso, se cuestionó a los encargados de los centros de distribución ¿Cuáles son las principales fallas que presentan los celulares? Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 4.37.

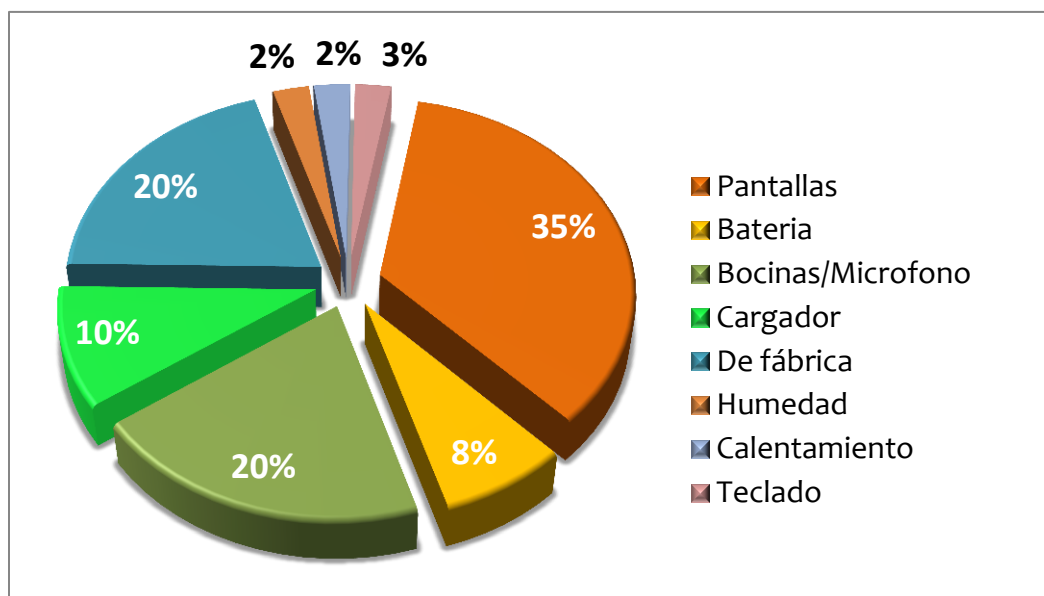


Figura 4.37 Fallas comunes en los teléfonos celulares

4.4.2 Flujo de Reacondicionamiento

La Figura 4.38 muestra la cantidad de celulares que se reciben por semana para reparación. Se observa que el 44.1% de los negocios recibe entre 11 y 20 teléfonos y algunos reciben más de 30 celulares por semana.

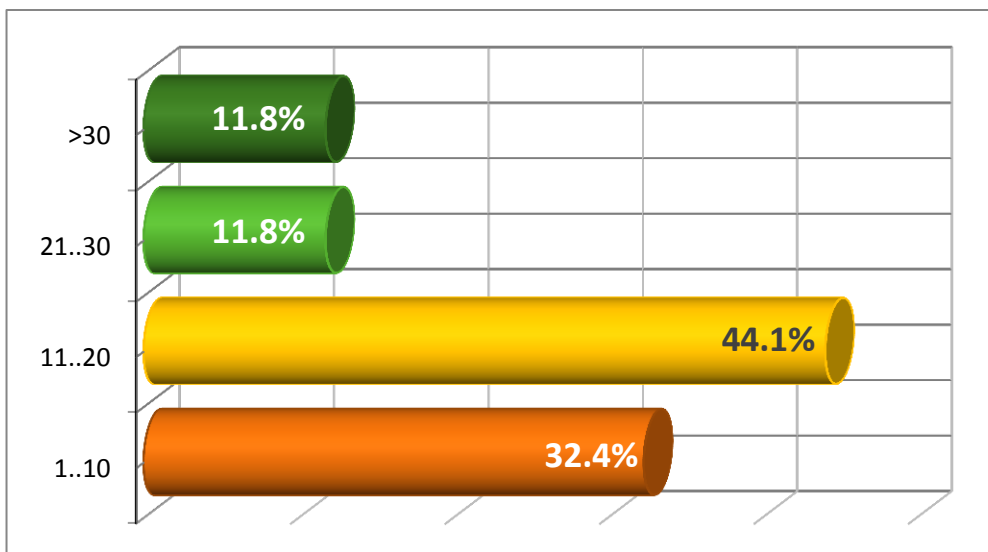


Figura 4.38 Celulares recibidos por semana

El 53% de los centros de reparación coinciden en que la cantidad de celulares reparados por día son de uno a tres y el 29% dice que hasta seis (Figura 4.39).

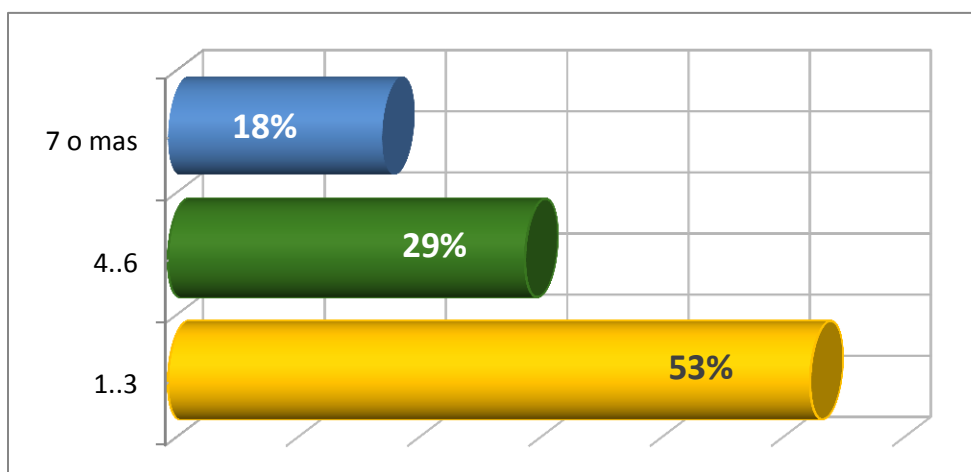


Figura 4.39 Celulares reparados por día

En cuanto a la eficiencia de reparación, el 3% dice que todos los celulares son reparables, el 38% dice que el 10% de los equipos no tiene reparación y el 3% dice que el 50% no son reparables.

4.4.3 Flujo Reuso

El 71% de los reparadores aseguró que no venden celulares usados. Sin embargo, el 59% dice que sí reciben equipo en desuso (Figura 4.40).

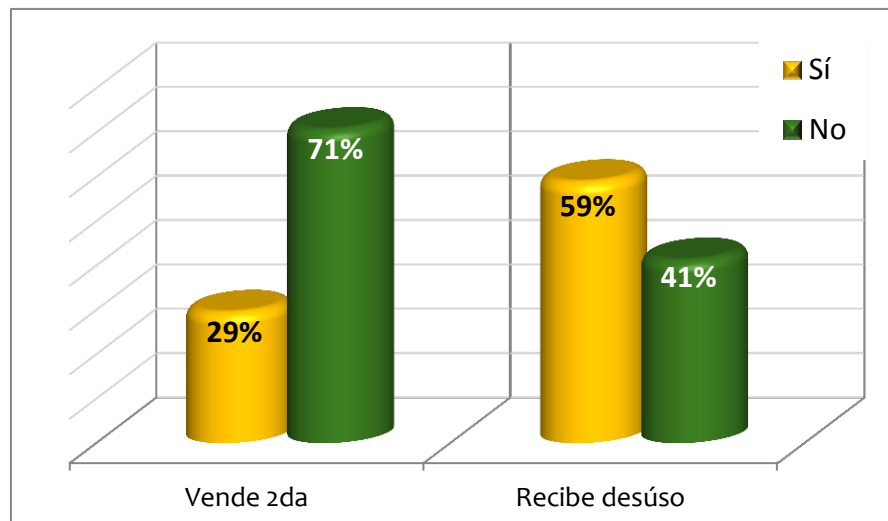


Figura 4.40 Flujo de teléfonos celulares en desuso

El 3% de los teléfonos celulares en desuso que reciben los reparan y si ya no es posible repararlos los tiran a la basura. Sin embargo, el porcentaje restante (83%) se aprovecha, ya sea reacondicionándolos o reutilizando partes (Figura 4.41).

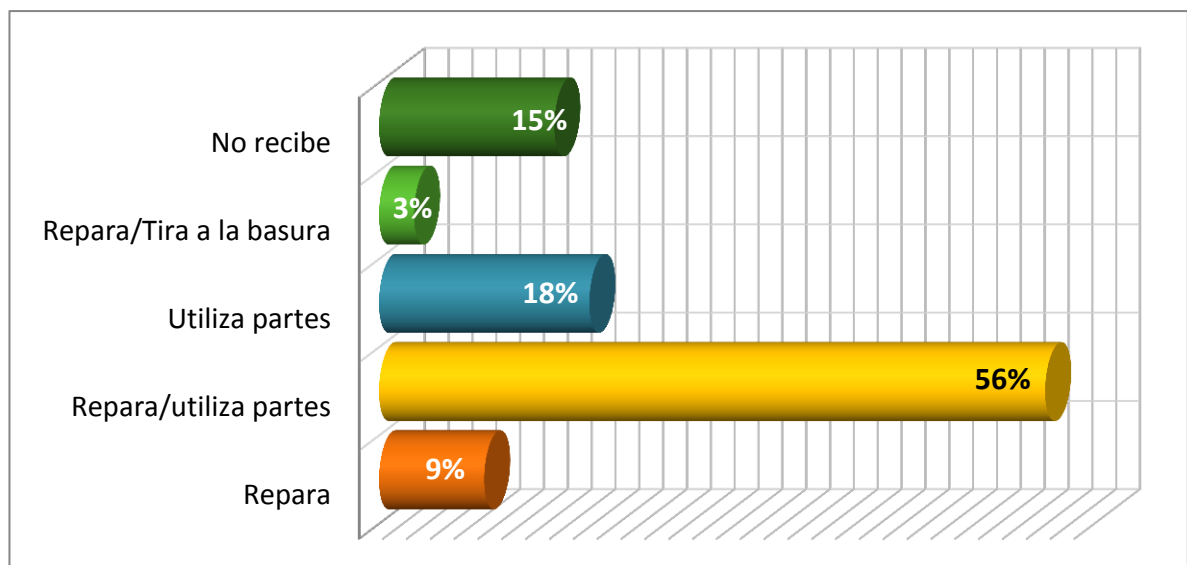


Figura 4.41 Manejo de celulares en desuso

4.4.4 Manejo

En este apartado se buscó analizar el grado de responsabilidad por parte de los distribuidores en el flujo de los celulares en desuso. El 53% de los encuestados afirmó contar con programas de acopio, y el 58% de éstos afirman que reciben entre 8 y 10 celulares al mes. El principal manejo para estos equipos acopiados es el reacondicionamiento para venta (44%) o reuso de piezas (56%). La Figura 4.42, muestra las principales formas de manejo de los celulares devueltos al distribuidor por garantía.

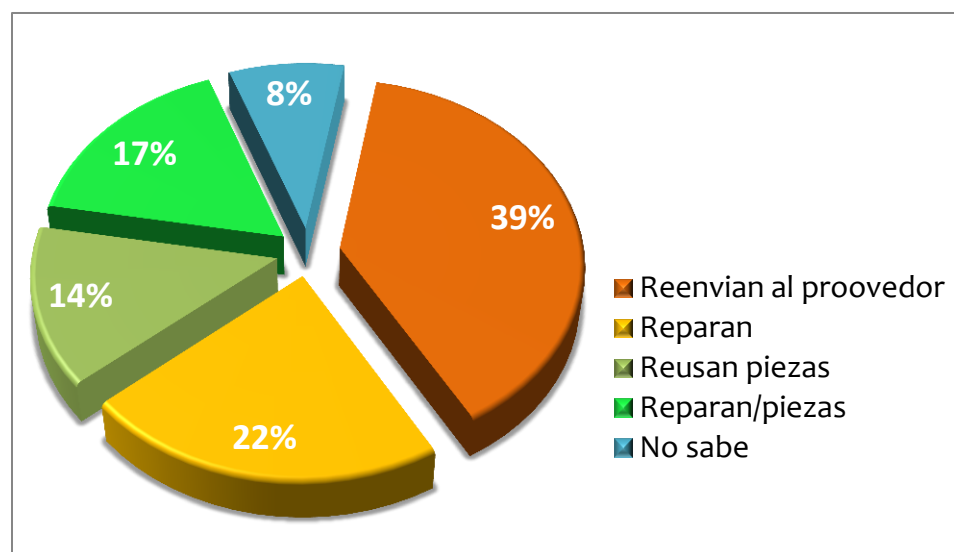


Figura 4.42 Manejo del celular por garantía

4.4.5 Nivel de Conocimiento

El 85% de los encargados en centros de reparación aseguró tener conocimiento sobre centros de acopio en la ciudad y que estos son promovidos en su mayoría (71%) por las compañías de telefonía celular (Telcel, Movistar, Nextel).

El 88% de los encuestados coinciden en la necesidad de implementar programas de acopio/manejo de celulares en desuso y están dispuestos a participar en ellos, con la finalidad de evitar contaminar (26%) y concientizar a la población (47%). El motivo por que el resto no está de acuerdo en participar en estos programas es porque les ocuparía tiempo y suponen que el volumen que se genera de residuos es insignificante.

Evitar contaminar (29%) y concienciar a la población (32%) son los principales argumentos que según los encuestados (97%), sustentan la necesidad de implementar campañas informativas y de sensibilización para los consumidores sobre la disposición adecuada de los teléfonos celulares en desuso. El 3% restante mencionó estar en desacuerdo en la implementación de campañas porque la población no participa (Figura 4.43).

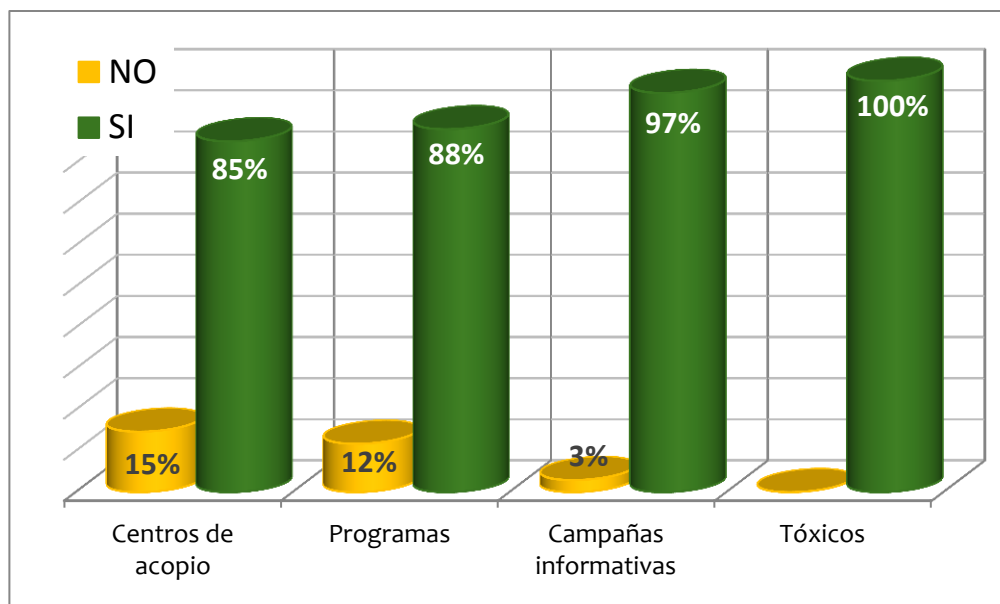


Figura 4.43 Percepción del reparador de telefonía celular

Las principales fallas que reportaron los reparadores de celulares son daño en pantallas y batería con un costo máximo y mínimo de reparación entre 50 y 2000 pesos. Sin embargo, la mayoría respondió que el costo de reparación depende del costo del equipo.

4.5 VISIÓN DE LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN DE TELEFONÍA CELULAR

Se aplicó una encuesta (Anexo 3) con el fin de conocer la visión del distribuidor de los teléfonos celulares en tres puntos clave: Uso, Manejo y Conocimiento sobre la problemática de los celulares al final de su vida útil.

4.5.1 Conocimiento

La política que maneja el 22% de los distribuidores para incentivar la entrega de los celulares en desuso es ofrecer un descuento para la adquisición de un equipo nuevo. Sin embargo, al 53% no cuenta ni le interesa implementar este tipo de acciones, según muestra la Figura 4.44.

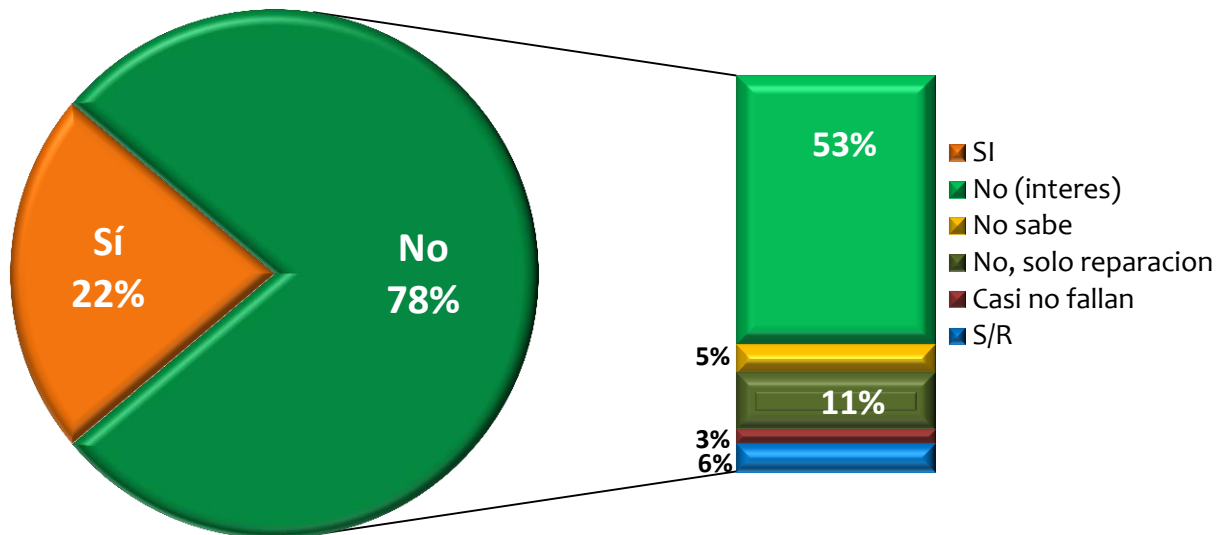


Figura 4.44 Empresas que disponen de políticas para el retorno del celular

La Figura 4.45 presenta datos obtenidos de la percepción del distribuidor referente a la necesidad de implementar en el marco de sus estrategias de comercialización campañas informativas y de sensibilización a los consumidores sobre la disposición adecuada de los celulares en desuso. Se observa que sólo el 14% respondió no ser necesario, argumentando algunos que cada quién es responsable de lo que consume, otros simplemente no les interesa. Además, el 44% dice que es importante ya que contaminan y el 28% menciona la necesidad de concienciar a la población.

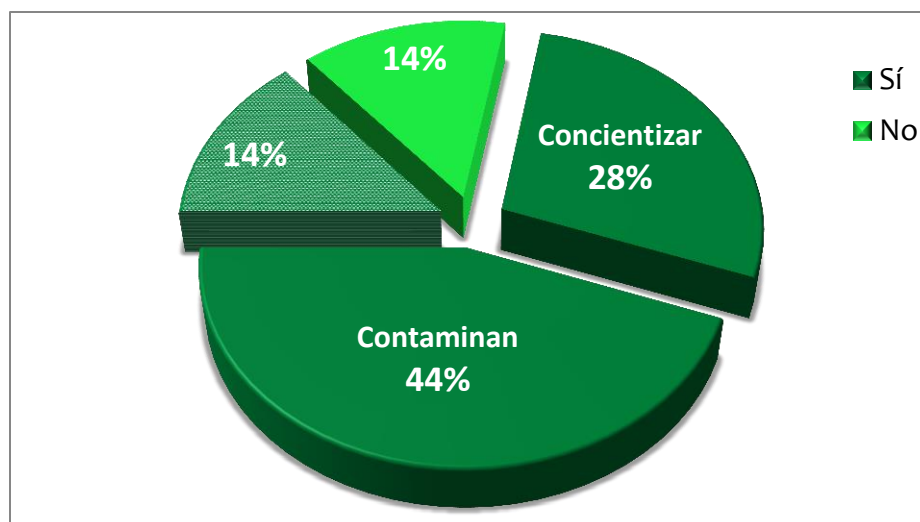


Figura 4.45 Implementación de campañas informativas a consumidores

Sólo el 3% conoce el programa de acopio y reciclaje de celulares que ofrece Recall International a los distribuidores, vendedores y fabricantes de telefonía celular en México, y el 8% no está interesado en conocerlo.

El 100% de los distribuidores encuestados considera que los celulares contienen componentes tóxicos. El 52% afirma que la batería es el componente toxico principal, el 19% dice que la pantalla y el 13% considera que todo el equipo contiene materiales tóxicos (Figura 4.46).

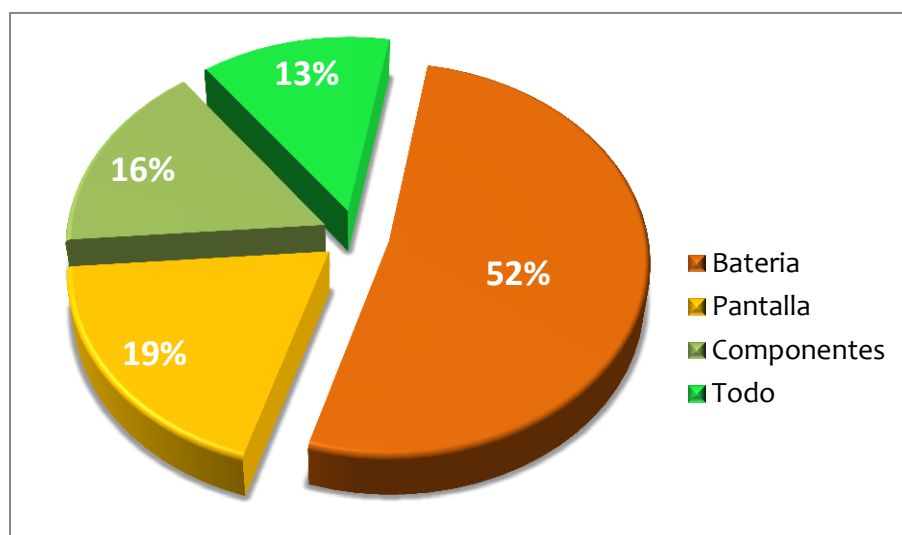


Figura 4.46 Partes contaminantes del teléfono celular

Como muestra la Figura 4.47, el 3% de los encargados de centros de distribución consideran que el teléfono celular al final de su vida útil debe terminar en la basura, y el 39% dijo que en plantas recicladoras.

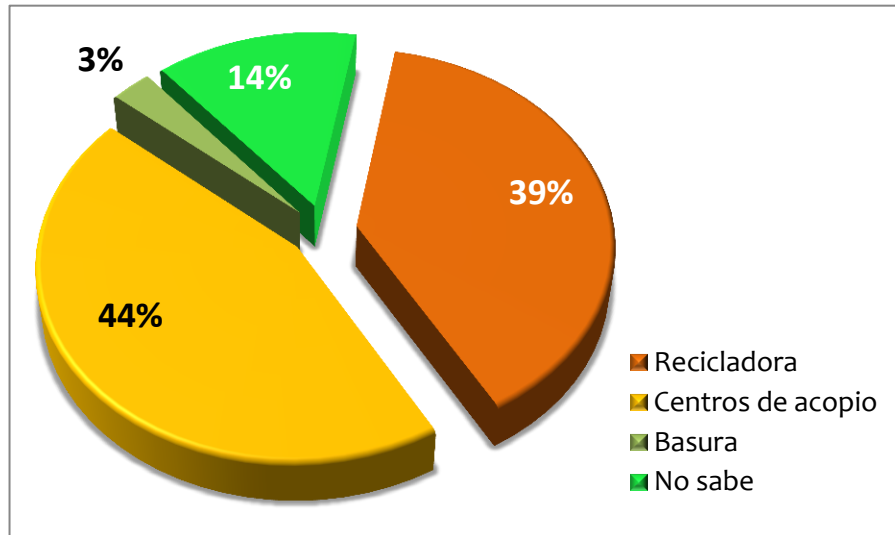


Figura 4.47 Disposición del teléfono celular al final de su vida útil

4.6 COSTOS ECONÓMICOS

Los costos económicos (CE) se obtuvieron para cada una de las etapas del ciclo de vida del celular. En la fase de adquisición el IE fue determinado por el valor promedio en el mercado del teléfono celular más utilizado entre los universitarios (precio). Como se mencionó anteriormente las marcas de mayor consumo entre universitarios son Nokia, Ericsson y Samsung (Figura 4.9). En la Tabla 4.28 se muestran las proporciones de celulares entre universitarios de acuerdo a la relación marca-precio.

Tabla 4.28 Proporciones de la relación marca-precio de celulares

MARCA	PRECIO										
	Hasta 500	>500-1000	>1000-1500	>1500-2000	>2000-2500	>2500-3000	>3000-3500	>3500-4000	>4000-4500	>4500-5000	>5000
Nokia	15%	13%	14%	17%	13%	11%	7%	5%	2%	1%	3%
Ericsson	5%	10%	17%	21%	16%	13%	8%	4%	2%	1%	5%
Alcatel	28%	18%	25%	17%	6%	3%	1%	1%	0%	0%	1%
Samsung	12%	10%	18%	20%	13%	13%	6%	4%	1%	2%	2%
LG	12%	14%	17%	16%	13%	13%	6%	5%	1%	1%	2%
iPhone	4%	2%	4%	8%	10%	7%	4%	8%	7%	7%	39%
Blackberry	4%	3%	4%	6%	7%	18%	11%	22%	7%	10%	9%
Motorola	14%	24%	18%	14%	6%	10%	5%	5%	0%	3%	2%
Otras	24%	16%	11%	15%	4%	10%	11%	1%	0%	2%	6%

La Tabla 4.29 muestra el resultado del análisis realizado a la variable precio, de 3000 universitarios que dieron respuesta se obtuvo una media de 4.58, mediana y moda de 4, correspondiente al rango de 1500 a 2000 pesos.

Tabla 4.29 Análisis estadístico de la variable Precio

Precio		
N	Valid	3000
	Missing	282
Mean		4.58
Std. Error of Mean		0.048
Median		4
Mode		4
Std. Deviation		2.635
Variance		6.943
Minimum		1
Maximum		11

El 16.5% de los universitarios pagó más de 1500 y hasta 2000 pesos por su teléfono celular y el 44.2% más de 2000 pesos.

En la fase de uso, el CE fue determinado a través de la literatura. Considerando un consumo promedio de 9 kWh/año y una reducción en la eficiencia de la batería del 10% cada 6 meses y a partir del segundo año de uso. Finalmente, para la fase de retirada se estimó el costo de gestión por tonelada de RAEE’s (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos).

Es importante resaltar que en cada etapa del ciclo de vida del teléfono celular es posible evaluar diferentes cargas costo-beneficio tal como lo muestra la

Figura 4.48.

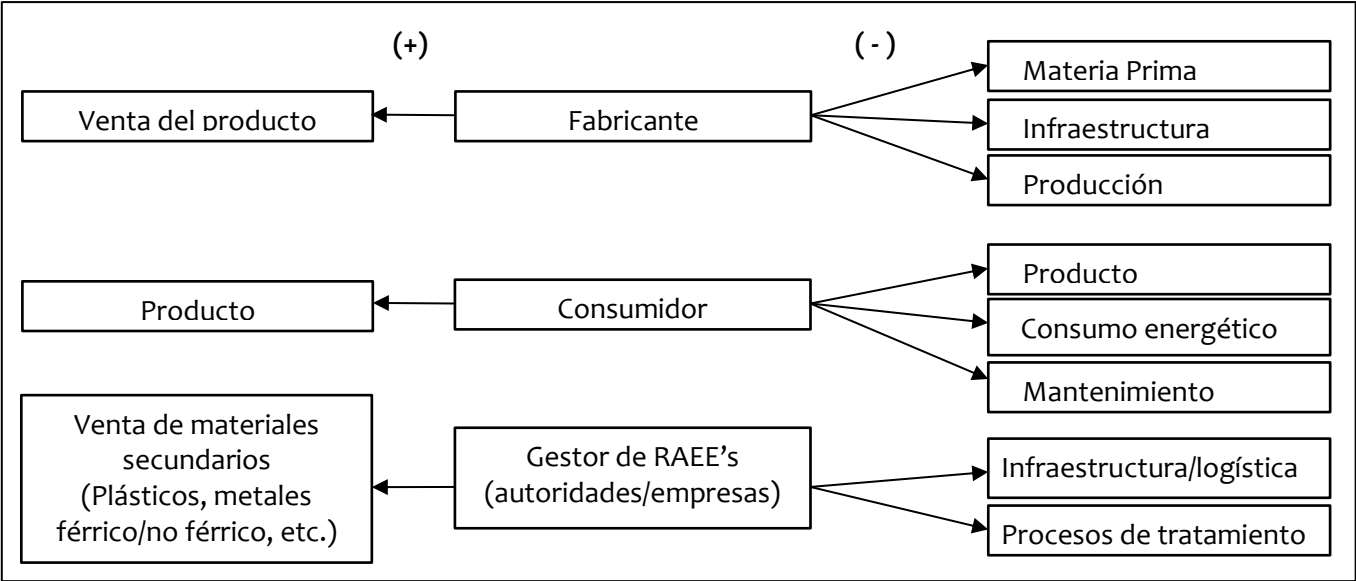


Figura 4.48 Esquema costo-beneficio en tres etapas del ciclo de vida del teléfono celular

Sin embargo, el alcance de esta investigación referente a los costos económicos se limita lo descrito en la Figura 4.49.

ADQUISICIÓN/PRODUCCIÓN	USO					FIN DE VIDA ÚTIL
	Escenario	kWh/año	años	\$/kWh	\$	
	S0	9	1.5	0.757	10.220	
	S1	9	2	0.757	13.626	
	S2	9	2.5	0.757	17.033	
Costo promedio del celular mas adquirido entre universitarios: (1,500-2,000 pesos)						Costo promedio de por tonelada gestionada de RAEE's)
\$2,000 x teléfono celular						U\$ 450

Figura 4.49 Costos económicos en tres etapas del ciclo de vida del teléfono celular

En el mercado informal usualmente sólo se recuperan metales ferrosos y cobre presentes en grandes electrodomésticos. Para estos RAEE's no existen mercados formales sin el apoyo de planes canje, sin embargo; el valor de monto recuperable de un electrodoméstico no llega a compensar los costos o externalidades negativas de una inadecuada gestión.

Silkers SA. (Gestión Ecológica Ambiental de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos Reciclado del e-scrap), es una empresa Argentina dedicada al reciclaje de RAEE's, acopia RAEE's sin costos para el generador, asume todos los costos y tarifas ambientales y paga por rezagos electrónicos hasta U\$ 200 por tonelada, esto, en función de la calidad y valorización potencial de los residuos.

Por otro lado, Recycla Chile S.A. (Innovacion en medio ambiente) trabaja con grandes marcas, como HP, IBM, Codelco, etc., cobrando entre U\$ 300 y U\$ 600 por tonelada procesada. Está ubicada en la Ciudad Empresarial de Santiago de Chile y cuenta con una planta de procesamiento que suele trabajar con programas de inclusión social.

Sin embargo, existen empresas que dan disposición final a los RAEE's, como si fueran desechos industriales, lo cual es válido para ciertos tipos de equipos como son las pantallas de cristal líquido, transformadores contaminados, plaquetas de circuitos impresos contaminados, toners, baterías y pilas, luminarias, etc. Para ello, cobra entre U\$ 200 y U\$ 3000 por tonelada.

Cabe mencionar que las cifras de reciclado y recuperación de materiales presentes en los RAEE's son mínimas. De las 120.000 toneladas anuales de basura electrónica, Dalafer y Silkers sólo procesan entre 3.000 a 4.000 toneladas aproximadamente cada uno, mientras que otras 2.000 toneladas son tratadas por el resto de los operadores habilitados por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Nación más una pequeña fracción que ingresa al circuito informal. Siendo aproximadamente el 10% del total de RAEE's lo que se recicla Fernández P.G. (2007).

La producción de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE's) es uno de los sectores de mayor crecimiento de la industria manufacturera en el mundo. Además, la innovación tecnológica y el intenso proceso de comercialización aceleran la sustitución de equipos generando volúmenes de AEE's en desuso y nuevos retos alrededor del mundo en la búsqueda de una gestión sostenible de los residuos.

Los teléfonos celulares son el producto electrónico más utilizado en el mundo. La rápida introducción de nuevas tecnologías, mejora y aumento en funcionalidades (cámaras y reproductores de música, etc.) provoca que estos dispositivos tengan ciclos de vida relativamente cortos, sean vistos rápidamente como tecnología obsoleta y sean sustituidos a pesar de ser aun funcionales.

Ongondo (2011) menciona que la reutilización de estos dispositivos, así como su composición de materiales, en términos de masa y volumen, representan los productos electrónicos más valiosos que actualmente se encuentran en gran número en el flujo de residuos. Al final de su vida útil los teléfonos celulares son productos electrónicos de alto valor (a partir de una perspectiva de los recursos y la reutilización), alto volumen (cantidad) y de bajo costo (valor monetario residual).

El reciclaje de estos aparatos ahorra recursos y protege el medio ambiente porque además de prevenir la contaminación del subsuelo, evitamos extraer metales nuevos, eliminando excavaciones y deforestación.

El desarrollo sostenible hoy en día se convierte en un problema social obligatorio, especialmente para las empresas donde el gran reto es atender la demanda de una sociedad consumista cada vez más exigente.

Los estudios de ACV permiten identificar los potenciales impactos ambientales y además, en qué etapa del ciclo de vida del bien o producto es posible reducir o minimizar estos impactos.

A través de este estudio se observa que la mayor contribución a los impactos ambientales se presenta en las etapas de adquisición/producción y uso de los teléfonos celulares. Además, los componentes que más impactan al ambiente son la batería y el circuito impreso (PWB-PCI).

Partiendo de que los teléfonos celulares cada día se convierten en una parte importante del estilo la vida de un número creciente de personas alrededor del mundo, y de que la adquisición y manejo de los RAEE's está asociado a los estilos de vida de los segmentos de la población, se han realizado diversas investigaciones con estudiantes para conocer las variables asociadas al uso y consumo del teléfono celular.

Coincidiendo con lo que menciona en su estudio Verza y Wagner (2010), aunque el acceso tecnológico no se ha facilitado en términos de igualdad a todos los jóvenes, es posible observar que, en lo que se refiere al teléfono celular, es objeto de consumo y deseo presente en todos los estratos sociales.

A través de esta investigación observamos que una gran parte de estudiantes universitarios considera el precio del celular como el principal atributo al momento de adquirirlo (35.4%-UABC). De la misma forma en un estudio realizado en una universidad española Jaume I (IV-SIIR, 2011) se obtuvo que el 52% de los estudiantes adopta esta misma consideración. Por lo que, tal como lo afirma Aguilar y Ramírez (2006), el consumo de las TIC's en estudiantes universitarios se ve influenciado por el nivel de ingresos. Además, un gran número de usuarios no se deshacen de sus teléfonos celulares hasta que dejan de funcionar (37%-UJI; 43%-UABC).

Dunestone (2006), señala que para elegir un teléfono el factor más importante es la funcionalidad, precio y estilo. En este estudio observamos que el estilo o estética de los celulares es un atributo que definitivamente es importante para los universitarios tanto en México como en España. Sin embargo, los tres criterios considerados más importantes son precio, aplicaciones (o funcionalidad) y marca, lo cual coincide con el estudio de Balakrishnan y Raj (2012), en el cual obtuvo como principales factores las aplicaciones (tendencias tecnológicas), marca y precio.

	UABC (Mexicali-México- 2010)	UJI (España, 2010)	Dunstone (Reino Unido-2006)
Precio	35.4%	52%	7%
Funcionalidad y aplicaciones	29%	24%	26%
Moda y estética	15.8%	10%	31%
Marca	19.5%	11%	-
Otras	0.3%	3%	36%

Aguilar y Ramírez (2006) afirman que el sexo del usuario influye en uso y penetración de las TIC's en este grupo. Por otra parte, Ongondo y Williams (2011) en su investigación con estudiantes universitarios encontraron que los hombres reemplazan sus teléfonos celulares con mayor frecuencia que las mujeres. Sin embargo, en esta investigación no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la selección de marcas, criterios de compra o práctica de manejo del teléfono celular no funcional entre hombres y mujeres.

El mercado de telefonía móvil oferta una gran variedad de marcas, características y aplicaciones, sin embargo, se observa que las tres marcas preferidas por los universitarios son Nokia, Ericsson y Samsung. Coincidiendo con Ongondo y Williams (2011), se encontró que Nokia y Ericsson son las dos marcas de mayor demanda. Aguilar y Ramírez (2006) menciona que la ubicación geográfica influye en esta preferencia además de que la preferencia por una marca particular de teléfono, parecen estar relacionadas con la edad y el grado de conocimiento tecnológico del usuario (ver Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Marcas de teléfonos celulares de mayor demanda

	Nokia	Ericsson	Samsung	Motorola	Siemens	LG	Otras
UABC (Mexicali-México- 2010)	23.6%	18.7%	17.2%	8.5%	0.1%	12.8%	19.1%
UJI (España, 2010)	35.7%	12.3%	23.8%	2.2%	0.4%	12.3	13.4%
Aguilar y Ramírez (Tijuana-México-2006)	20%	17%	-	52	-	-	11%

Ongondo y Williams (Inglaterra-2011)	46%	20.7%	15.3%	12.2%	-	-	5.8%
Balakrishnan y Raj (Malaysia-2012)	72.5%	8.7%	-	3.1%	11.4%	-	4.3%

El 2.8% de los universitarios de la UABC afirman que sólo han tenido un teléfono celular y el 24.1% hasta tres. Según estudio de Aguilar y Ramírez (2006), la edad promedio en que los universitarios de Tijuana tuvieron su primer celular fue a los 15 años.

Ongondo y Williams (2011), analizaron razones por las que el estudiante universitario lleva su teléfono celular al desuso, encontrando que al igual que en este estudio la principal razón es por descompostura. La Tabla 5.2 muestra la comparación de las razones por los que los estudiantes universitarios de dos países reemplazan su teléfono celular.

Tabla 5.2 Motivos por los que el universitario reemplaza su teléfono celular

	UABC (Mexicali-México- 2010)	UJI (España, 2010)
Descompostura	43%	37%
Moda/obsolescencia	25%	11.2%
Aplicaciones y capacidades del equipo	10%	4.3%
Dependientes del operador de Red	8%	37%
Otros (durabilidad de la batería, robo/extravío, regalado, etc.)	14%	10.5%

Aproximadamente el 61% de los estudiantes universitarios en Inglaterra poseen al menos un teléfono extra y la práctica común como en todos los casos que presenta la Tabla 5.3 es almacenar los que no están en uso. Algunos de los aspectos motivadores a almacenar teléfonos celulares son: 1) mantenerlo como reserva, 2) guardan información valiosa o 3) no saben qué hacer con él. La Tabla 5.3 muestra la comparación de tres estudios referente a los métodos utilizados por los universitarios para deshacerse de sus teléfonos celulares.

Tabla 5.3 Métodos de disposición de teléfonos celulares utilizados por los universitarios

	UABC (Mexicali-México- 2010)	UJI (España, 2010)	Ongondo y Williams (Inglaterra-2011)
Residuos generales	22.2%	5%	1.6%
Almacenamiento	43.4%	52.5%	55.7%
Tratamiento	0.5%	14.2%	16%
Reuso (regalo/vendo)	31.9%	20.6%	21.8%
Otro	2%	7.8%	4.9%

El 84.5% de los universitarios en Tijuana utilizan actualmente teléfono celular. Los que no cuenta con teléfono de esta población, el 62% si lo ha tenido pero ha dejado de usarlo, el robo o extravío representa el 65% de las justificaciones para haber dejado de utilizarlo (Aguilar y Ramírez, 2006). El 12% de universitarios en Mexicali y el 7.2% de la UJI mencionan que el cambio de celular fue por robo o extravío.

Según Ongondo y Williams (2011), el 28% de los estudiantes sustituyen sus teléfonos celulares al menos una vez al año y el 4% dos veces al año. Para el caso de la Universidad Española y la UABC se encuentra que aproximadamente el 40% de los estudiantes universitarios cambian su celular en periodos no mayores de 12 meses y más del 60% coincide en que el tiempo de vida útil no es mayor a 18 meses.

A lo largo de la historia, el hombre ha tratado por todos los medios de superar las barreras que le impone la naturaleza. Sin embargo, a partir del desarrollo de la ciencia y la tecnología; el hombre pasó de ser parte a sentirse dueño de ella y su objetivo fue dominarla, llevándolo al uso indiscriminado y sin control de los recursos, lo cual puede llegar incluso a afectar su propia existencia.

Vivimos en un mundo en el que el desarrollo social está vinculado al avance tecnológico resultado del desarrollo de la actividad industrial. La explotación indiscriminada de los recursos naturales renovables y no renovables, sumada al desarrollo urbano de las sociedades modernas provocan impactos que motivan un replanteo de la relación hombre-naturaleza.

Para esto es necesario tomar conciencia de la importancia de la tecnología y de su impacto en el medio ambiente, y la necesidad de que, quienes estén directamente involucrados al tema, analicen y tomen la parte de responsabilidad que les corresponde.

En la actualidad, la era de la modernidad, es dominada por la tecnología. La población se interesa por capacitarse en el manejo de las nuevas innovaciones que el ser humano crea; ya que ve una relación directa del desarrollo de estas con su bienestar. Diversas estrategias hacen posible la promoción de todo tipo de productos en la sociedad, provocando un impacto masivo que lleva a las personas el deseo de consumir cada día más productos tecnológicos, convirtiéndolos dependientes de estos productos en sus actividades cotidianas.

Sin embargo, en ninguna campaña publicitaria o educativa realizada por la industria y/o gobierno, aluden al hecho que al adquirir tecnología el consumidor está obligado a obtener conocimientos técnicos sobre su uso y conocimientos ambientales para el manejo del producto al finalizar su vida útil. En consecuencia, las personas usualmente se deshacen de estos productos (residuos de manejo especial-RME) a través de la basura común.

El consumo desmedido de la sociedad sumado a la falta y/o ineficiencia de los organismos competentes para dar tratamiento a los residuos, contribuyen a graves riesgos para el medio ambiente y la salud humana.

El teléfono celular es una tecnología digital en constante expansión y evolución vinculada a aspectos económicos (cómo se utiliza), sociales y culturales (seguridad, privacidad, identidad, pertenencia, etc.).

Los teléfonos móviles son actualmente uno de los pocos productos electrónicos, que también tienen un mercado próspero en la reutilización. En México la empresa Recall International promueve acopio, recolección y reciclaje de celulares usados a través de diversos programas orientados a empresas de la industria de la telefonía celular, fabricantes, operadores, distribuidores y clientes o usuarios finales tales como: Dona tu teléfono celular (EcoPoints), Programas para la industria de la Telefonía Celular, Implementación de programas de acopio y Compra de scrap electrónico de celulares por kilo o por unidad.

Tal como lo mencionan Geyer y Blass (2009), el manejo de los teléfonos celulares representa una oportunidad para cerrar de circuito cadenas de suministro para la reutilización de desechos electrónicos y el reciclaje.

En México, no se cuenta con información específica sobre el manejo y disposición de aparatos eléctricos y electrónicos al finalizar su vida útil, ya que la mayoría son dispuestos en el flujo de los residuos domiciliarios por lo que su gestión se realiza junto con los RSU's. Diversos factores en el ámbito social, económico y cultural que influyen en la generación y falta de manejo de aparatos eléctricos y electrónicos en desuso, como es la falta de recursos e infraestructura, la población no está consciente de los problemas asociados, ausencia o falta de claridad de bases legislativas, crecimiento industrial y los impactos de las nuevas tecnologías. Además en México, el fácil acceso para la adquisición de AEE's de segunda mano, hace necesario que el municipio garantice un sistema eficaz de control e imponga restricciones a la importación de aparatos, tal como la certificación de funcionalidad y tiempo de vida útil.

También es importante resaltar el potencial de riesgo a la salud humana y al ambiente, además de su potencial de valorización. Antes de proponer estrategias para un manejo responsable de estos residuos, como son la creación de centros de acopio, instalación de empresas dedicadas al desmantelamiento, reciclado o reacondicionamiento, es necesario realizar un inventario a detalle referente a la cantidad de materia prima y a las oportunidades de mercado para estos productos.

A través de esta investigación se observó cómo los hábitos y prácticas de consumo de teléfonos celulares es similar en grupos definidos de la sociedad, tal es el caso de los estudiantes universitarios, y entre diferentes países.

Se observa que almacenar los celulares en desuso es la práctica más común y al parecer no representa problemas ambientales. Sin embargo, este dispositivo pasa largo tiempo guardado y cuando el usuario se percató de su existencia ya el mercado nos ha invadido y superado con modelos novedosos de alta tecnología, lo que lleva a ese antiguo celular a convertirse en un aparato obsoleto que ya no satisface las necesidades del usuario y busca la forma más cómoda de deshacerse de él, llegando directamente al flujo de la basura doméstica. A pesar de que la ley establece para este tipo de residuos que son de manejo especial, que se deben implementar planes de manejo considerando su adecuada recolección y tratamiento, en México para los RAEE's del flujo de los residuos sólidos urbanos aún no existe legislación aplicable. En cambio en países como España y Suiza existen Sistemas de Manejo para los RAEE's, incluyendo los de la corriente de residuos domiciliarios.

De acuerdo a las prácticas de manejo del celular en desuso podemos resumir que solo el 0.5% de los universitarios los lleva a centros de acopio de tal forma que se puede asumir que recibirán tratamiento y o se dispondrán de forma adecuada. Además, 31.9% lo desvía a reúso (regala, dona, vende). Sin embargo, el 43.4% de los universitarios almacena sus teléfonos celulares en desuso y el 22.2% lo dispone directamente en la basura doméstica. Aproximadamente el 40% de los estudiantes universitarios cambian su celular en periodos no mayores de 12 meses y más del 60% coincide en que el tiempo de vida útil no es mayor a 18 meses.

A través de esta investigación observamos que los distribuidores y centros de reparación de teléfonos celulares juegan un papel importante en el aprovechamiento de los equipos en desuso. El 29% de los reparadores aseguró que venden celulares usados y solo el 15% dice que no reciben equipo en desuso. Además, solamente el 3% de los teléfonos celulares en desuso que reciben y ya no es posible reparar los tiran a la basura. Sin embargo, el porcentaje restante se aprovecha ya sea, reacondicionándolos o reutilizando partes.

Por otra parte el 53% de los centros de distribución afirmó contar con programas para el acopio de celulares en desuso y que solo reciben entre ocho y 10 teléfonos al mes, los cuales son desviados a reacondicionar para venta (44%) o reuso de componentes (56%). Sin embargo el 14% considera que no es necesario implementar en el marco de sus estrategias de comercialización campañas informativas y de sensibilización a los consumidores sobre el manejo de los teléfonos celulares en desuso, argumentando que cada quien es responsable de lo que consume o simplemente no les interesa. El 28% de los encargados de centros de distribución mencionan la necesidad de concientizar a la población y el 44% habló de la necesidad de controlar esta fuente de contaminación.

Por lo antes mencionado existe la necesidad de desarrollar evaluaciones e implementar posibles escenarios para el manejo sustentable de los celulares al final de su vida útil. Una gestión eficaz y eficiente en costo y en impacto ambiental de los RAEE's es una tarea compleja, y en el diseño de un sistema integral de gestión es importante considerar características de los diversos factores y actores que intervienen en todo el ciclo de vida del producto. Por lo anterior, es necesario llevar a cabo la integración de varios aspectos ambientales, económicos y sociales en la obtención de indicadores que sustenten la importancia y necesidad de implementar acciones acorde a las condiciones de la sociedad que se trate.

Referencias

- Aguilar Barceló J. G., Ramírez-Angulo N. (2006). Hábitos de Consumo de las Tecnologías de Información en los Estudiantes Universitarios de Tijuana. Published in: Revista Universitaria de la UABC, Vol. Enero-marzo 2007, No. No. 57 (2007): pp. 34-40.
- Fernández P. G. (2007) La cadena de valor de los RAEE. Estudio sobre los circuitos formales e informales de gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en Sudamérica.
- Aker, Jenny C. and Isaac M. Mbiti. 2010. "Mobile Phones and Economic Development in Africa." *Journal of Economic Perspectives*, 24(3): 207-32.
- Aker, B. J. C. (2008). Working Paper Number 154 October 2008 Does Digital Divide or Provide? The Impact of Cell Phones on Grain Markets in Niger, (154).
- Alting L.. (1993). Life Cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques . A. Kusiak. Ed. John Wiley & Son, 1993.
- Asiedu, Y., Gu, P., Product life cycle cost analysis: state of the art review, *International Journal of Production Research*, 36 (4), 883-908, 1998.
- Balakrishnan & R. G. Raj. (2012). Exploring the relationship between urbanized Malaysian youth and their mobile phones: A quantitative approach. *Telematics and Informatics*, vol. 29, no. 3, pp. 263-272, Aug. 2012.
- Barton, J.R., Dalley, D., Patel, V.S., 1996. Life cycle assessment for waste management. *Waste Management* 16 (1-3), 35-50.
- Barrantes, R., Galperin, H., Agüero A., & Molinari, A. (2007). Oportunidades Móviles: Pobreza y acceso telefónico en Latinoamérica Latina. Serie Estado de la Cuestión telefonía móvil en América Latina. Dialogo Regional Sobre sociedad de la información. IDRC/CRDI
- Botelho, A., Pinto, L. C., 2004. Diffusion of celular pone in Portugal, *Telecommunications Policy* 28, 427-437.
- Bouverot, A. (2011). Banda Ancha móvil: conectando a los latinoamericanos. Revista GSMA la visión.
- Bovea E., Pérez B. (2012) La industria y el ecodiseño en Problemática y Sustentabilidad en la industria. pp.119-139 ISBN: 978-607-7951-14-8.
- Buttol P., Masoni P., Bonoli A., Goldoni S., Belladonna V., Cavazzuti C. (2007) LCA of integrated MSW management systems: case study of the Bologna District. *Waste Management* 27 (8), 1059-1070.
- Cavus Nadire. (2011) Investigating mobile devices and LMS integration in higher education: Student perspectives. *Procedia Computer Science* 3. 1469-1474 pp.
- Chen Y.F., Katz J.E. (2009) Extending family to school life: College students' use of the mobile phone. *International Journal Human-Computer Studies*. 67: 179-191.
- Cleary Julian. (2009) Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature *Environment International*: 35(8) 1256-1266.

Consoli F., Allen D., Boustead I., Fava J., Franklin W., Jensen A.A., Oude N., Parrish R., Perriman D., Postlethwaite D., Quay B., Séguin J., Vigon B. (1993) Guidelines for lifecycle assessment: a code of practice, SETAC Workshop, Society of Env Toxicology and Chemistry (SETAC), Sesimbra, Portugal.

Constantiou, I. D. and Kautz, K. (2008) Economic Factors and Diffusion of IP Telephony: Empirical Evidence from an Advanced Market. *Telecommunications Policy*, 32(3-4): 197-211.

Crowe M., Elser A., Göpfert B., Mertins L., Meyer T., Schmid J., Spillner & Ströbel European Topic Centre on Waste (2003). Waste from electrical and electronic equipment (WEEE) –quantities, dangerous substances and treatment methods. European Environment Agency (EEA).

Cruz S. 2010. UABC. “Los residuos domésticos eléctrico-electrónicos: Diagnóstico de generación en la ciudad de Mexicali, B.C.” Tesis maestría.

Cui J. & Forssberg E. (2003) Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*. 99 (3) 243-263.

Dunstone Charles. The Mobile Life Report 2006. How mobile phones change the way we live. Mobile Life is the voice of authority and an on-going forum that publishes the most comprehensive proprietary research into the impact of the mobile phone on our daily lives. The London school of Economics and political sciences. The Carphone Warehouse Group plc., 30 May and 2 June 2006. www.mobilelife2006.co.uk

Ecoinvent Data v2. 2008. Ecoinvent Centre, Swiss Centre for Life Cycle Inventory, 2008. Hischier R., Classen M., Lehmann M. and Scharnhorst W. Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal. Final report ecoinvent data v2.0 No. 18. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

Ekvall Tomas, Tillman Anne-Marie y Molander Sverker. (2005) Normative ethics and methodology for life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*: 13 (13-14) 1225-1234.

Ekvall T., Assefa G., Björklund A., Eriksson O., Finnveden. (2007) G What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste Management* 27 (8), 989-996.

Fernández M. Galperin H. y Castells M. (2011) Comunicación móvil y desarrollo económico y social en América Latina Colección Fundación telefónica/Editorial Ariel Barcelona, 392 p. ISBN: 978-84-08-09969-7.

García Alba Jaime Coordinador (2009) Telefonía móvil y desarrollo financiero en América Latina. Editorial Ariel. España.

Gedik N., Hanci-Karademirci A., Kursun E., Kursat C. (2012) Key instructional design issues in a cellular phone-based mobile learning project. *Computers & Education* 58 (2012) 1149–1159.

Geyer, R., & Doctori Blass, V. (2009). The economics of cell phone reuse and recycling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(5-8), 515–525.

Goedkoop M., An De Schryver, Oele M., Durksz S., Douwe de Roest. (2010) SimaPro 7. Introduction into LCA. Pré Consultants.

Goedkoop M., Spriensma, R. 2000. The Ecoindicator'99: a Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology Report. Pré Consultants BV, Amersfoort: The Netherlands.

Goedkoop, M., 1995. The Ecoindicator'95: Final Report. Pré Consultants BV, Amersfoort: The Netherlands.

Greenpeace 2005. Recycling of electronic waste in China and India: workplace and environmental contamination. Greenpeace report. In: Brigden K, Labanska I, Santillo D, Allsopp M, editors. Greenpeace International; August 2005.

Giarratano y Riley (2001) Sistemas Expertos: Principios y Programación Tercera Edición. International Thomson Editores. ISBN: 9706860592, 608 PP.

Guinee J., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards, Kluwer Academic Publishers.

Hauschild M., Potting J. (2004) Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment - the EDIP-2003 Methodology. Guidelines from the Danish EPA. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.

Head M. & Ziolkowski N. (2012) Understanding student attitudes of mobile phone features: Rethinking adoption through conjoint, cluster and SEM analyses. *Computers in Human Behavior*. 28: 2331-2339.

Herat, S., & Ph, D. (2008-a). Contamination Of Solid Waste From Toxic Materials In Electronic Waste (E-Waste), 34(4), 198–204.

Herat S. Green electronics through legislation and Lead Free Soldering. *Clean*: 2008-b 36 (2) 145-151.

Herat S. Sustainable Management of Electronic Waste (e-Waste). *Clean*: 2007; 35 (4) 305-310.

Houé Raymond and Grabot Bernard. (2007) Knowledge Modeling for Eco-design, *Concurrent Engineering: Research and Applications*. 15; 7.

Hogan, L.M., Rethmeyer, D.A., Franklin, W.E., Life cycle management. Case study of three engine oil filters, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference. *Life Cycle Management and Assessment* (Part I), 191-197, 1997.

Hong F.Y, Chiu S.I, Huang D.H (2012) A model of the relationship between psychological characteristics, mobile phone addiction and use of mobile phones by Taiwanese university female students. *Computer in Human Behavior*. 28: 2152-2159.

Idemat, Section for Environmental Product Development, Faculty of Industrial Design, Delft University of Technology, 2005.

International Telecommunication Union (ITU). 2011. Key Global Indicators for the World Telecommunication Service Sector. http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/at_glance/KeyTelecom.html consultado abril, 2012.

International Telecommunication Union (ITU) 2009. New ITU ICT Development index compares 154 countries Northern Europe tops ICT developments.

IPMI, Environmentally sound management: used mobile telephones. International Precious Metals Institute, IPMI, July 14, 2003.

Iriarte, Alfredo, Gabarrell, Xavier., Rieradevall, Joan. (2009) LCA of selective waste collection systems in dense urban areas. *Waste Management*: 29 (2), 903–914.

- ISO 14040 (2006). Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- ISO 14044 (2006). Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.
- ISRI, 2003. Institute of scrap recycling industries Inc. (ISRI), Scrap recycling: where tomorrow begins, Report of ISRI, Washington, DC, USA, pp. 16–24, http://www.isri.org/isri_downloads/scrap2.pdf, 2003-01-06.
- IV-SIIR, 2011. Cruz-Sotelo S., Ojeda-Benítez S., Bovea M.D., Pérez-Beliz V. y Ureña Valenzuela S. Comparación de las prácticas de manejo de los celulares al final de su vida útil entre México y España. 4to. Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Sólidos y 4to. Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos. México, D.F.
- Jang, Y.-C., & Kim, M. (2010). Management of used & end-of-life mobile phones in Korea: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(1), 11-19.
- Kasper A. C., Bernarders A. M. y Veit H. M. (2011). Characterization and recovery of polymers from mobile phone scrap. *Waste Manag. Research* 29, 714.
- Kang H-Y, Schoenung JM. Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California. *Journal of Hazardous Materials* 2006; B137:1165–74.
- Kang H.-Y., Schoenung J.M., Electronic waste recycling: a review of U.S. infrastructure and technology options, *Resour. Conserv. Recycl.* 45 (4) (2005) 368–400.
- Katz R. (2011) La infraestructura en el desarrollo integral de América Latina. Diagnóstico estratégico y propuesta para una agenda prioritaria. Telecomunicaciones. CAF Banco de Desarrollo de América Latina. Colombia.
- Laborda G., Ballesta J., Gómez J., Guardiola P., Lozano J. y Serrano F. (2005). RED: Revista de Educación a distancia, diciembre. Vol. V, número 013. Universidad de Murcia. España. Consultado en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=54701306>.
- Lindeijer, E., Ewinjk, H. IVAM LCA Data 2.0, IVAM Environmental Research. The Netherlands, 1998.
- Mariscal Judih and Rivera Eugenio. 2007. Regulación y competencia en las telecomunicaciones mexicanas. Series: Estudios y Perspectivas, No. 83. United Nations, Economic Commission for Latin American and the Caribbean. México.
- Lipscomb T. J., Totten W. J., Cook R. A., & Lesch W. Cellular phone etiquette among college students. *International Journal of Consumer Studies* 31 (2007) 46–56 ©2005 Blackwell Publishing Ltd ISSN 1470-6431.
- Mermelstein, B.; Tal, E., (2005) "Using cellular phones in higher education: mobile access to online course materials," *Wireless and Mobile Technologies in Education, 2005. WMTE 2005. IEEE International Workshop on*, vol., no., pp.3 pp. doi: 10.1109/WMTE.2005.71
- Michalakelis, C., Varoutas, D., & Sphicopoulos, T. (2008) Diffusion models of mobile telephony in Greece. *Telecommunications Policy*, 32, 234-245.
- Mohabuth Nusruth y Miles N. (2005) The recovery of recyclable materials from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) by using vertical vibration separation". *Resources, Conservation and Recycling* 45 pp. 60–69.

Moscoloni N. y Castro S. (2010) Consumo de dispositivos tecnológicos: uso de pantallas en integrantes de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), Aragentina. *Signo y Pensamiento* 57 (29): 430-445.

Most E., *Calling All Cell Phones: Collection, Reuse and Recycling Programs in the US*, Inform Inc., 2003.

Nasr, N., Varel, E.A., Total product life cycle analysis and costing. *Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference. Life Cycle Management and Assessment (Part I)*, 9-15, 1997.

Nixon H., Saphores J-D., Ogunseitan O., Shapiro A (2009). Understanding preferences for recycling electronic waste in California: The influence of environmental attitudes and beliefs on willingness to pay. *Environment and Behavior* 41 (1): 101-124.

Nokia (2005) Integrated product policy pilot project stage 1 report. Nokia, Espoo, Finland.

Nnorom I.C., O. Osibanjo (2009). Toxicity characterization of waste mobile phone plastics. *Journal of Hazardous Materials* 161, 183–188.

Nnorom I.C., Ohakwe J. & Osibanjo O. (2009) Survey of willingness of residents to participle iin electronic waste recycling in Nigeria –A case study of mobile phone recycling. *Journal of cleaner Production* 17: 1629-1637.

Nnorom I.C., Osibanjo o. (2007) Electronic waste (e-waste): Material flows and management practices in Nigeria. *Waste Management* 1-8.

Obersteiner, G., Binner, E., Mostbauer, P., Salhofer, S. (2007) Landfill modelling in LCA – a contribution based on empirical data. *Waste Management* 27 (8), S58– S74.

Ongondo F.O., Williams I.D. (2011). Greening academia: Use and disposal of mobile phones among university students. *Waste Management* 31 (2011) 1617-1634.

Ongondo F.O., Williams I.D. (2011b). Mobile phone collection, reuse and recycling in the UK. *Waste Management* 31 (2011) 1307–1315.

Osibanjo O., Nnorom I. (2008). Material flows of mobile phones and accessories in Nigeria: Environmental implications and sound end-of-life management options *Environmental Impact Assessment Review* 28: 198-213.

Osibanjo O., Nnorom I. (2007). The challenge of electronic waste (e-waste) management in developing countries. *Waste Management & Research* 2007:25:489-501.

Palma Méndez José T. y Marín Morales Roque (2008) *Inteligencia Artificial: Métodos, técnicas y aplicaciones*. McGraw-Hill.

PNUMA (Programa de las Navciones Unidas para el Medio Ambiente), Guidelines for the identification of PCBs and materials containing PCBs (1999). Disponible en: <http://www.chem.unep.ch/publications/pdf/guididpcb.pdf>

PNUMA, 2004. Proyecto de directrices técnicas para el reciclado/regeneración ambientalmente racional de metales y compuestos metálicos (R4). Conferencia de las partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Séptima reunión, Ginebra 2004. <http://www.basel.int/meetings/cop/cop7/docs/o8a3s.pdf>

Polák, M., & Drápalová, L. (2012) Estimation of end of life mobile phones generation: The case study of the Czech Republic. *Waste Management* (2012), doi:10.1016/j.wasman. 2012.03.028.

Ponce C. P., 2010. Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería. Ira Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México. ISBN: 978-607-7854-83-8

Rajendra Kumar Foolmaun y Toolseeram Ramjeawon Life Cycle Assessment (LCA) of PET bottles and comparative LCA of three disposal options in Mauritius. *Int. J. Environment and Waste Management*. 2008 (2) 125-130.

Reis de Oliveira, Moura B., Enge G. (2012). Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. *Waste Management* 32 (2012) 1592–1610.

Rives J., Rieradevall J., & Gabarrel X. LCA comparison of container systems in municipal solid waste management *Waste Management*: 2010; 30 (6) 949-957.

Rodríguez F., Sáez F. y García, J.M. (2010) El teléfono móvil, producto estelar de la red universal digital Una Tecnología Compleja De Impresionante y Ubicuo Impacto Social. Serie Ingeniería Sociotécnica Cátedra Orange Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

Román M. G. 2007. Desarrollo de un programa modelo para el manejo de los residuos electrónicos en México. Informe final. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, IPN, INE. México D.F. Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/sqre/2007_inf_plan_manejo_grm.pdf

Rosen K., Meier A. (2000) Energy use of US consumer electronics at the end of the 20th century. In: Proceedings of the Second International Conference on Energy Efficiency in Household Appliances. September 2000, Naples, Italy. LBLN-46212.

Schäfer T, van Looy E, Weingart A, Pretz T. (2003) Automatic separation devices in mechanical recycling processes. In: Proceedings of the International Electronics Recycling Congress.

Scharnhorst W., H.-J. Althaus, M. Clases, O. Jolliet, L.M. Hilty, (2005) The end of life treatment of second generation mobile phone networks: strategy to reduce the environmental impact, *Environ. Impact Assess. Rev.* 25, 540–566.

Scharnhorst W. (2006a) Life cycle assessment in the telecommunication industry: a review, *Int. J. Life Cycle Anal.* 12, 1–12.

Scharnhorst W., H.-J. Althaus, M. Clases, O. Jolliet, L.M. Hilty. (2006b) Environmental Assessment of End-of-Life Treatment Options for a GSM 900 Antenna Rack. *Int J LCA* 11 (6) 425 – 436.

Schmidt, Sonja y Pahl-Wostl, Claudia. (2007) Modelling biowaste flows for life-cycle assessment–calculation of the potential and collected weight of kitchen and garden waste. *Journal of Industrial Ecology*: 11 (1), 181–199.

SEMARNAT. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 08 de octubre de 2003.

SEMARNAT. Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012 (PNPGIR). Disponible en:

<http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/publicaciones/Publicaciones/SEMARNAT%20Resumen%20Ejecutivo%2009.pdf>

- SENER (2012) Secretaria de Energía. Planeación energética y desarrollo tecnológico, Estadísticas destacadas del sector energético, Prontuario Estadístico del Sector Energético agosto 2011. <http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas_destacadas_del_sector_energetico.html> enero 2012.
- Shapiro, K.G., Incorporating cost in LCA, *International Journal of LCA*, 6 (29), 121-123, 2001.
- Shields, M.D., Young, M.S. (1991) Managing product life cycle cost: an organizational model, *Journal of Cost Management*, 5 (3), 39-52.
- Schuster C. & Pérez C. (2012) Reduciendo costos, mejorando la calidad y recopilando En <www.worldbank.org/en/breve> consultado en enero de 2012.
- Sharma, A., Weitz, K.A. (1995) Incorporating environmental cost and considerations into decision-making: review of available tools and software, EPA 742-R-95-002.
- Silveira, G. T. R., & Chang, S.-Y. (2010). Cell phone recycling experiences in the United States and potential recycling options in Brazil. *Waste management* 30(11), 2278-91
- Sinha K. D., Kraeuchi P., Widmer R. (2009) Producer responsibility for e-waste management: Key issues for consideration e Learning from the Swiss experience. *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 153-165.
- Sinha K. D., Kraeuchi P., Schwaninger M. (2005) A comparison of electronic waste recycling in Switzerland and in India, *Environmental Impact Assessment Review*. 2005: 25, 492-504.
- Steen, B., 1999a. A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000. General System Characteristics. CPM report 1999:4, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Steen, B., 1999b. A Systematic Approach to Environmental Strategies in Product Development (EPS). Version 2000. Models and Data of the Default Methods. CPM report 1999:5, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Steen, B., A systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000. General system characteristics, Chalmers University of Technology, CPM report 1999:4, 1999.
- Tartiu, V., E. (2009). The management of waste from electrical and electronic equipment (WEEE) in the European Union. Ph.D. The Ninth International Conference: Investments and Economic Recovery. The Bucharest Academy of Economic Studies, Romania, 2009. *Economia. Seria Management*, 2009, vol. 12, issue 2 Special, pages 218-222.
- Vacas A. F. (2007). Mobile Telephony : The Fourth Window Telefonía móvil : la cuarta ventana, Zer, 23, 2007, p. 199-217.
- Van Biljon, J., Kotzé, P., Renaud, K., 2008. Mobile phone usage of Young adults: The impact of motivational factors. OZCHI, 287. In Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Designing for Habitus and Habitat, pp. 57-64.
- Verza, F. y Wagner, A. (2010). Uso del Teléfono Móvil, Juventud y Familia: Un Panorama de la Realidad Brasileña. Psychosocial Intervention [en línea] 2010, vol. 19. Disponible en Internet: <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=179815544007>. ISSN 1132-0559.

- Vogtländer, J.G., Bijma, A. (2000) The virtual pollution prevention cost'99, a single LCA-based indicator for emissions, *International Journal of LCA*, 5 (2), 113-124.
- White A.L., Savage D., Shapiro. (1996) K. Life-cycle costing: concepts and applications. *Environmental life cycle assessment*. Ed. M.A. Curran, McGraw Hill.
- White A.L., Becker, M., Goldstein, J. (1992) Total cost assessment: accelerating industrial prevention pollution. Prevention through innovative project financial analysis EPA/741/R-92/002.
- Winkler, Jörg, Bilitewski, Bernd Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. *Waste Management*: 2007; 27 (8), 1021–1031.
- Wu B. Y., Y. C. Chan, A. Middendorf, X. Gu¹, H. W. Zhong, (2008). Assessment of toxicity potential of metallic elements in discarded electronics: A case study of mobile phones in China. *Journal of Environmental Sciences* 20 (2008) 1403–1408.
- XianbingL., Masaru T., y Yasuhiro M. (2006). Generation amount prediction and material flow analysis of Electronic Waste: a case study in Beijing, China. *Waste Management & Research* 2006: 24: 434-445.
- Xu, X., Yang, H., Chen, A., Zhou, Y., Wu, K., Liu, J., Zhang, Y., et al. (2012). Birth outcomes related to informal e-waste recycling in Guiyu, China. *Reproductive toxicology* (Elmsford, N.Y.), 33(1), 94–8.
- Yamaguchi, H.; Tahara, K.; Itsubo, N.; Inaba, A.; (2003) "A life cycle inventory analysis of cellular phones," *Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, 2003. EcoDesign '03. 2003 3rd International Symposium on, vol.2003 no., pp.445-451.
- Yla-Mella, Eva Pongracz E., Keiski, R. L., 2004. Recovery of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in Finland. University of Oulu, Department of Process and Environmental Engineering. Disponible en: <http://www.oulu.fi/resopt/wasmin/ylamella.pdf>
- Yong-Chul Jang and M. Kim, 2010. Management of used & end-of-life mobile phones in Korea: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, no. 1, pp. 11–19, Nov. 2010.
- Yu, J., Williams, E., & Ju, M. (2010). Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China. *Energy Policy*, 38(8), 4135-4141.

Anexo 1. Encuesta a Universitarios



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA INSTITUTO DE INGENIERÍA

HÁBITOS DE COMPRA Y USO DE TELÉFONOS CELULARES

Perfil: ☐ Investigador ☐ Docente ☐ Administrativo ☐ Intendencia ☐ Estudiante ☐ Otro: _____

Carrera: _____ **Facultad o Escuela:** _____

Sexo: ☐ mujer ☐ hombre

Edad: ☐ ≤19 ☐ 20-24 ☐ 25-29 ☐ 30-34 ☐ 35-39 ☐ 40-45 ☐ 46-49 ☐ 50-54 ☐ 55-59 ☐ 60-64 ☐ >65

1. Con respecto a tu teléfono celular actual

Antigüedad: ☐ <6 meses ☐ 6-12 meses ☐ 12-18 meses ☐ 18-24 meses ☐ 2-3 años ☐ 3-4 años ☐ Otro: _____

Marca: ☐ Nokia ☐ Ericsson ☐ Samsung ☐ Alcatel ☐ iPhone ☐ HTC ☐ LG ☐ Blackberry ☐ Otro: _____

Precio: \$ _____ puntos

¿Dónde lo compraste? ☐ México ☐ Estados Unidos ☐ Otro: _____

¿Cómo lo compro? ☐ Nuevo ☐ Usado

¿Cuántas **veces** cargas la batería la semana? ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ >7: _____

¿Durante cuánto **tiempo** lo cargas cada vez? ☐ 1h ☐ 2h ☐ 3h ☐ 4h ☐ otros _____

2. Ordena de mayor a menor importancia los criterios de la compra: [(1) muy importante. . (5) Nada importante]

☐ Precio ☐ Aplicaciones ☐ Marca ☐ Estética ☐ Otro: _____

3. ¿Cuánto tiempo tuviste el celular anterior?

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 18 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 4 años ☐ Otros _____

Motivo del cambio

☐ No funciona ☐ Obsoleto ☐ Estética/Moda ☐ Más aplicaciones ☐ Cambio contrato

☐ Cambio compañía ☐ Puntos acumulados ☐ Otro: _____

4. ¿Qué hiciste con tu celular anterior?

☐ Me lo robaron/ lo extravié

☐ Es mi primer celular

☐ Lo vendí

☐ Lo dejé en la tienda a cambio del móvil nuevo

☐ Se lo di a alguien para que lo reutilizara

☐ Lo guardé → ¿por cuánto tiempo? _____

☐ Lo lleve a un centro de acopio → ¿a qué centro lo llevaste? _____

☐ Lo tire a la basura → Motivo: ☐ Desconocimiento existencia centro de acopio ☐ Lejanía del centro ☐ Comodidad

5. ¿Cuántos celulares has utilizado en tu vida?

6. ¿Cuál es la cantidad máxima que estarías de acuerdo en pagar por un celular nuevo?

7. ¿Cuántos celulares propios, sin uso guardas en tu casa?

8. ¿Has reparado alguna vez un celular?

☐ No ☐ Sí → Después de la reparación, ¿cuánto tiempo más lo pudiste utilizar? ____ meses ____ años ☐ sigo utilizando

9. ¿Haz utilizado alguna vez un celular de segunda mano? ☐ No ☐ Sí → ☐ Comprado ☐ Regalado

10. ¿Estarías dispuesto a utilizar el celular durante más tiempo con el fin de reducir los residuos?

☐ No ☐ Sí → ¿Cuánto tiempo más? ☐ 6 meses ☐ 1 año ☐ Hasta que no funcione ☐ Otro: _____

11. Cuando un celular no funciona, ¿Qué haces con él? ☐ Reparo ☐ Tiro a la basura ☐ Almaceno ☐ Otro _____

12. ¿Quién crees que sea responsable de la disposición final de los celulares?

☐ Población ☐ Fabricante ☐ Municipio ☐ Otros _____

13. ¿Cree que los celulares que desechamos en la basura ocasionan algún problema?

☐ No ☐ Sí → ¿Cuál? _____

14. ¿Cree pueden ser aprovechados?

☐ No ☐ Sí → ¿Cómo? _____

15. ¿Consideras que los celulares requieren de algún tratamiento especial al final de su vida útil?

☐ No ☐ Sí → ¿Cuales? _____

16. ¿Has escuchado de la existencia de empresas que den tratamiento a los celulares al final de su vida útil? ☐ No ☐ Sí → ¿Cuales? _____

17. ¿Sabes si existen centros de acopio?

☐ No ☐ Sí → ¿Quién los promueve? _____

18. Si se implementaran programas de recolección/reciclaje de celulares ¿quién debería cubrir los gastos?

Se incluya en el precio del producto	()	Fabricante	()
Gobierno	()	Gobierno, Fabricante y Consumidor	()

Anexo 2. Encuesta a Centros de Reparación



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA INSTITUTO DE INGENIERÍA FLUJO DE LOS TELÉFONOS CELULARES EN MÉXICO

Nombre de la Empresa: _____

Folio

Dirección: _____

1. ¿Dónde se encuentra su proveedor de equipos celulares?

2. ¿Por qué medio le envía el proveedor los celulares?
☐ Terrestre ☐ Aéreo ☐ Marítimo ☐ Otro _____
3. ¿Conoce la ruta que siguen los teléfonos celulares desde su fabricación hasta su negocio? _____

4. ¿Cuenta con programas de acopio de teléfonos celulares?
☐ No ☐ Sí → En promedio ¿cuántos reciben al mes?
5. ¿Qué hacen con los celulares acopiados? _____
6. ¿Qué hacen con los celulares que regresa el cliente por garantía? _____

7. ¿Cuáles son las principales fallas que presentan? _____
8. ¿La empresa tiene alguna política de promoción para incentivar la entrega por parte de los usuarios de los equipos celulares en desuso para su reciclaje?
☐ Sí ☐ ¿Cual(es)? _____
☐ No ☐ ¿Por qué? _____
9. Cree que es necesario implementar en el marco de sus estrategias de comercialización campañas informativas y de sensibilización de los consumidores de este sector sobre la disposición adecuada de los celulares en desuso.
☐ Sí ☐ ¿Cual(es)? _____
☐ No ☐ ¿Por qué? _____
10. Conoce el programa de acopio y reciclaje de celulares que ofrece en México Recall Internacional a los distribuidores, vendedores y fabricantes de telefonía celular, para las pilas y teléfonos que no pueden reutilizar.
☐ Sí ¿En que consiste? _____
☐ No ¿Le gustaría conocerlo? _____
11. ¿Considera que el teléfono celular contiene componentes tóxicos peligrosos?
☐ Sí ☐ ¿Cual (es)? _____
☐ No ☐ ¿Por qué? _____
12. ¿Dónde deben ser dispuestos?
1) Basura 2) Centros de acopio 3) Planta recicladora 4) Otro _____

Anexo 3. Encuesta a Centros de Distribución



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA INSTITUTO DE INGENIERÍA FLUJO DE LOS TELÉFONOS CELULARES EN MÉXICO

Nombre de la Empresa: _____

Folio

Dirección: _____

1. ¿Cuántos teléfonos celulares traen a reparar por semana?
2. ¿Cuántos teléfonos celulares reparar por día?
3. ¿Qué proporción de celulares que traen no es posible reparar?
4. ¿Vende equipos reparados/segunda mano? ☐ Sí ☐ No
5. ¿Reciben celulares en desuso? ☐ Sí ☐ No
6. ¿Qué hacen con ellos? ☐ Reparo ☐ Tiro a la basura ☐ Utiliza partes ☐ Otro _____
7. ¿Sabes si existen centros de acopio?
☐ No ☐ Sí → ¿Quién los promueve? ☐ Gobierno ☐ Movistar ☐ TELCEL ☐ Otro _____
8. ¿Qué hacen con los celulares que ya no tienen reparación?
☐ Lo tira ☐ Desarma para reúso de partes ☐ Desarma para venta de partes ☐ Otro _____
9. ¿Cuáles son las fallas comunes que presentan los celulares? _____
10. ¿Cuales son las principales marcas que presentan recurrentemente fallas? _____
11. ¿Cuánto es el costo máximo y el mínimo por reparar un celular? _____
12. Si se implementaran programas para el acopio/manejo de celulares en desuso, ¿le interesaría participar? ☐ Sí ☐ No ¿Por qué? _____

13. Cree que es necesario implementar campañas informativas y de sensibilización para los consumidores de este sector sobre la disposición adecuada de los celulares en desuso.
☐ Sí ☐ No ☐ ¿Por qué? _____
14. Quien debe ser el responsable de implementar campañas informativas y de sensibilización para los consumidores de celulares.
☐ Gobierno ☐ Medios de comunicación ☐ Compañías (Telcel, Movistar, etc.) ☐ Otro _____
15. Considera que el teléfono celular contiene componentes tóxicos peligrosos que no deberían acabar en un basurero sino en una planta de reciclado
☐ Sí ☐ ¿Cual (es)? _____
☐ No ☐ ¿Por qué? _____

Anexo 4. Registro de teléfonos celulares

Modelo	Plástico (g)	%	Férricos (g)	%	No Férricos (g)	%	PCI (g)	%	BATERIA (gr)	%	Otros (g)	%	Peso TOTAL (g)
1.Movistar Alcatel	47.108	41.578	2.655	2.34	0.5373	0.47	16	14.12	41.7	36.8	5.3	4.678	113.30
2.Ericsson J210 i	31.311	42.951	1.41	1.93	2.0786	2.85	17.5	24.01	16	21.95	4.6	6.31	72.9
3. Siemens C45	38.157	35.581	0.676	0.63	3.71	3.46	17.7	16.51	41.5	38.7	5.5	5.129	107.24
4.Alcatel negro	29.132	40.518	1.63	2.27	1.0378	1.44	16.2	22.53	19.1	26.56	4.8	6.676	71.9
5.Ericsson GA318	55.302	51.348	1.36	1.26	2.438	2.26	30.6	28.41	14.6	13.56	3.4	3.157	107.7
6.Samsung SGHJ400	37.677	36.902	1.87	1.83	22.4332	22	8.9	8.717	18.9	18.51	12.32	12.07	102.1
7. Nokia 3100 RH 19	28.627	31.389	7.775	8.53	7.3985	8.11	15.2	16.67	21.1	23.14	11.1	12.17	91.2
8. Samsung SH G-L770	38.452	47.238	1.765	2.17	3.7429	4.6	9.7	11.92	18.8	23.1	8.94	10.98	81.4
9. Alcatel BE1	72.013	45.723	3.61	2.29	4.78	3.03	31.4	19.94	40.8	25.9	4.9	3.111	157.5
10.Alcatel BF4	28.811	39.199	1.61	2.19	2.6786	3.64	15.2	20.68	21	28.57	4.2	5.714	73.5
11. Samsung SGH C100	26.057	34.017	1.645	2.15	1.2983	1.69	17.1	22.32	24.7	32.25	5.8	7.572	76.6
12. Ericsson J220	33.207	39.159	1.705	2.01	5.1883	6.12	16.9	19.93	19.2	22.64	8.6	10.14	84.8
13.Ericsson K700 ic	34.332	36.916	1.735	1.87	5.2531	5.65	24.1	25.91	18.3	19.68	9.28	9.978	93
14.Motorola Aqua	19.773	26.902	2.36	3.21	4.8672	6.62	18.2	24.76	22.7	30.88	5.6	7.619	73.5
15.Ericsson J210 i	31.311	42.951	1.41	1.93	2.0786	2.85	17.5	24.01	16	21.95	4.6	6.31	72.9
TOTALES (g)	551.27		33.216		69.514		272.2		354.4		98.94		1379.54
Movil promedio (g)	36.75	39.96	2.21	2.41	4.63	5.04	18.15	19.73	23.63	25.69	6.60	7.17	91.97

Anexo 5. Materias primas-Procesos de fabricación de componentes (Baterías)

Li-Ion Materiales/combustibles	Aluminium, production mix, at plant/RER U	0.12398	kg
	Chemical organic, at plant/GLO U	0.096236	kg
	Cooper, primary, at refinery/REA U	2.6338E-05	kg
	Electricity, medium voltage, at grid/CN U	24.786	kWh
	Electricity, medium voltage, at grid/JP U	16.524	kWh
	Electrode, negative, LiC6, at plant/GLO U	0.16641	kg
	Electrode, positive, LiMn2O4, at plant/GLO U	0.32572	kg
	Facilities precious metal refinery/SE/I U	1.6461E-07	p
	Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U	15.947	MJ
	Heat, natural gas, at industrial furnace low-Nox >100kW/RER U	122.86	MJ
	Injection moulding/RER U	0.28935	kg
	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	0.22643	kg
	Sheet rolling, aluminium/RER U	0.12398	kg
	Sheet rolling, cooper/RER U	2.6338E-05	kg
	Tetrafluoroethylene, at plant/RER U	0.062923	kg
	Tin, at regional storage/RER U	2.6338E-07	kg
	Water, decarbonised, at plant/RER U	379.56	kg
	Zinc coating, pieces/RER U	2.6338E-07	m2

NiMH Materiales/combustibles	Acrylic acid, at plant/RER U	0.0013381	kg
	Cooper, primary, at refinery/RAS U	3.6223E-06	kg
	Electricity, medium voltage, at grid/CN U	12.888	kWh
	Electricity, medium voltage, at grid/JP U	8.5917	kWh
	Electrode, negative, Ni, at plant/GLO U	0.35895	kg
	Electrode, positive, LaNi5, at plant/GLO U	0.33484	kg
	Electrolyte, KOH, LiOH additive, at plant/GLO U	0.082202	kg
	Facilities precious metal refinery/SE/I U	1.6461E-07	p
	Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U	8.4113	MJ
	Heat, natural gas, at industrial furnace low-Nox >100kW/RER U	59.099	MJ
	Injection moulding/RER U	0.11807	kg
	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0.058332	kg
	Polycarbonate, at plant/RER U	0.081198	kg
	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	0.018334	kg
	Polypropylene, granulate, at plant/RER U	0.018536	kg
	Sheet rolling, cooper/RER U	3.6223E-06	kg
	Sheet rolling, steel/RER U	0.10459	kg
	Steel, low-alloyed, at plant/RER U	0.046263	kg
	Water, decarbonised, at plant/RER U	182.57	kg
	Zinc coating, pieces/RER U	0.00004812	m2
	Zinc, primary, at regional storage/RER U	3.6223E-08	kg

Anexo 6. Materias primas-Procesos de fabricación de componentes (PWB-PCI)

PWB. Printed wiring board-MEXICO Materiales/Combustibles	Capacitor	12.36%	Unidad	Integrated circuit	66.64%	Unidad
	Barite, at plant/RER U	0.79062	kg	Chemicals organic, at plant/GLO U	0.0086	kg
	Copper, primary, at refinery/RER U	0.01406	kg	Cooper, primary, at refinery/GLO U	0.082	kg
	Flat glass, uncoated, at plant/GLO U	0.00222	kg	Electricity, medium voltage, production MEXICO	668.61	kWh
	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0.20084	kg	Electronic component production plant/GLO/I U	2.00E-08	p
	Palladium, at regional storage/RER U	0.001332	kg	Epoxy resin insulator (SiO2), at plant/RER U	0.4365	kg
	Production efforts, capacitors/GLO U	1	kg	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0.0025	kg
	Silver, at regional storage/RER U	0.03922	kg	Glass fiber reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	0.3169	kg
	Tin, at regional storage/RER U	0.02442	kg	Gold, primary, at refinery/GLO U	0.01082	kg
	Titanium dioxide, production mix, at plant/RER U	0.40729	kg	Heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U	493	MJ
				Lead, at regional storage/RER U	0.037	kg
	Connector	7.34%		Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0.00328	kg
	Brass, at plant/CH U	0.20295	kg	Silver, at regional storage/RER U	0.0075	kg
	Electricity, medium voltage, production MEXICO	6.51	kWh	Tin, at regional storage/RER U	0.063	kg
	Gold, at regional storage/RER U	0.00205	kg	Wafer, fabricated, for integrated circuit, at plant/GLO U	0.0055649	m2
	Nylon 66, at plant/RER U	0.795	kg	Zinc, primary, at regional storage/RER U	0.00756	kg
	Printed wiring board mounting plant/GLO/I U	2.08E-07	p			
	Diode	1.54%		Resistor	8.88%	
	Aluminium oxide, at plant/RER U	0.31876	kg	Aluminium oxide, at plant/RER U	0.86038	kg
	Copper, primary, at refinery/RER U	0.24991	kg	Chromium, at regional storage/RER U	0.001107	kg
	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0.021944	kg	Copper, primary, at refinery/RER U	0.004551	kg
	Funnel glass, CRT screen, at plant/GLO U	0.26104	kg	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0.011562	kg
	Lead, at regional storage/RER U	0.008216	kg	Glass tube, borosilicate, at plant/DE U	0.008118	kg
	Molybdenum, at regional storage/RER U	0.16068	kg	Gold, at regional storage/RER U	0.006273	kg
	Production efforts, diodes/GLO U	1	kg	Lead, at regional storage/RER U	0.005412	kg
	Silicon, electronic grade, at plant/DE U	0.004784	kg	Limestone, milled, packed, at plant/CH U	0.000615	kg
	Tin, at regional storage/RER U	0.015288	kg	MG-silicon, at plant/NO U	0.000123	kg
				Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0.020295	kg
	Transistor	3.86%		Palladium, at regional storage/RER U	0.001722	kg
	Aluminium primary, at plant/RER U	0.01218	kg	Pig iron, at plant/GLO U	0.028905	kg
	Copper, primary, at refinery/RER U	2.1054	kg	Polymethyl methacrylate, beads, at plant/RER U	0.007872	kg
	Epoxy resin insulator (SiO2), at plant/RER U	2.8495	kg	Production efforts, resistors/GLO U	1	kg
	Lead, at regional storage/RER U	0.25578	kg	Silica sand, at plant/DE U	0.24625	kg
	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0.0464	kg	Silver, at regional storage/RER U	0.0123	kg
				Tin, at regional storage/RER U	0.014391	kg

Pig iron, at plant/GLO U	0.06032	kg		
Production efforts, transistors/GLO U	1	kg		
Silicon, electronic grade, at plant/DE U	0.02958	kg		
Tin, at regional storage/RER U	0.44138	kg		
Led	0.39%			
Cooper, primary, at refinery/RER U	0.23514	kg		
Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0.000104	kg		
Funnel glass, CRT screen, at plant/GLO U	0.26146	kg		
Lead, at regional storage/RER U	0.016328	kg		
Molybdenum, at regional storage/RER U	0.021008	kg		
Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0.003848	kg		
Pig iron, at plant/GLO U	0.45074	kg		
Production efforts, diodes/GLO U	1	kg		
Silicon, electronic grade, at plant/DE U	0.00468	kg		
Tin, at regional storage/RER U	0.046488	kg		
Mounting surface				
Electricity, medium voltage, production MEXICO	3.3629	kWh		
Printed wiring board mounting plant/GLO/I U	2.08E-07	p		
Solder, paste, Sn63Pb37, for electronics industry, at plant/GLO	0.080645	kg		
			Printed wiring board	Unidad
			Water, unspecified natural origin/m3	5.5814 m3
			Copper, at regional storage/RER U	2.8746 kg
			Dipropylene glycol monomethyl ether, at plant/RER U	0.50069 kg
			Electricity, medium voltage, production MEXICO	326.5 kWh
			Electronic component production plant/GLO/I U	2.00E-08 p
			Glass fiber reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up, at plant/RER U	1.8897 kg
			Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	379.39 MJ
			Hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant/RER U	13.644 kg
			Hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER U	1.7693 kg
			Iron (III) chloride, 40% in H2O, at plant/CH U	0.86093 kg
			Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0.0044526 kg
			Phenolic resin, at plant/RER U	0.21332 kg
			Sheet rolling, cooper/RER U	1.8167 kg
			Sodium chloride, powder, at plant/RER U	0.51072 kg
			Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U	6.9677 kg
			Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	1.1674 kg
			Tap water, at user/RER U	23.967 kg
			Tin, at regional storage/RER U	0.0075789 kg
			Water, ultrapure, at plant/GLO U	1087.1 kg

Anexo 7. Matrices de datos

PRÁCTICAS DE CONSUMO

ID	PRECIO	CRITERIO DE COMPRA	DONDE COMPRA	NUEVO USADO	PC	CLUSTERIZADO (5)
1	6	3	3	1	13	4
2	9	3	3	1	16	4
3	11	3	3	1	18	5
4	3	2	3	1	9	3
...	4	3	3	0	10	3
3282	9	4	3	1	17	5

HÁBITOS DE USO

ID	ANTIGÜEDAD	CONSUMO ENERGÉTICO	TIEMPO VIDA CELULAR ANTERIOR	MOTIVO CAMBIO	CELULARES EN LA VIDA	USO	CLUSTERIZADO (5)
1	3	4	1	1	1	10	2
2	3	5	1	3	3	15	2
3	3	5	4	1	6	19	4
4	3	2	4	3	7	19	3
...	2	3	3	1	5	14	3
3282	2	1	4	1	4	12	3

PRACTICAS DE MANEJO

ID	CELULAR ANTERIOR	CELULARES GUARDADOS	HA REPARADO	TIEMPO USO REPARADO	USA 2DA	REGALADO O COMPRO	ALARGARÍA TVidaUtil	CUANTO TIEMPO	NO FUNCIONA	PM	CLUSTERIZADO (0-5)
1	4	6	2	1	2	1	2	4	5	27	5
2	2	4	2	1	2	1	2	4	3	21	4
3	2	6	1	0	2	1	2	4	3	21	4
4	3	6	1	0	1	0	1	0	3	15	3
...	4	0	2	1	2	2	2	4	3	20	3
3282	4	4	2	1	1	0	1	0	3	16	3

NIVEL DE CONOCIMIENTO

	CONOCIMIENTO PROBLEMÁTICA	CONOCIMIENTO APROVECHAMIENTO	CONOCIMIENTO TRATAMIENTO	CONOCIMIENTO EMPRESAS	CONOCIMIENTO CENTRO ACOPIO	CONOCIMIENTO RESPONSABLES PROGRAMAS	CONOCIMIENTO RESPONSABLES DISPOSICION	INDICE GENERAL CONOCIMIENTO	CLUSTERIZADO (5)
ID	CP	CA	CT	CE	CCA	CRP	CRD	IGC	
1	1	1	0	0	1	0	1	4	3
2	0	0	0	0	0	1	1	2	2
3	1	1	1	0	0	0	1	4	3
4	0	0	0	0	0	0	1	1	2
5	1	1	0	0	0	1	1	4	3
...	...	...	...	...	...	...	..	...	...
3282	0	0	0	0	0	1	1	2	2

HÁBITOS DE USO

```
%sam09.m
clear all
load uso_cluster.dat

input = uso_cluster(:,1:5);
target= uso_cluster(:,6:7);

fis = genfis2(input,target(:,1),0.5);
out = evalfis(input,fis);

plotregression(target(:,1),out)

subplot(2,2,1);gensurf(fis,[1 2],1); xlabel('Antiguedad');
ylabel('ConsumoEnergetico');zlabel('USO');grid on
subplot(2,2,2);gensurf(fis,[1 3],1); xlabel('Antiguedad');
ylabel('TiempoAnterior');zlabel('USO');grid on
subplot(2,2,3);gensurf(fis,[1 4],1);xlabel('Antiguedad');
ylabel('MotivoCambio');zlabel('USO'); grid on
subplot(2,2,4);gensurf(fis,[1 5],1); xlabel('Antiguedad');
ylabel('CelsVida');zlabel('USO');grid on

figure;
subplot(1,3,1);gensurf(fis,[2 3],1); xlabel('ConsumoEnergetico');
ylabel('TiempoAnterior');zlabel('USO');grid on
subplot(1,3,2);gensurf(fis,[2 4],1); xlabel('ConsumoEnergetico');
ylabel('MotivoCambio');zlabel('USO');grid on
subplot(1,3,3);gensurf(fis,[2 5],1); xlabel('ConsumoEnergetico');
ylabel('CelsVida');zlabel('USO');grid on

figure;
subplot(1,3,1);gensurf(fis,[3 4],1); xlabel('TiempoAnterior');
ylabel('MotivoCambio');zlabel('USO'); grid on
subplot(1,3,2);gensurf(fis,[3 5],1); xlabel('TiempoAnterior');
ylabel('CelsVida');zlabel('USO'); grid on
subplot(1,3,3);gensurf(fis,[4 5],1); xlabel('MotivoCambio');
ylabel('CelsVida');zlabel('USO');grid on
```

PRACTICAS DE MANEJO

```
%sam11.m
clear all
load pm_cluster.dat

input = pm_cluster(:,1:9);
target= pm_cluster(:,10);

fis = genfis2(input,target(:,1),0.5);
out = evalfis(input,fis);

plotregression(target(:,1),out)

figure;
subplot(2,2,1);gensurf(fis,[1 2],1); xlabel('Anterior');
ylabel('Guardados');zlabel('Manejo'); grid on
subplot(2,2,2);gensurf(fis,[1 3],1); xlabel('Anterior');
ylabel('Reparado');zlabel('Manejo'); grid on
subplot(2,2,3);gensurf(fis,[1 4],1); xlabel('Anterior');
ylabel('TUsRep');zlabel('Manejo');grid on
subplot(2,2,4);gensurf(fis,[1 5],1); xlabel('Anterior');
ylabel('Usa2da');zlabel('Manejo');grid on

figure;
subplot(2,2,1);gensurf(fis,[2 3],1); xlabel('Guardados');
ylabel('Reparado');zlabel('Manejo');grid on
subplot(2,2,2);gensurf(fis,[2 4],1); xlabel('Guardados');
ylabel('TUsRep');zlabel('Manejo');grid on
subplot(2,2,3);gensurf(fis,[2 5],1); xlabel('Guardados');
ylabel('Usa2da');zlabel('Manejo');grid on
subplot(2,2,4);gensurf(fis,[2 7],1); xlabel('Guardados');
ylabel('Uso-Tiempo');zlabel('Manejo'); grid on

figure;
subplot(2,2,1);gensurf(fis,[3 4],1); xlabel('Reparado');
ylabel('TUsRep');zlabel('Manejo'); grid on
subplot(2,2,2);gensurf(fis,[3 5],1); xlabel('Reparado');
ylabel('2daMano');zlabel('Manejo'); grid on
subplot(2,2,3);gensurf(fis,[4 5],1); xlabel('TUsRep');
ylabel('2daMano');zlabel('Manejo'); grid on
subplot(2,2,4);gensurf(fis,[7 9],1); xlabel('Uso-Tiempo');
ylabel('No-funciona');zlabel('Manejo'); grid on
```

NIVEL DE CONOCIMIENTO

```
%sam10.m
clear all
load conoc_cluster.dat

input = conoc_cluster(:,1:7);
target= conoc_cluster(:,8:9);
fis = genfis2(input,target(:,1),0.5); %RADIO DE VECINDAD
out = evalfis(input,fis);

plotregression(target(:,1),out)

figure;
subplot(3,2,1);gensurf(fis,[1 2],1); xlabel('Problematica');
ylabel('Aprovechamiento');zlabel('NCA'); grid on
subplot(3,2,2);gensurf(fis,[1 3],1); xlabel('Problematica');
ylabel('Tratamiento');zlabel('NCA'); grid on
subplot(3,2,3);gensurf(fis,[1 4],1); xlabel('Problematica');
ylabel('Empresas');zlabel('NCA'); grid on
subplot(3,2,4);gensurf(fis,[1 5],1); xlabel('Problematica');
ylabel('CentroAcopio');zlabel('NCA'); grid on
subplot(3,2,5);gensurf(fis,[1 6],1); xlabel('Problematica');
ylabel('RespProg');zlabel('NCA'); grid on
subplot(3,2,6);gensurf(fis,[1 7],1); xlabel('Problematica');
ylabel('RespDisp');zlabel('NCA'); grid on

figure;
subplot(1,3,1);gensurf(fis,[2 3],1); xlabel('Aprovechamiento');
ylabel('Tratamiento');zlabel('NCA');grid on
subplot(1,3,2);gensurf(fis,[2 4],1); xlabel('Aprovechamiento');
ylabel('Empresas');zlabel('NCA');grid on
subplot(1,3,3);gensurf(fis,[2 5],1); xlabel('Aprovechamiento');
ylabel('Centro-Acopio');zlabel('NCA');grid on
figure;
subplot(1,2,1);gensurf(fis,[2 6],1); xlabel('Aprovechamiento');
ylabel('RespProg');zlabel('NCA');grid on
subplot(1,2,2);gensurf(fis,[2 7],1); xlabel('Aprovechamiento');
ylabel('RespDisp');zlabel('NCA');grid on

figure;
subplot(1,3,1);gensurf(fis,[4 5],1); xlabel('Empresas');
ylabel('CentroAcopio');zlabel('NCA'); grid on
subplot(1,3,2);gensurf(fis,[4 6],1); xlabel('Empresas');
ylabel('RespProg');zlabel('NCA'); grid on
subplot(1,3,3);gensurf(fis,[4 7],1); xlabel('Empresas');
ylabel('RespDisp');zlabel('NCA'); grid on
```