



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Evaluación de la relación de la obsolescencia programada y el eco-diseño de productos con base en la metodología MCDA**

**Pedro Nicolás Casas Páez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas e Industrial  
Bogotá, Colombia  
2013



# **Evaluación de la relación de la obsolescencia programada y el eco-diseño de productos con base en la metodología MCDA**

**Pedro Nicolás Casas Páez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ingeniería Industrial**

Director:

Ph.D. Félix Antonio Cortés Aldana

Línea de Investigación:

Investigación de Operaciones

Toma de Decisiones

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas e Industrial

Bogotá, Colombia

2013



*A mis padres, por el ejemplo de amor,  
entrega, trabajo y sacrificio.*



## **Agradecimientos**

A continuación reconoceré una significativa deuda que tengo con varias personas que bien directamente o de forma anónima han favorecido y alentado mis estudios.

Primero quiero agradecer a Félix Cortés, tutor y asesor principal del presente trabajo, fuente de constructivas críticas e invaluable recomendaciones que orientaron el itinerario de la tesis, sin las cuales no habría sido la misma. En estas líneas es más que oportuna la mención de Carlos Moreno por su tiempo y disposición en el acople de los cimientos de la tesis, así como por su permanente consejo desde mi inicio en el programa de maestría. Mis más sinceros agradecimientos a Harold Knudson, fundador anónimo de la inspiración que se plasma en la investigación realizada.

Quisiera agradecer a mi familia y amigos por todo su amor y apoyo. Principalmente a mis padres, muchas gracias por educarme con un empuje que sobrepasa los límites, y por su entendido e incondicional apoyo en todas mis aspiraciones. A mi papá, Pedro Alberto Casas, padre y promotor de los argumentos y paradojas que ciñen el desarrollo de la tesis. Finalmente, quisiera agradecer a Johanna Ortiz por su comprensión e incansable apoyo, así como por su paciencia y devoto amor.

A todos ellos les estoy eternamente agradecido.





## Resumen

El presente trabajo enfrenta uno de los desafíos del mercadeo verde y la administración de productos, al establecer un modelo que permite determinar qué patrón de obsolescencia es preferido cuando se toman en cuenta los principios medioambientales del eco-diseño de productos básicos. Ofrece una guía práctica al proporcionar un modelo de toma de decisiones para la priorización de los criterios del eco-diseño así como para la determinación de la preferencia de uno u otro patrón de obsolescencia, mediante el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ). Se muestra el modelo de decisión, con base en el criterio de los distintos niveles involucrados en el desarrollo de productos en una compañía integradora de sistemas electrónicos local. El documento presenta también una nueva metodología que ayuda a la minimización del esfuerzo en la aplicación del PAJ. La adición de características adicionales relacionadas al Producto Total, o la selección de un producto diferente, así como características ambientales diferentes pueden cambiar los pesos perceptuales resultantes, haciendo que la generalización de los resultados del modelo a otros productos pueda ser limitada.

**Palabras clave:** Diseño de productos, Obsolescencia, Análisis de decisión multi-criterio, Toma de decisiones, PAJ.

## Abstract

This paper addresses one of the challenges of green marketing and product administration, in determining which obsolescence model is preferred when taking into account the environmental eco-design principles of the base product. It offers practical help by providing a decision model that assists in determining which obsolescence model is most preferred based on firm's judgment around eco-design attributes and system design, as well as the prioritization of those attributes using the Analytic Hierarchical Process (AHP). The decision model is presented, taking into account the stakeholders of a local electronic system integrator, and is dependent on the concept of the decision-maker team. This paper also presents a new methodology when developing the AHP which help to minimize the effort during its application. Adding further characteristics related to the total product may change the presented perceptual weightings, so the generalizability of the findings of this model to other products or different environmental situations may be limited.

**Key words:** Product development, Obsolescence, Multiple criteria decision analysis, Decision making, AHP.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. El MCDA, el eco-diseño y la obsolescencia</b> .....	<b>3</b>
1.1 El MCDA.....	3
1.1.1 Elementos del MCDA .....	5
1.1.2 El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ).....	6
1.1.3 La estructura jerárquica.....	7
1.2 El eco-diseño.....	8
1.3 La obsolescencia .....	9
1.4 La estructura jerárquica del eco-diseño y la obsolescencia .....	10
<b>2. El eco-diseño de productos</b> .....	<b>15</b>
2.1 La administración de productos .....	15
2.2 Análisis de impacto ambiental.....	17
2.3 Eco-diseño.....	18
2.4 Consideraciones especiales para productos eléctricos y electrónicos .....	20
2.4.1 Etapa de producción .....	21
2.4.2 Etapa operativa, de uso o utilización .....	21
2.4.3 Etapa operativa, de uso o utilización .....	21
2.4.4 RAEE .....	22
2.4.5 Restricción de uso de sustancias peligrosas .....	23
2.5 Características y atributos del eco-diseño.....	24
<b>3. Ponderación de las características medioambientales del eco-diseño</b> .....	<b>27</b>
3.1 Aplicación del PAJ .....	27
3.1.1 Grupo de expertos .....	28
3.2 Definición del marco de estudio .....	30
3.2.1 Definición del producto objetivo.....	31
3.2.2 Definición de criterios medioambientales para productos básicos .....	32
3.3 Selección de criterios.....	34
3.3.1 Criterios del primer nivel de jerarquía .....	34
3.3.2 Criterios del segundo nivel de jerarquía .....	35

3.4	Ponderación de los atributos medioambientales.....	37
3.4.1	Pesos relativos de los atributos medioambientales.....	38
3.4.2	Priorización global de los atributos medioambientales .....	40
<b>4.</b>	<b>Obsolescencia de productos durables.....</b>	<b>43</b>
4.1	Introducción a la obsolescencia.....	43
4.2	Bienestar social y equilibrio del mercado.....	44
4.3	Calidad y diferenciación medioambiental de los productos.....	46
4.4	Investigación y desarrollo .....	46
4.5	La obsolescencia programada.....	48
4.6	Estructuración jerárquica de los modelos de obsolescencia .....	52
4.7	Reducción de las alternativas – modelos de obsolescencia .....	53
<b>5.</b>	<b>Importancia de los modelos de obsolescencia según los criterios de eco-</b>	
<b>diseño</b>	<b>.....</b>	<b>57</b>
5.1	Valoración de las alternativas.....	57
5.1.1	Minimización del esfuerzo del PAJ.....	59
5.1.2	Prioridad agregada de las alternativas generales .....	64
5.1.3	Cálculo de la prelación global .....	67
5.2	Análisis de sensibilidad .....	68
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>75</b>
6.1	Conclusiones.....	75
6.2	Recomendaciones.....	81
<b>A.</b>	<b>Anexo: Modelo de cuestionario – Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) .....</b>	<b>85</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Propuesta de investigación.....</b>	<b>91</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Documento base de la ponencia en: <i>The 22nd International Conference on Multiple Criteria Decision Making</i>.....</b>	<b>104</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>115</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1-1: Estructura jerárquica del PAJ. ....	7
Figura 1-2: Dominio del eco-diseño en el proceso de creación de nuevos productos. ....	9
Figura 1-3: Proceso planteado para evaluar la relación entre obsolescencia y eco-diseño utilizando la metodología MCDA. ....	11
Figura 2-1: Atributos del eco-diseño. ....	25
Figura 3-1: Criterios medioambientales del producto básico. ....	33
Figura 3-2: Pesos globales de los atributos medioambientales. Primer nivel de jerarquía. ....	38
Figura 3-3: Diseño del sistema. Pesos locales de los sub-criterios. ....	39
Figura 3-4: Materiales y componentes: Pesos locales de los sub-criterios. ....	39
Figura 3-5: Uso o utilización. Pesos locales de los sub-criterios. ....	39
Figura 3-6: Final del ciclo de vida. Pesos locales de los sub-criterios. ....	40
Figura 3-7: Pesos globales de los criterios medioambientales. ....	41
Figura 4-1: Segmentación de la obsolescencia de productos. ....	50
Figura 4-2: Estructura jerárquica general de los patrones de obsolescencia. ....	52
Figura 4-3: Estructura jerárquica clasificada de la obsolescencia programada. ....	53
Figura 4-4: Estructura jerárquica definitiva de la obsolescencia programada. ....	54
Figura 5-1: Estructura jerárquica – Alternativas de tercer nivel de jerarquía. ....	58
Figura 5-2: Estructura jerárquica modificada para la minimización del esfuerzo del PAJ. ....	61
Figura 5-3: Estructura jerárquica – Alternativas de segundo nivel de jerarquía. ....	62
Figura 5-4: Estructura jerárquica – Alternativas de tercer nivel de jerarquía – Obsolescencia absoluta. ....	63
Figura 5-5: Estructura jerárquica – Alternativas de tercer nivel de jerarquía – Obsolescencia psicológica. ....	63
Figura 5-6: Estructura jerárquica – Alternativas de primer tercer de jerarquía – Obsolescencia económica. ....	64
Figura 5-7: Orden de prioridad global – modelos de obsolescencia. ....	67
Figura 5-8: Gráfico de desempeño de las alternativas generales con respecto al eco-diseño. ....	69
Figura 5-9: Gráfico de desempeño de las alternativas correspondientes a la obsolescencia absoluta con respecto al eco-diseño. ....	70
Figura 5-10: Gráfico de desempeño de las alternativas correspondientes a la obsolescencia psicológica con respecto al eco-diseño. ....	71
Figura 5-11: Gráfico de desempeño de las alternativas correspondientes a la obsolescencia económica con respecto al eco-diseño. ....	71

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1-1: Comparación entre las principales escuelas de MCDA. ....	4
Tabla 3-1: Matriz de asignación de responsabilidades. ....	29
Tabla 3-2: Escala de comparación entre criterios.....	37
Tabla 3-3: Pesos globales de los sub-criterios por orden de prioridad. ....	40
Tabla 5-1: Orden de prioridad – Modelos de obsolescencia, segundo nivel de jerarquía.	65
Tabla 5-2: Orden de prioridad – Obsolescencia Absoluta. ....	66
Tabla 5-3: Orden de prioridad – Obsolescencia Psicológica. ....	66
Tabla 5-4: Orden de prioridad – Obsolescencia Económica.....	66
Tabla 5-5: Orden de prioridad global – modelos de obsolescencia. ....	67

# Lista de Símbolos y abreviaturas

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>ACV</i>	Análisis de Ciclo de Vida
<i>AHP</i>	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
<i>CE</i>	Comunidad Europea
<i>CfSD</i>	<i>Center for Sustainable Design</i>
<i>ENPD</i>	<i>Ecologic New Product Design</i>
<i>EU</i>	<i>European Union</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>LCA</i>	<i>Life-Cycle Assessment, Life-Cycle Analysis</i>
<i>LCC</i>	<i>Life-Cycle Cost</i>
<i>MCD</i>	<i>Multiple Criteria Decision Analysis</i>
<i>MCDM</i>	<i>Multiple Criteria Decision Making</i>
<i>MEErp</i>	<i>Methology for the Eco-design of Energy related Products</i>
<i>NPD</i>	<i>New Product Design</i>
<i>PAJ</i>	Proceso Analítico Jerárquico
<i>PNUMA/IMA</i>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Industria y Medio Ambiente
<i>RACI</i>	Matriz de asignación de responsabilidades
<i>RAEE</i>	Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
<i>RoHS</i>	<i>Restriction of use of certain Hazardous Substances</i>
<i>SLCA</i>	<i>Social Life Cycle Analysis</i>
<i>UNE</i>	Una Norma Española
<i>WBCSD</i>	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
<i>WEEE</i>	<i>Waste Electrical and Electronic Equipment</i>





# Introducción

Los niveles de crecimiento industrial y económico alcanzados durante el siglo XX fueron presuntamente artífices de la mejoría en la calidad de vida de la población mundial, bajo un mercado competitivo que incentivaba el consumo sin límite en un mundo con recursos limitados. Si bien tal concepción ha llevado a un desarrollo industrial sin paralelo en la historia de la humanidad, el uso desaforado y desmedido de los recursos naturales ha evolucionado hacia la crisis ambiental actual, que hoy después de cuatro décadas de disertación académica, es preocupación mundial.

La insostenibilidad del modelo industrial, si bien demostrada, no ha conllevado a un replanteamiento del mismo, aun con los acuerdos mundiales que buscan un desarrollo económico e industrial igualmente evolucionado pero sostenible, teniendo en cuenta los conceptos medio-ambiental y social. Tal es el desafío aceptado por las comunidades académicas, y que ha sido absorbido paulatinamente por el mercado, en un nuevo concepto denominado mercadeo verde. Dentro de éste, la re-concepción tanto de los procesos de producción como del impacto ambiental de los productos comercializados es necesaria, e involucra a todos los ámbitos abarcados en el mercado, en un nuevo concepto del ciclo de vida del producto. Esta visión adaptada al desarrollo de productos es conocida como eco-diseño, o diseño ecológico de nuevos productos, conceptos que superan ampliamente las prácticas de “final de tubo”.

Sin embargo dentro de la civilización industrial mencionada, existe una práctica que ha sido criticada por varios autores como deliberada para recortar el tiempo de vida útil de los productos, adelantando o influyendo en la obsolescencia del mismo, denominada “obsolescencia programada”, fuente según varios autores del desarrollo industrial y económico mundial, fundamento del desarrollo e innovación industrial, y concepto inherente a la producción en masa. Si bien el nuevo reto del mercado, involucrando tanto a productores como a consumidores implica de manera directa y explícita el ensanchamiento del tiempo del mercadeo, lo que no es otra cosa que el aumento del

tiempo de vida de los productos, tal fenómeno de obsolescencia le es diametralmente opuesto. Este concepto consta de mayor fundamento y es especialmente cierto en productos electrónicos, los cuales debido a su naturaleza y al comportamiento del mercado causan un mayor impacto ambiental durante todas las fases de su ciclo de vida que la mayor parte (si no todos) de bienes comerciales.

Entendiendo ésta paradoja, la presente investigación plantea como objetivos la ponderación de los factores clave relacionados a la durabilidad del eco-diseño de productos, mediante una previa caracterización teórica de los atributos y criterios del eco-diseño, seguida del análisis de los diferentes modelos y patrones de obsolescencia, identificados según su impacto y origen, para finalmente priorizar los diferentes patrones de obsolescencia con base en los criterios del eco-diseño de productos electrónicos.

Ahora bien, la determinación de introducir en el diseño de productos factores que reduzcan el impacto ambiental significa lograr una integración corporativa en torno al desempeño medio-ambiental, involucrando las áreas de ingeniería, administración y mercadeo, en búsqueda de una identidad organizacional que soporte los esfuerzos estratégicos tras el “Desafío Práctico” del mercadeo verde. Esto se obtendrá llevando a cabo un trabajo conjunto con diversas áreas como las mencionadas anteriormente. Debido al enfoque de múltiples áreas y varios puntos de vista, como metodología se usan análisis multi-criterio de decisión, los cuales hacen parte de la ya reconocida metodología MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*), como lo son el Proceso Analítico Jerárquico y la matriz de decisión.

El documento está estructurado de manera que en cada uno de los capítulos se aborde un objetivo individual de la investigación, iniciado con un capítulo introductorio cuya finalidad será el dimensionamiento de los diferentes conceptos que se tienen en cuenta a lo largo del trabajo, así como realizar un acercamiento a la metodología usada, la forma en la cual se relacionan la obsolescencia y el eco-diseño y el esbozo del proceso planteado para evaluar la relación descrita utilizando la metodología MCDA. Posteriormente se caracterizarán los conceptos del eco-diseño y se mencionarán las consideraciones especiales que se tienen en cuenta para el caso de los productos eléctricos y electrónicos, para así lograr la identificación de los atributos y criterios más relevantes del eco-diseño. Por otro lado se identifican, analizan, y relacionan los modelos

---

de obsolescencia para finalizar con el cálculo de la prelación global de estos patrones con respecto a los criterios ponderados del eco-diseño de productos electrónicos, además del análisis de susceptibilidad de cambio de los resultados conforme los cambios en el análisis inicial de los criterios del eco-diseño. Igualmente se plantea y aplica una nueva metodología que no solo minimiza el esfuerzo al aplicar la metodología descrita, sino que amplía los límites naturales de ésta, y disminuye los índices de inconsistencia resultantes.







# 1. El MCDA, el eco-diseño y la obsolescencia

Este primer capítulo tendrá como objetivo introducir los conceptos que se desarrollan a lo largo del trabajo, que son el eco-diseño y la obsolescencia, así como explicar el vínculo entre ambos que se ampliará y evaluará posteriormente por medio de metodologías de análisis de decisiones. El fundamento y aplicación del análisis de decisiones con múltiples criterios (MCDA) será descrito igualmente, y se comprenderá como se aplicará para relacionar el eco-diseño y los modelos de obsolescencia.

## 1.1 El MCDA

La teoría que permitirá relacionar al eco-diseño y la obsolescencia es un análisis de toma de decisiones con base en múltiples criterios. El MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*) es un término amplio que describe una colección de acercamientos formales que busca tomar cuenta explícita de múltiples criterios para ayudar a los individuos o grupos a la toma de decisiones que impliquen diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados (Belton & Stewart, 2002). El MCDA hace parte de un esfuerzo académico cuyo objetivo ha sido el de ayudar a los gerentes y líderes organizacionales a la toma de decisiones complejas, que no solo permite sino requiere la gestión de gran cantidad de información (Romero, 1993; Pomerol & Barba-Romero, 2000).

Formulada y establecida por la escuela europea, la metodología MCDA ha sido la noción para el desarrollo de modelos, algoritmos y aplicaciones en pro de resolver problemas de decisión de múltiples criterios. El MCDA se afianzó en la investigación de operaciones debido a su enfoque de múltiples puntos de vista y criterios, aun cuando no exista concordancia entre éstos, solucionando de ésta forma un problema clásico de la investigación de operaciones, que es la solución óptima a través de un solo criterio de evaluación (Lootsma, 1995).

Como alternativa a la escuela europea, Saaty (2008) estructuró la escuela americana con una base teórica diferente bajo el nombre de AHP (*Analytic Hierarchy Process*) o PAJ (Proceso Analítico Jerárquico), una teoría de medición de criterios intangibles que sin embargo comparte los mismos objetivos de la escuela europea. A continuación se exponen las diferencias y características principales de cada una de las escuelas (Roy & Vanderpooten, 1996).

**Tabla 1-1:** Comparación entre las principales escuelas de MCDA.

<b>Escuela Europea</b> (Roy & Vanderpooten, 1996).	<b>Escuela Americana</b> (Saaty, 2008)
<p><i>El concepto de Objetividad</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El conocimiento.</li> <li>• El Decisor y el Asesor</li> <li>• El análisis de preferencias es desarrollado por un ser humano.</li> <li>• La fuente de datos.</li> <li>• Factores culturales, pedagógicos y propios de las organizaciones que influyen en el éxito de la toma de decisión.</li> </ul> <p><i>Espíritu de Investigación</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de un modelo que no está completamente definido.</li> <li>• De la información recolectada a través de conceptos, axiomas, modelos, propiedades se debe extraer lo que sea realmente significativo.</li> </ul>	<p><i>Objetivo</i> :Descomponer una situación compleja y no estructurada en sus componentes</p> <p><i>Metodología:</i> Ordenamiento de la información mediante jerarquías.</p> <p>Realizar comparaciones binarias y atribuir valores numéricos a juicios subjetivos.</p> <p>Sintetizar juicios, agregando las soluciones parciales en una sola solución.</p> <p><i>Herramientas:</i> Escalas de Razón</p> <p><i>Facilidades:</i> Permite realizar un adecuado análisis de sensibilidad. Es un método bastante intuitivo en su aplicación, difícilmente manipulable.</p>

Fuente: Roy & Vanderpooten, The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works, 1996.

De los diferentes modelos existentes en la metodología MCDA, no existe ninguno que predomine sobre el resto, y cada uno de éstos cuenta con diferentes ventajas e inconvenientes, según el campo de aplicación (Moreno, 2002). El modelo escogido para el desarrollo del trabajo de investigación corresponde al propio de la escuela americana (Saaty, 1994; 1996) debido a su fundamento teórico y su exitosa aplicación en varias adaptaciones prácticas.



### 1.1.1 Elementos del MCDA

El análisis de decisiones con base en múltiples criterios cuenta con cuatro elementos básicos que se definen a continuación:

- **Decisores:**

Los decisores son los individuos que tienen la responsabilidad de emitir juicios con base en los cuales se tomará la decisión. Los juicios (y por ende los decisores seleccionados) deben reflejar conocimiento, emociones o sentimientos, dentro de un marco que muestre las fuerzas que afectan la decisión a tomar (Saaty, 2008; 1996). Se denomina experto al decisor que refleja en juicio conocimiento o experticia sobre el problema planteado.

- **Alternativas**

Las alternativas conforman el conjunto de soluciones al objetivo propuesto. El modelo debe contemplar un número finito de alternativas, que en la práctica pueden ser proyectos, estrategias, planes, etc., y que serán evaluadas por el grupo de decisores. Como características, las alternativas deben ser diferentes, excluyentes y exhaustivas (Pomerol & Barba-Romero, 2000).

- **Criterios y atributos**

Para decidir entre dos alternativas, son necesarias diferentes vías de evaluación, como por ejemplo precio, calidad y apariencia. Estas rutas de evaluación son conocidas como los atributos o características de las alternativas. Cuando a los atributos se les añade un mínimo de información relativa a las preferencias del decisor, se les denominan criterios (Pomerol & Barba-Romero, 2000). Los criterios de decisión constituyen los puntos de vista o parámetros que se utilizan para manifestar las preferencias del decisor. Con el fin de establecer los criterios de decisión, se desglosa el objetivo fundamental en objetivos de específicos más concretos (Saaty, 2008).

Los atributos pueden ser de dos tipos: Atributos naturales, que cuentan una escala asociada para medir las alternativas (escala natural, como unidades de medida, índices o porcentajes), y atributos subjetivos, utilizados cuando no es posible definir una escala natural de medición, como por ejemplo conceptos estéticos, de imagen o de percepción.

A su vez, cada atributo puede contribuir positiva o negativamente el cumplimiento del objetivo. Si lo favorece, se califica como un atributo a maximizar (como criterios de desempeño), en caso contrario se definiría como atributo a minimizar (como el costo de un proyecto).

- La matriz de decisión

Para cada uno de los atributos considerados en el modelo de decisión, el decisor debe evaluar cada una de las alternativas planteadas, bien sea numérica o simbólicamente. Con ésta información se conforma la matriz de decisión, que explica el desempeño de las diferentes alternativas con respecto a los atributos considerados (Pomerol & Barba-Romero, 2000). Existe una matriz de decisión para cada participante, y una matriz final donde se agrupan los criterios de los decisores. La matriz de decisión contiene información como el índice de inconsistencia de los juicios expresados, así como los pesos normalizados de cada uno de los criterios y alternativas.

### **1.1.2 El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)**

El Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*) es una metodología de Toma de Decisiones Multi-criterio, usada para la formalización del entendimiento intuitivo de problemas complejos mediante la construcción de una estructura jerárquica (Forman & Gass, 2001). Esta metodología es respaldada por un software que además de agilizar los procesos analíticos, permite la ejecución de análisis de sensibilidad de los juicios de las diferentes partes involucradas.

La metodología PAJ es una herramienta que hace parte del conjunto de metodologías de la teoría MCDA, y que ha sido usado en la mayor parte de las aplicaciones académicas relacionadas con la toma de decisiones (Vaida & Kumar, 2006). Contempla la construcción de la estructura jerárquica del problema, que permite el análisis de moderadas cantidades de información y tiene en cuenta el grado de consistencia de los juicios emitidos por diferentes expertos.

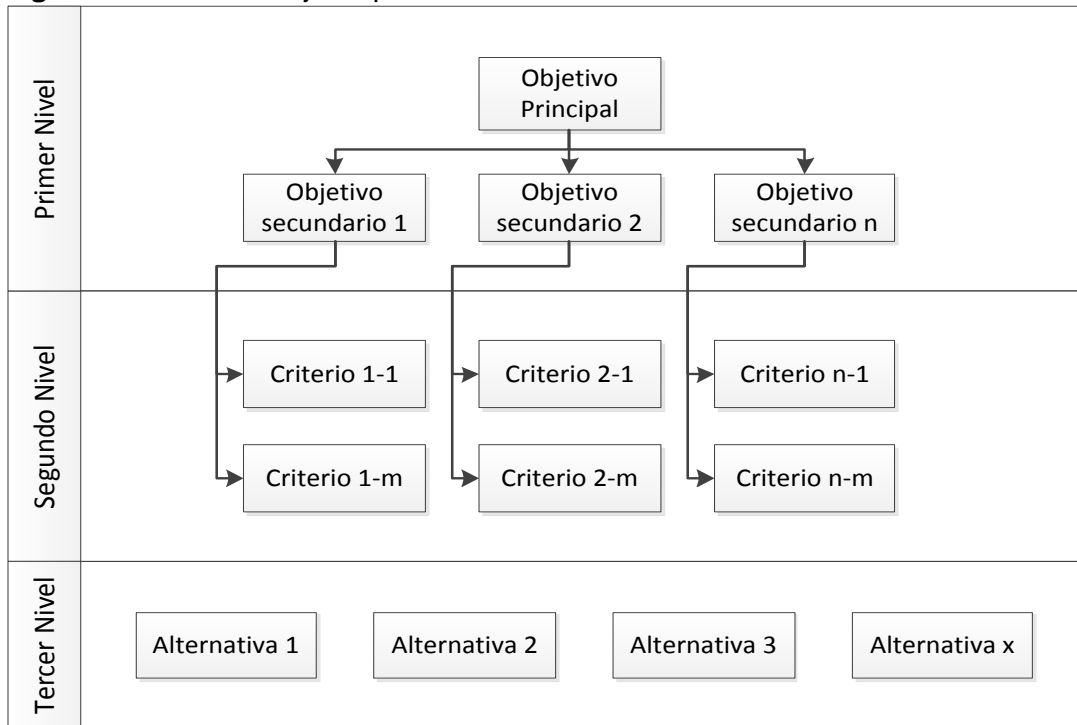
El PAJ se elige como la metodología a aplicar, por sobre otros métodos de MCDA igualmente válidos no solo debido a su fundamento científico, sino a que es fácilmente

comprensible, lo que facilita su aplicación en diferentes ambientes y con diferentes áreas del conocimiento sin necesidad de más apoyo técnico y conocimientos específicos que el del facilitador (Cortés, Garcia, & Aragonés, 2007).

Los fundamentos y especificación de la metodología se encuentran en Saaty (1994; 1996; 2008), Pomerol & Barba-Romero (2000) y Forman & Gass (2001) entre otros. Un ejemplo de su aplicación se encuentra en Cortés, Garcia, & Aragonés (2007).

### 1.1.3 La estructura jerárquica

Figura 1-1: Estructura jerárquica del PAJ.



Fuentes: Saaty, *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, 1994. Saaty, *Decision making with the analytic hierarchy process*, 2008.

La estructura jerárquica es simplemente la organización en tres niveles fundamentales de la descomposición del problema de decisión multi-criterio. En el primer nivel es necesaria la organización del objetivo principal del análisis de decisión, junto con objetivos secundarios o específicos. El tercer nivel agrupa las alternativas u opciones que permitan

alcanzar tanto el objetivo general como los objetivos subyacentes, y en el segundo nivel asocia un grupo de atributos o criterios que deben ser satisfechos para alcanzar los objetivos propuestos (Saaty, 2008; 1996; 1994).

## 1.2 El eco-diseño

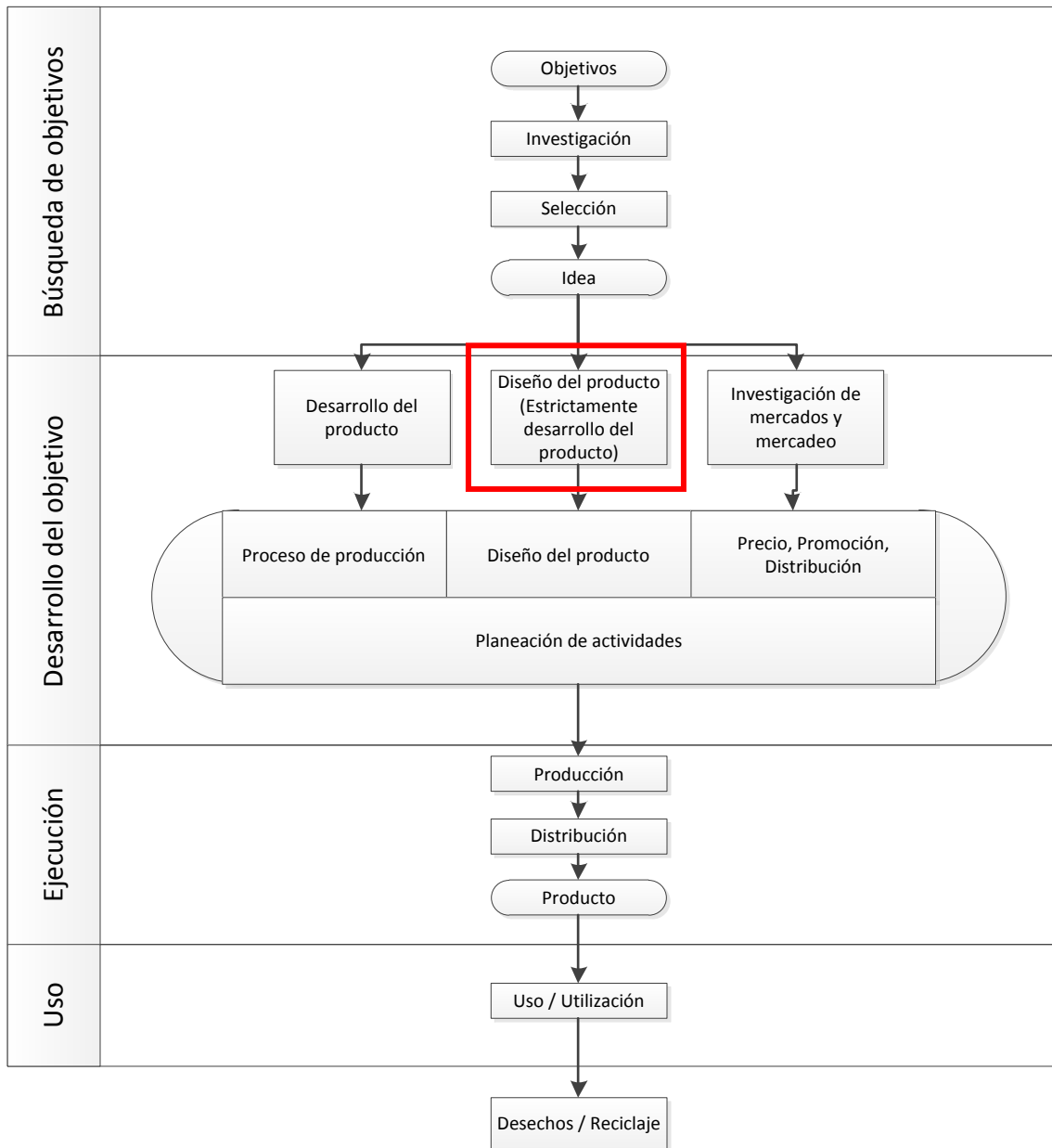
Como concepto atado a la rúbrica de sostenibilidad, el eco-diseño consiste el desarrollo de productos considerando las acciones que favorezcan la minimización del impacto ambiental, durante todas las etapas del ciclo de vida del producto (Ihobe, 2008; 2010). Parte fundamental del eco-diseño son los análisis de impacto ambiental, tales como el análisis de ciclo de vida (AVC) o el costo del ciclo de vida (*Life Cycle Cost*). Aun cuando éste tipo de análisis de impacto han traspasado las barreras de concepción medioambiental hacia ambientes ecológicos y sociales, el eco-diseño puede resumirse como simplemente la aplicación del ACV durante las etapas de diseño y desarrollo de productos (Ihobe, 2008; Adams, 2007; The Centre for Sustainable Design, 2002), para minimizar los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida.

Si bien el dominio del eco-diseño es el desarrollo del producto en sí mismo, su resultado afecta los procesos de mercadeo y de producción, así como la administración o gestión de la cadena de abastecimiento, la compra y el análisis de materiales y demás elementos del ciclo de vida del producto (ver Figura 1-2: Dominio del eco-diseño en el proceso de creación de nuevos productos).

El eco-diseño – como aplicación del análisis del ciclo de vida – cuenta con 6 etapas fundamentales que se nombran a continuación:

- Concepción inicial del sistema
- Análisis y selección de materiales y componentes
- Diseño del proceso de fabricación
- Análisis y desarrollo de logística y transporte
- Estudio del uso o utilización del producto
- Final del ciclo de vida del producto

**Figura 1-2:** Dominio del eco-diseño en el proceso de creación de nuevos productos.



Fuente: Adaptado de Eekels, J & Roozenburg, R., Ontwerpmethodologie, DUT, Delft, 1976, citado por Kemna (2011).

### 1.3 La obsolescencia

La obsolescencia se entiende como el concepto que explica la caída en desuso de los productos durables generalmente antes del final de su ciclo útil de vida. Como tal influye en por lo menos una de las etapas del análisis del ciclo de vida del producto, y por lo

tanto del eco-diseño. Sin embargo, existe un concepto denominado “obsolescencia programada”, definido como el proceso deliberado de recortar la vida útil de los productos (Coase, 1972; Packard, 1960). Este concepto no solo contradice la definición general de obsolescencia, sino que altera la percepción generalmente aceptada del ciclo de vida de los productos. Entendiendo la obsolescencia simplemente como el desuso del producto, numerosos autores la han clasificado y segmentado en diferentes tipos, según su origen, motivo e impacto en el ciclo de vida del bien comercializado.

A lo largo del trabajo se adopta la tesis de Swan (1972) y de Grout & Park (2005) según la cual todos los tipos de obsolescencia clasifican en el concepto de obsolescencia programada, al estar en todos los casos incluidos en el diseño del producto. De éste modo, los distintos patrones de obsolescencia clasificados según su origen, motivo e impacto en el ciclo de vida del producto los que serán evaluados como alternativas. Las palabras “modelo” y “patrón” serán utilizadas indistintamente al referirse a las distintas clasificaciones de obsolescencia programada.

A continuación se nombran algunos de los diferentes tipos de obsolescencia que serán utilizados como alternativas, y que se explicarán en detalle en el Capítulo 4:

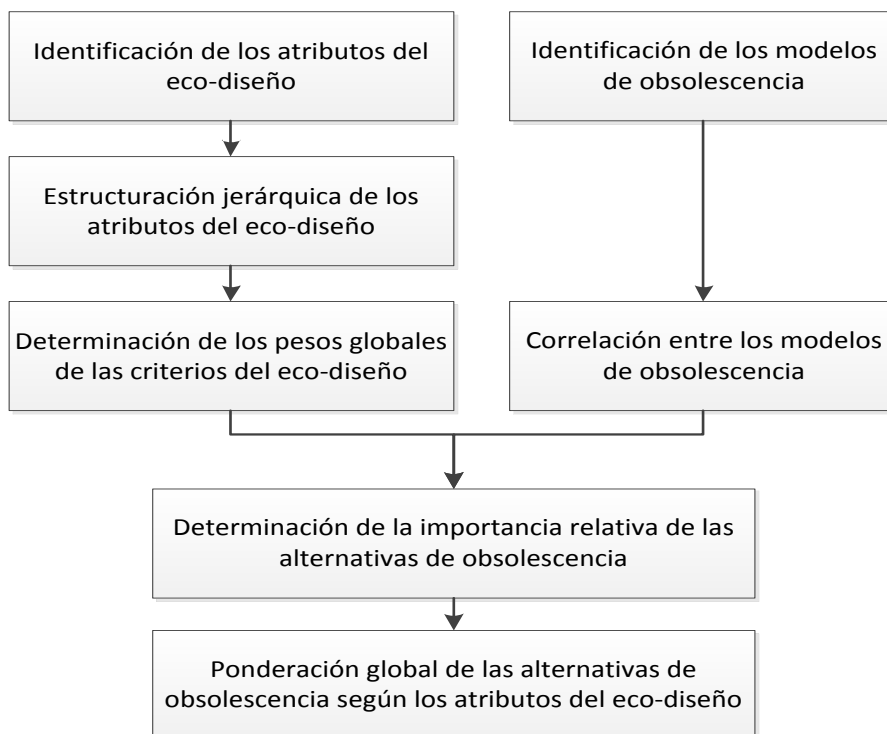
- Obsolescencia Económica
- Obsolescencia Psicológica
- Obsolescencia Absoluta
- Obsolescencia Funcional

## **1.4 La estructura jerárquica del eco-diseño y la obsolescencia**

Según los conceptos que se desarrollarán en el Capítulo 4, la obsolescencia está unida al desarrollo de productos no solo porque afecta tanto al final del ciclo de vida del artículo como también el proceso de recompra de los mismos, sino por ser un elemento que se introduce desde el diseño de los bienes. Al existir diferentes tipos de obsolescencia, se podrían tratar éstos como alternativas sobre las que un equipo de desarrollo – o los interesados de los diferentes niveles de la organización, como se verá en el Capítulo 3 – deberán decidir incluir en el diseño del producto.

La construcción de la estructura jerárquica del eco-diseño permite representar los diferentes atributos del mismo a lo largo del ciclo de vida del producto. Estas etapas concebidas en el análisis del ciclo de vida del producto – desde su creación en la etapa conceptual, hasta su tratamiento como desecho – serán los objetivos secundarios o específicos del objetivo principal que es el eco-diseño. Cada una de estas etapas se descompondrá en criterios, los cuales conformarán el segundo nivel de la estructura jerárquica, mientras los tipos de obsolescencia identificados configurarán el tercer nivel de la estructura, a manera de alternativas. De ésta forma, se establecerá cual es el modelo de obsolescencia más apropiado al tener en cuenta los atributos del eco-diseño en el desarrollo de un producto electrónico de una empresa importadora e integradora local, siguiendo el proceso que se diagrama en la Figura 1-3. Las características medioambientales y del producto se describirán en detalle en el Capítulo 3.

**Figura 1-3:** Proceso planteado para evaluar la relación entre obsolescencia y eco-diseño utilizando la metodología MCDA.



Fuente: Elaboración propia.









## **2.El eco-diseño de productos**

Una vez introducidos los elementos y la metodología que serán utilizados en el documento, en éste segundo capítulo se desarrollará el primer objetivo del trabajo, que es la caracterización mediante revisión teórica de los atributos y criterios del eco-diseño de productos. Para desarrollar éste objetivo se repasarán conceptos de sostenibilidad que desembocan en el eco-diseño, como los son la administración de productos y el análisis de impacto ambiental, en particular el análisis del ciclo de vida. Finalmente se mencionan las consideraciones especiales para los productos eléctricos y electrónicos a lo largo del ciclo de vida, y se culmina con la caracterización de los atributos del eco-diseño de productos eléctricos y electrónicos.

### **2.1 La administración de productos**

Tanto la producción en masa como el mercado de masas ocurridos en el siglo XX originaron un crecimiento económico que incentivó la competencia en los mercados, elemento que no solo dio origen a la formalización del mercadeo, sino a la presunción que la riqueza generada a partir del crecimiento económico mejoraría la calidad de vida de la población involucrada (Peattie & Charter, 2003), y que sin embargo ha sido también origen de la crisis ambiental actual.

El reto para el nuevo siglo es la búsqueda de formas más sostenibles y equitativas de producción y consumo, desafío aceptado por los gobiernos de la convención de Rio en 1992 (PNUMA/IMA, 1999). El concepto de sostenibilidad (económico, ambiental, social y ético) demanda grandes cambios tanto en la naturaleza del mercado como en demás funciones del negocio, debido a los problemas tanto ambientales como sociales derivados de la actividad comercial, a los cuales las teorías organizacionales no pueden hacer frente (Shrivastava, 1994).

Si bien el concepto de mercadeo verde tiene su origen en el marketing ecológico surgido durante la revolución social de los 70's (Hennison & Kinnear, 1976), el concepto de sostenibilidad se involucró en la década de los 90's, evolucionando al concepto de mercadeo verde existente hoy en día, que busca el estímulo y facilidad de consumo dentro del marco de la sostenibilidad (van Dam & Apeldoorn, 1996).

Peattie & Charter (2003) caracterizan el mercadeo verde desde todos los frentes con base en varias definiciones que involucran tanto a los *stakeholders* como a los conceptos fundamentales de su aplicación, y finalmente mediante una lista de desafíos que enfrenta el mercadeo verde, como lo son el desafío Filosófico, el Administrativo y el Práctico. El reto Práctico, definido con el “enverdecimiento” del marketing mix, cubre los conceptos de empaque, promoción, fijación de precios, logística, y etiquetado (*labelling*) de productos, mas sin embargo es dentro de éste desafío la administración de productos verdes el que define la concepción de una economía significativamente más “verde”.

La administración de productos verdes se define como la búsqueda de nuevas tecnologías y productos con bajo impacto ambiental, en lugar de buscar soluciones superficiales a los problemas ambientales y sociales mediante iniciativas de “final de tubo”. Tal implementación requiere la involucración total de la compañía caracterizada por altos niveles de integración y comunicación, información, consideración temprana de los problemas ambientales y un enfoque directo a indicadores y evaluación de productos, servicios y procesos (Pujari, Wright, & Peattie, 2002)

Las características del producto verde se clasifican en las dos categorías tradicionales del mercadeo. El producto básico o tangible, el cual se entrega al cliente y que involucra todos los aspectos físicos y dimensionales del mismo, incluyendo el empaque; y el producto aumentado que cubre las características restantes del servicio, características que definen al “producto total” (Peattie, 2005). Dentro del primer grupo, ha surgido en la administración de productos verdes el concepto clave del post-uso del producto. Dentro de tal, se han identificado cinco oportunidades de mejora, identificadas como las “cinco Rs”, cuya atención demanda el concepto de sostenibilidad:

- Reparación

- Reacondicionamiento
- Re-uso
- Reciclaje
- Re-fabricación

En los conceptos del producto total y el producto verde, es clave la noción de la vida útil y el ciclo de vida de los productos, concepto primordial dentro del mercadeo verde, cuya noción insiste en el desempeño del producto tanto antes de su adquisición como después de su uso (Peattie & Charter, 2003). Esta visión involucra la consideración del desempeño del producto por un periodo que puede llegar a ser de varios años, siendo de fundamental importancia para los productos durables, en donde ésta concepción de durabilidad toma un nuevo significado, debido a su implicación directa en la tasa de remplazo de productos. En concordancia, la longevidad de los productos como factor clave del diseño de productos “provee una ruta hacia el consumo sostenible, mientras mantiene una economía saludable” (Cooper T. , 2005).

## 2.2 Análisis de impacto ambiental

Desde el punto de vista medio-ambiental, el diseño de productos transcurre más allá de los principios básicos pero fundamentales de reciclaje, hacia la reducción en los materiales y los procesos. Diferentes análisis de impacto ambiental del producto como el análisis del ciclo de vida del producto (ACV, *Life-Cycle Analysis* o *Life-Cicle Assessment*, *LCA*) y su contraparte, el costo del ciclo de vida (LCC), así como el análisis social del ciclo de vida (SLCA) y demás análisis complementarios deben hacer parte del proceso de toma de decisiones, tomando en cuenta la vida física del producto y excluyendo el enfoque de mercadeo tradicional que tan solo tiene en cuenta el ciclo de vida útil (Kloepffer, 2008).

No son pocas las empresas que han empezado a usar éste tipo de mecanismos de análisis para el desarrollo y el diseño de los productos, quienes los combinan con los tradicionales análisis econométricos, pero no muchas consideran los factores exógenos y relativos al proceso dentro de la toma de decisiones. Sin embargo, existe una relación directa entre el tipo de bien que producen las empresas (durable, no durable), el sector al que pertenecen y el tamaño de las mismas con las preocupaciones ambientales, y por

tanto con los procesos concernientes al eco-diseño (Hunkeler & Vanakari, 2000). La aplicación real de éste tipo de medidas depende de otros factores que no siempre son fáciles de determinar, tales como el valor agregado del producto final, los costos asociados, y la disponibilidad de información.

Por el otro lado, y teniendo en cuenta todas las consideraciones necesarias para el diseño ambiental de productos, nace un concepto relacionado sobre el desarrollo ecológico de nuevos productos (ENPD), que no tiene en cuenta el desempeño ambiental de los productos restringido a las propiedades del mercado, sino que integra el desempeño en el mercado con el desempeño ambiental. Al contrario de los costos reales del LCC y el LCA, que involucran variadas restricciones a la empresa (Schmidt, 2003), se encuentra que existen empíricamente más concordancia que conflictos entre los paradigmas de diseño y desarrollo tradicional y el ambiental (Pujari, Wright, & Peattie, 2003).

Partiendo de la aproximación al “Desafío Práctico” del mercadeo verde, se perfila el eco-diseño de productos como el punto de encuentro entre los paradigmas de diseño y desarrollo de productos tradicional y ambiental. El eco-diseño de productos tiene varias características fundamentales y básicas, entre las que se encuentran consideraciones en el uso de sustancias tóxicas, la facilidad para ser reciclados y la durabilidad (World Business Council for Sustainable Development, 2000). Sin embargo, las expectativas de los consumidores por mejoras a los productos durables, y la falta de preocupación de los mismos hacia las causas ambientales son los principales problemas que enfrenta el desarrollo ecológico de productos (Guiltinan, 2008).

## **2.3 Eco-diseño**

A partir del concepto del desarrollo sostenible, las comunidades académica e industrial han adoptado distintas metodologías para su consecución. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), método por el cual se determina el impacto ambiental de los productos (PNUMA/IMA, 1999) ha sido quizá el más difundido a nivel mundial, al ser una metodología de índole internacional en el marco de gestión ambiental del estándar ISO 14000.

De acuerdo a la norma UNE 150050, se define el Ciclo de Vida como:

*“... las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales, hasta la disposición final”.*

La adopción de la metodología LCA por parte de la sociedad industrial demarca el cambio hacia el desarrollo sostenible, un cambio en el consumo y producción del mercado (Ihobe, 2010). El eco-diseño es simplemente la aplicación de ésta metodología durante las etapas de diseño y desarrollo de productos (Ihobe, 2008; Adams, 2007; The Centre for Sustainable Design, 2002), cuyo objetivo es el de minimizar los impactos ambientales del producto a lo largo de todo el ciclo de vida. Más allá de las consideraciones ecológicas, el eco-diseño de productos es fundamental para la consecución de etiquetado ambiental y el ingreso a mercados estrictos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2009; The Centre for Sustainable Design, 2002), así como ayuda a la minimización de costos reduciendo los materiales, procesos y energía necesarios, así como en la reducción de desechos (Ihobe, 2008), oportunidades abiertas no solo a fabricantes, sino a la comunidad en general.

Además de los beneficios ambientales que ofrece el eco-diseño, también ofrece oportunidades reales a las empresas de mejora hacia la imagen, mercado y desempeño, sobre todo en el desarrollo de nuevos productos (The Centre for Sustainable Design, 2002). El eco-diseño ofrece alternativas que posicionan a las empresas y a la comunidad en general de frente a oportunidades de mejora sustanciales de imagen, mercado y desempeño. Sin embargo estas oportunidades tienen cabida en el diseño y desarrollo de nuevos productos (NPD), más que en productos ya existentes (The Centre for Sustainable Design, 2002).

El proceso de desarrollo de nuevos productos, regido bajo el marco del eco-diseño, sigue los pasos del análisis del ciclo de vida del producto (Ihobe, 2008; Adams, 2007; The Centre for Sustainable Design, 2002), además de la natural concepción inicial del elemento a desarrollar, dependiendo éstos últimos tanto de la compañía como del producto. De tal forma, un análisis de ciclo de vida completo debe incluir:

1. Obtención, origen y tratamiento de las materias primas requeridas.
2. Procesos y elementos asociados a la fabricación del producto.
3. Distribución y empaque de los productos, junto con los recursos y medios asociados.
4. Los aspectos medioambientales relacionados al uso del producto por parte del consumidor.
5. El final del ciclo de vida del producto y su disposición final.

En la concepción del producto se incluye también la delimitación de las características medioambientales que rodearán la operación del producto (Ihobe, 2008; Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2009).

El eco-diseño de productos es funcional y efectivo siempre y cuando “no se trate como un ejercicio individual, sino como parte del enfoque administrativo ambiental” (The Centre for Sustainable Design, 2002). En conformidad, si bien el diseño del producto es independiente de los recursos y medios de distribución y empaque, como parte del LCA es complemento fundamental del eco-diseño la administración o gestión de la cadena de abastecimiento, consideración especialmente importante tanto en las firmas integradoras como en las distribuidoras.

## **2.4 Consideraciones especiales para productos eléctricos y electrónicos**

Dentro de los diferentes tipos de productos, los de carácter eléctrico y electrónico llaman en particular la atención en la comunidad general en cuanto al desarrollo sostenible se refiere. Más allá de las consideraciones generales de eco-diseño requeridas por los demás tipos de productos, los productos eléctricos y electrónicos tienden a llamar más poderosamente la atención de las autoridades ambientales debido a sus procesos de producción, uso y descarte, principalmente.



### **2.4.1 Etapa de producción**

Los procesos de fabricación tienden a incluir diferentes tipos de materiales y componentes, muchos de los cuales resultan ser tóxicos o peligrosos tanto para la salud de los humanos como de los animales y del medio ambiente en general. A la vez, la diversificación y especialización de los componentes y subsistemas usados puede apoyar los procesos de recuperación y re-uso de los mismos, motivo por el cual se encuentra una oportunidad real de cara al ambiente.

### **2.4.2 Etapa operativa, de uso o utilización**

La necesaria utilización de energía por parte de este tipo de productos es el motivo fundamental de la consideración durante el consumo del mismo, sin tener en cuenta demás consumibles necesarios para su funcionamiento. Los productos electrónicos, en consideración de la Directiva 2009/125/CE (Directiva de establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía):

*“...representan una gran proporción del consumo de recursos naturales y de energía y tienen otros impactos importantes en el medio ambiente. ...En interés del desarrollo sostenible, debe fomentarse la mejora continua del impacto medioambiental general de estos productos, especialmente mediante la determinación de las principales fuentes de impacto medioambiental negativo y evitando la transferencia de contaminación...”.*

En la perspectiva global respecto del desempeño medioambiental, esta transferencia de contaminación incluye externalidades del proceso tales como el uso del agua, la emisión de gases de efecto invernadero y demás desechos y emisiones inherentes a los procesos de generación de electricidad, así como contribuyentes del cambio climático. La reducción de los costes relacionados al consumo de energía favorece el uso sostenible de recursos, más allá del desempeño medioambiental y económico propio del producto.

### **2.4.3 Etapa de final del ciclo de vida**

El periodo del final del ciclo de vida no es importante y diferencial en éste tipo de productos únicamente por la contaminación potencial generada por las sustancias

peligrosas existentes en estos, sino que los ciclos de vida de los bienes se ve recortado conforme al paso del tiempo. Tal fenómeno incentiva la tasa de remplazo de productos a un nivel donde el mismo proceso de disposición final de componentes es preocupante.

Si bien diversas medidas deben ser tomadas, se ofrece una oportunidad única en cuanto a la reducción de la contaminación y de desechos relacionados, otorgando oportunidades de recuperación de componentes y materiales que incentivan el re-uso y reciclaje de estos elementos, mejorando el desempeño ambiental de todos los involucrados.

#### **2.4.4 RAEE**

El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea disponen de la directiva europea relacionada a los desechos de equipos eléctricos y electrónicos (WEEE), en español conocida como RAEE (Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos), mediante la cual se exige a los fabricantes incluir información tanto para los consumidores como para los centros de reciclaje y recuperación de materiales en cuanto a la disposición final del producto (The Centre for Sustainable Design, 2002; Adams, 2007; Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2012).

La Directiva 2012/19/CE nace del permanente interés de la Unión Europea con respecto a una de las mayores fuentes de contaminación, que es la de productos electrónicos. Tal fuente es respaldada por el continuo decrecimiento del tiempo de vida de los productos, procesos de obsolescencia que obligan a dar un tratamiento especial a los recursos relacionados a los equipos eléctricos y electrónicos.

Las condiciones que favorezcan la reutilización y el reciclaje materiales, componentes y aparatos completos, y que faciliten el des-ensamblaje de sistemas y la separación de componentes (recuperación) mediante son materia básica de la directiva, así como el apoyo a los procesos de re-uso de materiales y componentes, en tres frentes fundamentales:

- Información del diseñador sobre los procesos de fabricación del producto.

- Información para el consumidor acerca de las características ambientales del producto, así como instrucciones y recomendaciones de instalación, uso y mantenimiento que permitan disminuir el impacto ambiental.
- Información para las plantas e instalaciones de tratamiento en cuanto a los procesos de desensamble, reciclaje y disposición final de los desechos resultantes.

Si bien la directiva se concentra únicamente en el problema latente de la contaminación de los desechos electrónicos, es fundamentada y apoyada por la directiva de sustancias peligrosas (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2003) y la directiva relativa al eco-diseño de productos relacionados a la energía (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2009), con el fin de procurar el bienestar social y ambiental, en particular en cuanto a la prevención del daño ambiental.

#### **2.4.5 Restricción de uso de sustancias peligrosas**

Se encuentra como el complemento del Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea a la directiva de desechos eléctricos y electrónicos (WEEE), y ambas afectan de manera directa al sector eléctrico y electrónico. Más allá de procurar por el re-uso, recuperación y reciclaje de componentes y materiales de éste tipo de productos, la directiva 2002/95/CE restringe el uso de sustancias peligrosas en productos eléctricos y electrónicos (Adams, 2007; The Centre for Sustainable Design, 2002; (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2003).

RoHS (*“Restriction of use of certain Hazardous Substances”*) restringe el uso de 6 sustancias peligrosas tanto para el medio ambiente como para la sociedad en los procesos de fabricación de equipos eléctricos y electrónicos. La minimización de éste tipo de sustancias supone impedir que terminen acumulándose en los rellenos y basureros, de manera que no representen riesgos para la salud humana, animal, ni el medio ambiente en general. El alcance de la norma afecta tanto a los fabricantes como a los integradores, vendedores y revendedores de productos eléctricos y electrónicos, incluidos exportadores e importadores.

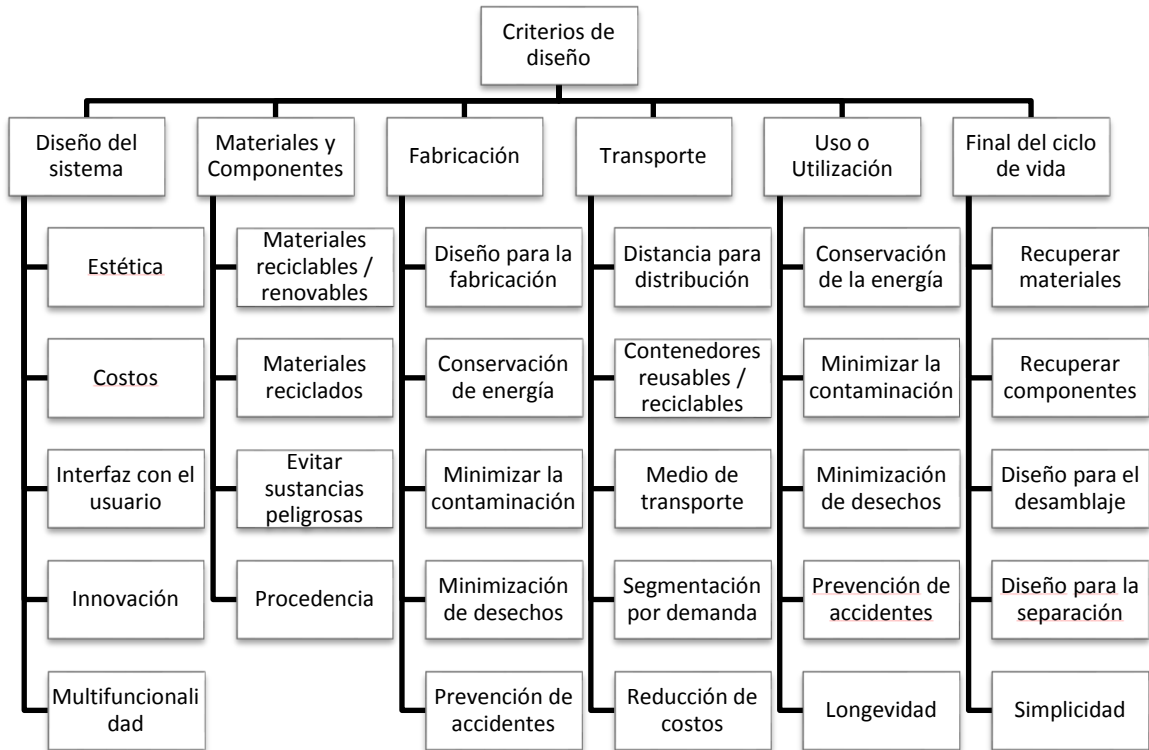
Si bien las directivas mencionadas tienen vigencia legal únicamente en la Unión Europea, la naturaleza de la industria y la necesidad de competitividad en los mercados abiertos sugieren el trato de estándares mundiales. Siendo los marcos legales mayormente definidos en cuanto a las consideraciones sociales y medioambientales, estos parámetros y definiciones se usan a manera de complemento para el análisis completo del ciclo de vida de los productos, base fundamental del eco-diseño de productos.

## **2.5 Características y atributos del eco-diseño**

Siguiendo el lineamiento anteriormente descrito, las características o atributos del eco-diseño de productos se muestran en la estructura jerárquica presentada en la Figura 2-1: Características del eco-diseño. La estructura está basada en las características descritas por The Centre for Sustainable Design (2002) y mencionadas en las guías de Adams (2007) para productores, integradores y distribuidores de productos y sub-sistemas electrónicos, complementada por las guías de eco-diseño y gestión ambiental de la Sociedad Pública del Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio Vasco (Ihobe, 2010; Ihobe, 2008), y las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto al diseño ecológico de productos relacionados con la energía (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2009), desechos de equipos eléctricos y electrónicos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2012) y restricción del uso de sustancias peligrosas en productos eléctricos y electrónicos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2003). Se reflejan en la estructura no únicamente los 5 elementos del análisis del ciclo de vida, sino también la concepción y el diseño del sistema en sí mismo.

En cada uno de los niveles puede existir un interés diferente particular a cada uno de los involucrados en el proceso correspondiente.

**Figura 2-1:** Características del eco-diseño.



Fuente: Elaboración propia con base en The Centre for Sustainable Design (2002), Adams (2007), Ihobe (2010; 2008), Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2003; 2009; 2012).



## **3. Ponderación de las características medioambientales del eco-diseño**

Ya identificados los atributos del eco-diseño de productos en sus diferentes etapas, se procederá a la identificación de los atributos y criterios más relevantes del diseño ambiental de productos, correspondiente al segundo objetivo del trabajo. Para desarrollar éste objetivo se revisará la estructura jerárquica que permitirá realizar la priorización de las características medioambientales del eco-diseño, seguida de una definición de las variables en torno a las cuales se llevará a cabo la priorización. Finalmente se ponderarán los atributos medioambientales del eco-diseño, previo un desglose de la selección de éstos criterios en sus distintos niveles de jerarquía.

### **3.1 Aplicación del PAJ**

Debido al enfoque de múltiples áreas del conocimiento y varios puntos de vista, como metodología se usa el proceso analítico jerárquico (PAJ) para llevar a cabo un análisis de decisión multi-criterio. Este proceso demuestra su validez en la investigación de operaciones debido a su rango de aplicaciones tanto teóricas como prácticas (Lootsma, 1996).

La priorización de los atributos medioambientales referentes al eco-diseño mostrados en la estructura jerárquica desglosada en la Figura 2-1: Características del eco-diseño se llevará a cabo mediante el método PAJ de MCDA propuesto por Saaty (1994), método que “persigue ayudar a los individuos o grupos a tomar decisiones que implican diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados” (Cortés, García, & Aragonés, 2007).

Las estructuras jerárquicas definidas en la Figura 2-1: Características del eco-diseño y la Figura 3-1, están compuestas por dos niveles de jerarquía, según la clasificación de los

atributos en el eco-diseño. En el primer nivel se encuentran los fundamentos del análisis del ciclo de vida, así como la concepción y definición del diseño del producto. El segundo nivel de jerarquía corresponde a los atributos del eco-diseño, los cuales conforman los criterios que se priorizarán en el análisis presentado seguidamente.

La priorización de los criterios y sub-criterios (segundo y tercer nivel de jerarquía en la estructura jerárquica, respectivamente) se lleva a cabo mediante la determinación de la importancia relativa de cada uno de éstos a juicio del decisor, y en conformidad del objetivo planteado. Para llegar a la determinación de cada uno de estos pesos, se aplicó un cuestionario basado en la escala de comparación pareada descrita por Saaty (1994) (ver Anexo A) a un panel de expertos en eco-diseño y diseño de nuevos productos.

### **3.1.1 Grupo de expertos**

Para la priorización de las características o atributos medioambientales del eco-diseño del producto básico, se contó con un panel de expertos cuidadosamente seleccionado. El proceso de selección nace de la misma definición del producto objetivo, así como de la matriz de asignación de responsabilidades RACI (iniciales de Responsable, Aprobador, Consultado e Informado) para la gestión ambiental de la oferta de productos. El modelo de la matriz de responsabilidades presente en la guía para el desarrollo de la norma de eco-diseño UNE 150301:2003 de la Sociedad Publica del Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio Vasco (Ihobe, 2010) es adaptado a las características de la compañía, a los *stakeholders* y a los requerimientos de la investigación. La matriz final se muestra en la Tabla 3-1: Matriz de asignación de responsabilidades.

Según la definición de los roles descritos en la matriz de responsabilidades RACI, se detallan estos así:

- Responsable (Responsable de la ejecución): Alguien que desempeña una tarea determinada. Para cada tarea en un proceso existe normalmente un rol responsable de su ejecución.



- Aprobador (Responsable del trabajo en conjunto): Alguien que asume la responsabilidad conjunta final por la correcta y completa ejecución de un proceso y que recibe las informaciones de los responsables de la ejecución del proceso.
- Consultado: Alguien que no está implicado directamente en la ejecución de un proceso, pero que da algún tipo de entrada para el proceso y/o al cual se pide su consejo y opinión.
- Informado: Alguien que recibe las salidas de un proceso o a quien se informa de los avances del proceso.

**Tabla 3-1:** Matriz de asignación de responsabilidades.

	Responsable del medio ambiente	Responsable de compras	Responsable de logística y transporte	Responsable de diseño y desarrollo	Dirección de la empresa
Identificación de aspectos ambientales de materiales	R	C		C	
Identificación de aspectos ambientales del transporte	R		C	C	
Identificación de aspectos ambientales de uso	R			C	
Evaluación de aspectos ambientales del producto	R		C		I

Fuente: Ihobe, Guía para el desarrollo de la norma de ecodiseño UNE 150301:2003 (base de ISO 14006), 2010.

De conformidad, los expertos participantes en el proceso de análisis de decisión multi-criterio, *stakeholders* y conocedores del producto objeto de estudio, cuentan con los siguientes títulos:

Experto A: Ingeniera química. Especialista en gestión ambiental. 12 años de experiencia en desarrollo sostenible, eco-eficiencia de procesos, eco-diseño de procesos y productos. Experto en calidad de consultor, asesor.

Experto B: Ingeniero electrónico. Líder de investigación, diseño y desarrollo. 3 años de experiencia en diseño de productos. Experto en calidad de diseñador, importador, fabricante.

Experto C: Diseñadora Industrial. Magister en medio ambiente y desarrollo. 5 años de experiencia en eco-diseño de procesos y productos, responsabilidad social empresarial. Experto en calidad de consultor.

Dentro de los tres expertos participantes se recogen las exigencias tanto de Consultor como de Responsable. En el caso del estudio no se manifiesta el rol del Informado dentro del grupo de decisores debido a su misma naturaleza, dado que la comunicación con éste rol es puramente unidireccional, lo cual no significa que no haya sido tenido en cuenta para el estudio.

En el panel de expertos participantes se incluyen tanto expertos externos a la compañía, para de ésta forma articular de mejor manera los conceptos del eco-diseño, como expertos funcionarios de la compañía para reflejar así los intereses de la firma en el diseño de productos, y de ésta forma relacionar cabalmente al eco-diseño con la obsolescencia programada. Si bien hoy día se refiere en la literatura académica que la "voz del ambiente" es particularmente articulada en el eco-diseño de productos a través de la integración de *stakeholders* externos a las firmas, en especial aquellos que no tienen intereses económicos asociados al actuar de la misma, el impacto sobre los resultados y la sensibilidad de los mismos al no tener en cuenta de forma explícita éste tipo de decisores es mínimo, al tener en cuenta las características de los consultores externos a la compañía, debido a que se contemplan de manera independiente y prácticamente exclusiva la ponderación de los aspectos medioambientales del producto.

## **3.2 Definición del marco de estudio**

Si bien en la estructura jerárquica presentada en la Figura 2-1: Características del eco-diseño muestra de manera global las características y atributos del eco-diseño, es necesario delimitar el rango de producto de los cuales se piensan priorizar las características medioambientales durante la etapa de diseño y concepción.

Así mismo, de ésta definición se desprende la caracterización segmentación y selección del perfil de expertos participantes para la metodología MCDA. El grupo de expertos conformado evaluará los atributos de eco-diseño relacionados en la estructura jerárquica,

de los cuales se obtendrán las características de evaluación y la estructura jerárquica final.

### **3.2.1 Definición del producto objetivo**

Dentro de los diferentes tipos de productos, los de carácter eléctrico y electrónico llaman en particular la atención dadas las oportunidades reales de mejora de cara a un desarrollo sostenible. El impacto ambiental de éste tipo de bienes puede ser mejorado de conformidad a las características tratadas en el capítulo anterior de manera que no solo se encuentran beneficios durante su utilización, sino durante todo el ciclo de vida del producto y el ciclo de vida de los correspondientes consumibles, contando entre ellos de manera primigenia a la energía.

Sin embargo, para una primera etapa de implementación de la investigación, se requirió limitar y priorizar los subtemas, de manera que se focalicen en el producto básico, de acuerdo al diseño del sistema, los materiales y componentes usados, la etapa de uso o utilización y el final del ciclo de vida. Tal delimitación más estrecha se evaluó con el grupo de expertos participantes con el fin de lograr la estructura final mostrada en la Figura 3-1. Si bien el eco-diseño enmarca todo el ciclo de vida del producto total, éste proceso enfocado únicamente al producto básico es una visión particular que tiene en cuenta de manera especial el punto de vista del consumidor, al no tomar en cuenta las consideraciones de transporte, embalaje y el proceso fabricación.

Tales características medioambientales serán evaluadas en sistemas de control de acceso – controles automatizados de entrada y salida con diferentes tecnologías – de una empresa de servicios de seguridad electrónica ubicada en Bogotá, Colombia.

- **Sistemas de control de acceso e identificación**

Los sistemas de control de acceso son un conjunto de dispositivos electrónicos, mecánicos y de software que restringen la apertura de puertas, talanqueras y demás medios de acceso a diferentes tipos de instalaciones. Éste tipo de sistemas de seguridad controla el paso tanto vehicular como peatonal mediante diferentes tipos de tecnologías, tales como lectura de biometría e identificación de etiquetas de radiofrecuencia.

Si bien los sistemas de control de acceso e identificación cuentan con elementos tanto de software como de hardware, se evaluarán únicamente los componentes electrónicos que permiten tanto la identificación vehicular y peatonal, como el control de los sistemas mecánicos que conceden la apertura de puertas y talanqueras.

La empresa se caracteriza por su cualidad tanto de importador como de integrador de éste tipo de componentes electrónicos, así como el usar mayoritariamente la modalidad de leasing, no la venta directa al consumidor final. La escogencia de éste tipo de productos se debe principalmente a la calidad arriba descrita de la firma, además de que son productos electrónicos que cumplen con las características anteriormente mencionadas, la facilidad de conseguir información de los productos y de obtener la participación de los expertos de acuerdo a la matriz de responsabilidades planteada, y la capacidad de evaluación de los criterios medioambientales descritos en la Figura 3-1.

### **3.2.2 Definición de criterios medioambientales para productos básicos**

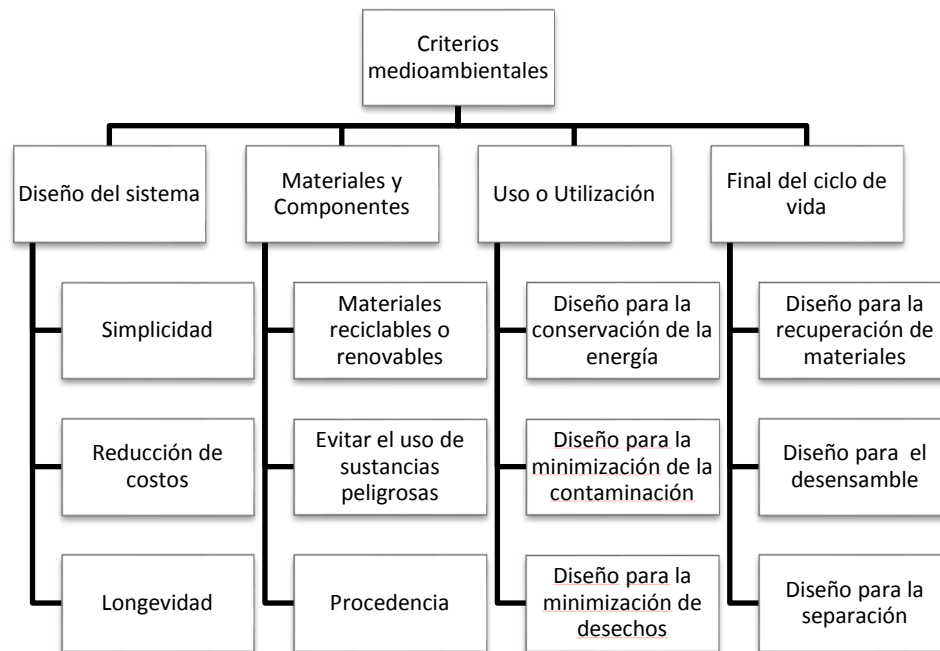
Aunque la estructura jerárquica presentada en la Figura 2-1: Características del eco-diseño resulta ser una aproximación completa del sistema de estudio, resulta ser compleja por el número de criterios que propone, por lo cual se ajusta la estructura jerárquica a los criterios más importantes de acuerdo al juicio de los expertos participantes.

Según Chang (2011), ni la innovación ni la gestión ambiental en procesos crean valor para la compañía si no existe un reflejo de éstos sobre los bienes comercializados. En conformidad, la importancia del eco-diseño con respecto a otras metodologías o procesos que persigan la sostenibilidad, recae en la manera explícita en que afecta al producto en sí, más que ser una metodología que afecte los procesos de producción o distribución, aun cuando sea el eco-diseño cercanamente relacionado a estas (The Centre for Sustainable Design, 2002).

Pensada únicamente en el caso del producto básico, y con especial atención en la perspectiva del consumidor sobre el producto, en la Figura 3-1 se observa la estructura jerárquica de los criterios de eco-diseño de los productos básicos. Las consideraciones

de embalaje y el proceso fabricación no son tomadas en cuenta, mientras que los atributos de transporte y distribución son reducidos a los directamente concernientes a las características del diseño mismo del producto básico. Esta decisión está basada en la importancia y utilidad de los diferentes aspectos del análisis del ciclo de vida de los productos según el reporte final de la Metodología para el Eco-diseño de Productos relacionados con Energía “MEErP” (Kemna, 2011), según la cual las etapas de producción, transporte y distribución son relativamente poco útiles e importantes en comparación al uso o utilización de los productos – teniendo en cuenta tanto al producto como su impacto en el ambiente – y el final del ciclo de vida.

**Figura 3-1:** Criterios medioambientales del producto básico.



Fuente: Elaboración propia, con base en la Figura 2-1.

Nótese cómo en la Figura 3-1 se utiliza la palabra *criterio* para definir los elementos presentes en la misma, a pesar de ser una selección de los *atributos* definidos en la Figura 2-1. De acuerdo a la nomenclatura usada en el MCDA, al incluir el juicio de los expertos a los atributos identificados, se está hablando de un criterio de evaluación, y no de un atributo. Por ende, la selección de los elementos presentada corresponde a la estructura jerárquica de los criterios medioambientales del eco-diseño de productos, que será la base de la aplicación de la metodología. Se pueden definir de igual modo como

criterios a los elementos que componen el último nivel de jerarquía de la estructura, y atributos a aquellos que conforman el segundo nivel, que serían una generalización de los elementos del último nivel, además de no estar influenciados por el juicio de los decisores.

### **3.3 Selección de criterios**

Durante las reuniones de contextualización y definición previas a la aplicación formal de la metodología MCDA, el grupo de expertos aceptó, modificó y validó la estructura jerárquica inicial, de modo que fue finalmente avalada y considerada pertinente por los decisores. Durante las mismas sesiones se acordó la reducción de los atributos medioambientales a los relacionados en la Figura 3-1, en concordancia con el informe del “MEErP”.

A continuación se presenta una breve definición de cada uno de los criterios planteados en la estructura jerárquica.

#### **3.3.1 Criterios del primer nivel de jerarquía**

En el primer nivel se encuentran los fundamentos del análisis del ciclo de vida (ver capítulo 2), así como la concepción y definición del diseño del producto.

1. **Diseño del sistema:** Reúne las características de operación del sistema que influyan sobre las características medioambientales en el entorno, así como su concepción inicial. Incluye consideraciones respecto a las dimensiones físicas, el tiempo de vida útil y el diseño modular del producto.
2. **Materiales y componentes:** Incluye la selección y el uso de las materias primas y los componentes requeridos para la fabricación del producto. Los procesos de transporte de los mismos, así como el embalaje y demás auxiliares son incluidos.
3. **Uso o Utilización:** Involucra las consideraciones medioambientales de la operación del producto durante su etapa de utilización. Incluye la instalación, mantenimiento y uso del producto, así como el uso de energía y los recursos necesarios para su operación y la cantidad, naturaleza y transporte de los consumibles requeridos. La contaminación (en forma de ruido, vibración,

radiación y campos electromagnéticos) y emisiones (al aire, tierra, agua) generadas por el producto son también tomadas en cuenta.

4. Final del ciclo de vida: El final del ciclo de vida del producto reúne las características que se deben tener en cuenta en el momento del diseño y desarrollo del mismo para facilitar la correcta disposición final de los materiales y componentes que lo conforman.

### **3.3.2 Criterios del segundo nivel de jerarquía**

El segundo nivel de jerarquía corresponde a los atributos del eco-diseño.

1. Con respecto al diseño del sistema:
  - a. Simplicidad: Utilizar un diseño modular, reduciendo la complejidad de los ensambles y empaques, minimizando las partes del producto y usando partes comunes en diferentes modelos y diseños. Favorece la incorporación de componentes usados.
  - b. Reducción de costos: Significa la reducción de los costos a lo largo del ciclo de vida, mediante la reducción de los materiales usados y el peso de los mismos. La reducción de las dimensiones físicas, el uso de materiales más livianos, empaques más delgados y el uso de documentación electrónica reduce el impacto ambiental durante las etapas de producción, transporte y distribución y el final del ciclo de vida.
  - c. Longevidad: El impacto ambiental del producto es reducido al aumentar el ciclo de vida del mismo. La calidad del producto debe garantizar una vida útil superior. La longevidad se refiere a su vez a las posibilidades ofrecidas para actualizar o reparar el producto, así como a su posibilidad de ingreso a segundos mercados.
2. Con respecto a los materiales y componentes:
  - a. Uso de materiales renovables o reciclables: La especificación del uso de materiales reciclables, reciclados y/o renovables donde sea posible contribuye a disminuir el impacto ambiental de los productos, al favorecer la recuperación de materiales y componentes.
  - b. Evitar el uso de sustancias peligrosas: Evitar el uso de sustancias contaminantes y/o tóxicas en la fabricación del producto, tales como etiquetas,

adhesivos y polímeros poco compatibles. De conformidad a la directiva del Parlamento Europeo, la minimización de sustancias peligrosas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) evita riesgos para la salud humana, animal y el medio ambiente en general.

- c. Procedencia de los materiales y/o componentes: De la manera que sea factible, incluye la evaluación de los procesos productivos, los residuos generados, la energía consumida para la obtención de los materiales.
3. Con respecto al uso o utilización:
    - a. Diseño para la conservación de energía: Reducir el uso de energía durante la etapa de operación del producto, bien sea en productividad o durante los tiempos de espera.
    - b. Diseño para la minimización de la contaminación: La contaminación debe ser entendida tanto como emisiones (al aire, agua y tierra) como al ruido, vibración, radiación y campos electromagnéticos generados.
    - c. Diseño para la minimización de los desechos: Los desechos resultantes de los consumibles y procesos de reparación, mantenimiento o actualización.
  4. Con respecto al final del ciclo de vida:
    - a. Diseño para la recuperación de materiales: El diseño del producto debe propender por la recuperación de los materiales usados sin comprometer el desempeño ni la seguridad del producto, favoreciendo los procesos de reutilización, recuperación y reciclaje.
    - b. Diseño para facilitar el desensamble: Evitar el uso de soldaduras, pinturas, inserciones metálicas, partes plásticas y mecanismos que dificulten el ensamble y desensamble. Favorece los procesos de mantenimiento, reacondicionamiento, reparación, actualización y separación.
    - c. Diseño para facilitar la separación: Minimización del número de componentes usados, el número de materiales, el número y los tipos de conexiones y uniones y el uso de adhesivos y solventes.



### 3.4 Ponderación de los atributos medioambientales

De acuerdo con las características del eco-diseño de productos, se requiere ponderar los atributos medioambientales teniendo en cuenta el análisis del ciclo de vida expuesto en la norma ISO 27000, de tal manera que los esfuerzos y recursos usados en el diseño de productos sean focalizados en los aspectos de mayor importancia para minimizar el impacto medioambiental del producto básico o tangible. En otras palabras, la maximización del peso de cada uno de los criterios contribuye a la minimización del impacto ambiental, no existe en ésta estructura criterio alguno que afecte negativamente el objetivo, por lo cual se dice que todos los atributos descritos se calcularán como criterios a maximizar.

Basado en la estructura jerárquica desplegada en la Figura 3-1, se llevó a cabo la determinación de los pesos tanto relativos como absolutos de cada uno de los criterios y sub-criterios presentes en los tres niveles de la estructura. Tal ponderación fue realizada por cada uno de los integrantes del panel de expertos de manera individual, utilizando comparación pareada entre criterios y evaluándolos de forma cualitativa según la escala de comparación descrita por Saaty (1994). Una vez obtenidos los valores de los pesos de cada uno de los criterios a juicio de cada uno de los integrantes participantes, se obtuvo la priorización de los diferentes atributos, usando agregación de juicios en todos los casos. El análisis relacionado al Proceso Analítico Jerárquico fue soportado y acompañado por el software *Expert Choice 11*®.

**Tabla 3-2:** Escala de comparación entre criterios

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios

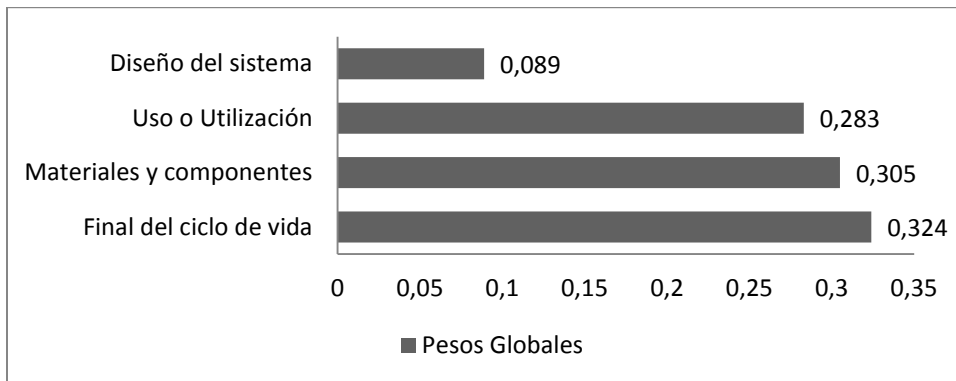
Fuente: Saaty, Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process, 1994.

### 3.4.1 Pesos relativos de los atributos medioambientales

Una vez agregados los juicios de los expertos, el nivel de inconsistencia evidenciado en todos los casos muy inferior al 10% (0,1), límite máximo admitido en el proceso. De los datos se evidencia el bajo nivel de importancia que a juicio de los expertos tiene el diseño o la concepción inicial del producto con respecto a los criterios que hacen parte del ciclo de vida. Con respecto a éstos, se evidencia una mayor importancia de las consideraciones que hacen parte del final del ciclo de vida.

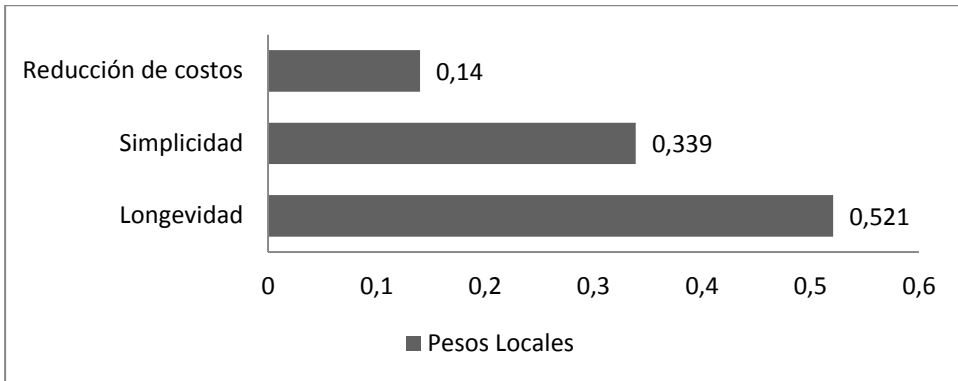
Se evidencia en la Figura 3-3 a la Figura 3-6 como para cada uno de los criterios de mayor nivel de jerarquía, existe un sub-criterio dominante, como lo es la longevidad, el evitar el uso de sustancias peligrosas, evitar la contaminación y el diseño que facilite el desensamble de los productos.

**Figura 3-2:** Pesos globales de los atributos medioambientales. Primer nivel de jerarquía.



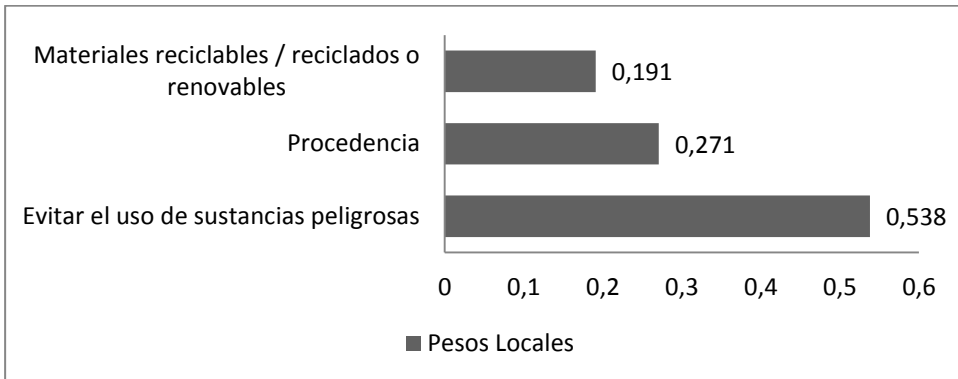
Inconsistencia = 0,02

**Figura 3-3:** Diseño del sistema. Pesos locales de los sub-criterios.



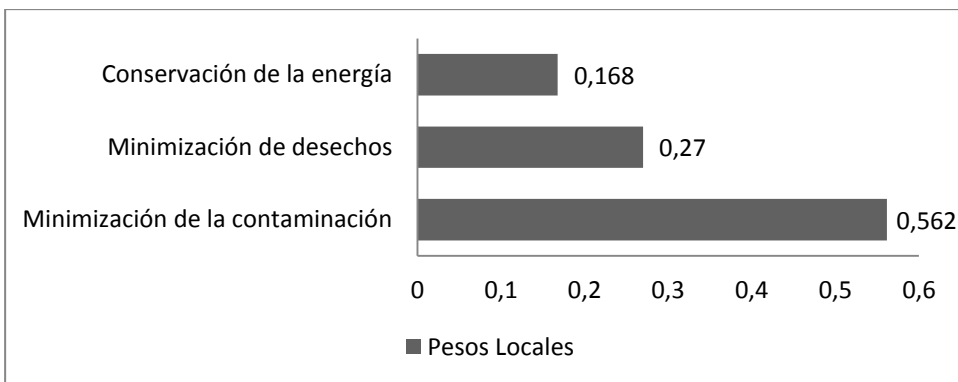
Inconsistencia = 0,05

**Figura 3-4:** Materiales y componentes: Pesos locales de los sub-criterios.

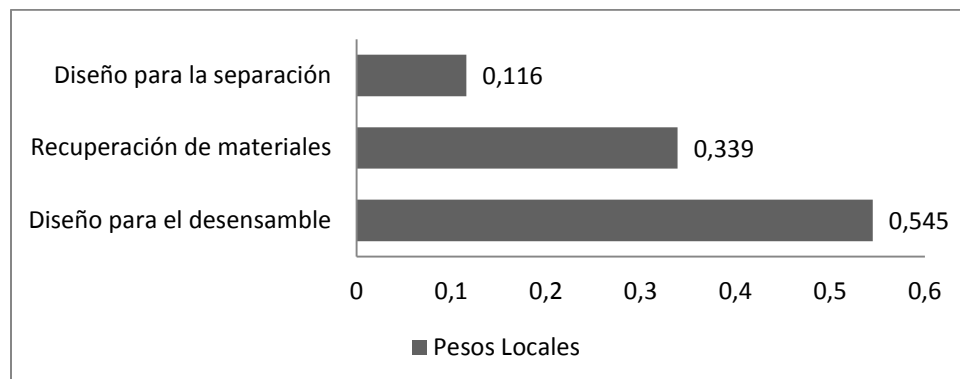


Inconsistencia = 0,02

**Figura 3-5:** Uso o utilización. Pesos locales de los sub-criterios.



Inconsistencia = 0,03

**Figura 3-6:** Final del ciclo de vida. Pesos locales de los sub-criterios.

Inconsistencia = 0,01

### 3.4.2 Priorización global de los atributos medioambientales

Aceptados los juicios de los expertos de la forma anteriormente descrita, se calcula el peso global de cada uno de los criterios del último nivel de jerarquía, teniendo en cuenta el peso local tanto de cada uno de éstos como de los criterios de nivel superior al cual pertenecen. Tanto la ponderación global de los criterios, como la priorización de los mismos es presentada en la Tabla 3-3, y representada gráficamente en la Figura 3-7.

En la priorización general, a juicio de los expertos existe una marcada importancia de tres criterios sobre los otros nueve, que son en orden el diseño para el desensamble, el evitar el uso de sustancias peligrosas y la minimización de la contaminación en la etapa de uso o utilización del producto.

**Tabla 3-3:** Pesos globales de los sub-criterios por orden de prioridad.

Prioridad	Criterio	Peso Global
1	Diseño para el desensamble	0,18
2	Evitar el uso de sustancias peligrosas	0,16
3	Minimización de la contaminación	0,16
4	Recuperación de materiales	0,11
5	Procedencia	0,08
6	Minimización de desechos	0,08
7	Materiales reciclables / reciclados o renovables	0,06
8	Conservación de la energía	0,05
9	Longevidad	0,05

10	Diseño para la separación	0,04
11	Simplicidad	0,03
12	Reducción de costos	0,01

**Figura 3-7:** Pesos globales de los criterios medioambientales.





## **4. Obsolescencia de productos durables**

Definidos y ponderados los criterios de la estructura jerárquica del PAJ, se continuará con igual proceso para la definición de las alternativas. En éste capítulo se desarrollará el tercer objetivo del trabajo, que es el análisis de los modelos y patrones de obsolescencia de los productos durables. Para desarrollar éste objetivo se realizará una introducción a la obsolescencia de productos durables, seguida de un desglose de la relación entre la obsolescencia y diferentes características sociales ambientales, tecnológicas y de mercadeo, para así definir completamente el concepto de obsolescencia programada, y evidenciar su inminente relación con el desarrollo de productos. Finalmente se definirán distintos modelos de obsolescencia según su origen e impacto sobre el ciclo de vida del producto, y se construirá una estructura jerárquica de éstos tipos de obsolescencia.

### **4.1 Introducción a la obsolescencia**

Los intentos académicos para describir el ciclo de vida de los productos son bastante diversos, al igual que complejos en su descripción. Sin embargo, la mayor parte de éstos se han dedicado a la descripción del final del ciclo de vida de los productos, y el enfoque hacia el diseño de bienes, pero el periodo comprendido entre la producción y el final del ciclo de vida ha sido generalmente el que genera el mayor debate.

De tal forma, ha sido el concepto de obsolescencia programada el más controvertido. Fue popularizado por Packard en 1960, momento en el cual la describió como el “proceso deliberado de recortar la vida útil de los productos”, esto con motivo de incentivar la recompra de productos, y ha sido ampliamente discutido en los círculos académicos desde los puntos de vista de administración, mercadeo y economía. El supuesto que alienta a los productores a la introducción de desperfectos en los productos concebidos desde la etapa de diseño – lo que produciría que fueran obsoletos después de un tiempo definido – ha tomado nuevamente relevancia en la última década, motivado

por el discurso ambiental y de sostenibilidad (Cooper, 2004; Eisen, 2011). Distintas son las posturas académicas acerca de esta discutida teoría, y se desglosará a continuación la relación entre la obsolescencia y diferentes características sociales ambientales, tecnológicas y de mercadeo, para así definir completamente el concepto de obsolescencia programada.

## **4.2 Bienestar social y equilibrio del mercado**

La obsolescencia programada nace de un teorema económico y social, derivado del equilibrio del mercado de nuevos productos (Coase, 1972). Sin embargo, el discurso social contra la obsolescencia programada parece carecer de justificación, al no evidenciarse una respuesta negativa de parte del consumidor hacia la durabilidad de los productos (Cooper, 2004). Swan (1972), plantea que el principal factor que impulsa la obsolescencia no es el deseo de los productores de promover las ventas, o la recompra de productos desde una respectiva económica, sino que es la respuesta directa hacia la demanda existente. Sin embargo, la cuestión del óptimo social, factor externo o no directamente ligado al consumo a ciegas de los consumidores, no puede ponerse en duda (Waldman, 1993). Bulow (1986) plantea que la razón principal por la cual el discurso de la obsolescencia programada funciona y es aplicado por las grandes compañías, es debido a que el consumidor racional paga, en el momento de la compra, simplemente por el valor presente de los servicios futuros de un producto. Debido a que el consumidor deseará pagar menos por el mismo producto en un segundo periodo de compra, se permite evidenciar la introducción de ciclos de vida ineficientemente cortos, con el fin de maximizar las ventas de productos, aumentando directamente la demanda que existe sobre un bien en particular. Del mismo modo, la introducción de un producto con mejor calidad, o que ofrezca más beneficios (valor agregado) reduce la utilidad ofrecida por los productos anteriores, y aumenta la demanda como consecuencia del remplazo de productos, creando un nuevo equilibrio que crece sobre el nivel óptimo social (Utaka, 2006).

La obsolescencia buscada de tal forma crea un incentivo suficiente para impulsar al mercado no únicamente periodos más cortos en la vida útil de los productos, sino a la introducción de incompatibilidad entre modelos, cuya consecuencia es una mayor



diferencia entre el equilibrio del mercado y el óptimo social (Waldman, 1993; Ellison & Fudenberg, 2000). Bajo la teoría de Coase y Bulow, la incompatibilidad entre modelos es no solo perjudicial para el bienestar social, sino que también lo es para el lucro de la empresa, de manera independiente a la discriminación de precios que puede llevar a cabo la empresa, y se deriva de la incapacidad de la misma de extraer el superávit existente en la demanda, generándose o bien sub-consumo o sobre-consumo (Waldman, 1993; Pil, 1994).

Alentando los modelos de obsolescencia, la introducción de incompatibilidad genera un ligero problema de bienestar social (Choi, 1994), al introducir desigualdades en los mercados, y particularmente teniendo en cuenta el efecto de desabastecimiento, la incompatibilidad entre modelos puede generar un bienestar social superior al que existiría mediante la compatibilidad entre modelos (Miao, 2011). Sin embargo, la incompatibilidad no es parte del modelo de obsolescencia, sino una adición que se puede crear para aumentar su efecto. En mercados monopolistas, en donde el suministro del producto sea competitivo, el productor tiende a ir en contra de la incompatibilidad, y añade sistemas de compatibilidad reversa en los nuevos productos desarrollados, aún si el óptimo social se consigue sin estas adiciones (Miao, 2010).

A raíz de las numerosas críticas hacia la obsolescencia, en particular a su innata relación con la estructura del mercado han surgido propuestas enfocadas hacia un cambio en el paradigma moderno, que dentro del concepto de sostenibilidad (PNUMA/IMA, 1999) sugieren marcos comportamentales bajo los cuales los usuarios determinan un nuevo rumbo en las prácticas consumistas, o bajo los cuales se puede presionar una conducta diferente de las empresas hacia la conquista de un modelo de negocio que otorgue un mayor bienestar social, y mejore la respuesta ambiental de las industrias surgidas bajo el concepto relacionado con los patrones de obsolescencia de productos y de mercadeo de bienes han surgido paulatinamente (Peattie & Peattie, 2009). A su vez, diferentes tácticas de mercadeo pueden conllevar hacia una vigorización de la respuesta y los asuntos ambientales desde el lado de los productores (Cooper, 2004; 2005), mejorando así la durabilidad de los productos. Según los esquemas expuestos, los consumidores hacen parte activa del proceso de recompra impulsado por la calidad y la durabilidad de los productos, y de ésta forma influyen en los procesos de descarte de los mismos, aun

cuando esté en manos de todos los participantes del mercado la concientización hacia un consumo sostenible (Cooper T. , 2005).

### **4.3 Calidad y diferenciación medioambiental de los productos**

Fue en la calidad de los productos donde se centró la crítica original de Packard acerca de la obsolescencia (1960), Ésta y la diferenciación medioambiental de los productos son los factores más importantes para los consumidores tanto en la apreciación del producto como en el juicio acerca de la durabilidad (Cooper, 2004). Sin embargo, al no existir un modelo claro que permita la preferencia certera de un producto con cualidades medioambientales en el momento de la compra (Lavallée & Ploufee, 2004), el único que permite ejercer presión sobre los productores de parte de los consumidores es la calidad intrínseca de los productos. Asumiendo como cierta la existencia de la obsolescencia programada, la corta durabilidad de los productos aumenta los patrones de demanda, y por tanto la frecuencia de recompra, lo que permite a los consumidores premiar o castigar de forma más inmediata sobre las empresas debido a la calidad percibida de los productos adquiridos (Strausz, 2009). De tal forma, se logra un alto grado de calidad embebido en el patrón de obsolescencia, estableciendo un vínculo directo entre la durabilidad del producto y la calidad que ofrezca el mismo.

### **4.4 Investigación y desarrollo**

El modelo de obsolescencia es controversial, porque tiene tanto críticos como seguidores en la literatura. El progreso tecnológico es atado a la obsolescencia por varios autores, y se establece como la característica principal que constituye un aporte a la sociedad, más allá de las ganancias que represente para la empresa productora, pero sin dejar de lado el bienestar social. Existe una inconsistencia de tiempo para los productores, que hace que los costos de investigación y el desarrollo sean muy altos, debido a una anticipación de los consumidores a la aparición de un producto superior en un futuro cercano, de tal forma que el incentivo del fabricante monopolista para vender nuevos productos sirve para disminuir la brecha entre el bienestar social generado por el modelo de obsolescencia y el incentivo propio para promover la investigación en investigación y desarrollo (Waldman, 1996). Tal evidencia es soportada por Fishman, Gandal, & Shy

(1993), quienes afirman que el equilibrio de mercado puede implicar productos con ciclos de vida muy largos, lo que genera una pasividad desde el punto de vista de la innovación que frenaría el desarrollo tecnológico. De éste modo, la obsolescencia es el motor tecnológico que conlleva a la innovación, mediante los procesos de investigación y desarrollo de nuevos productos. En los mercados competitivos el resultado es bastante similar, y el presupuesto destinado hacia la investigación aporta al desarrollo de nuevos productos que ayudan a lograr un equilibrio de mercado que satisfaga las necesidades de la demanda, mediante la aplicación de la obsolescencia programada, lo que genera un mayor bienestar social (Grout & Park, 2005). Tal innovación es parte del progreso económico mundial, y ayuda a incrementar el bienestar social general. La investigación es parte fundamental de las empresas pioneras en el mercado, y a su vez hace parte intrínseca de la obsolescencia programada, no como consecuencia, sino como causa de la misma. El presupuesto destinado al desarrollo de nuevos productos no solo está directamente relacionado con los índices de innovación, sino que a su vez influye directamente y de forma negativa al ciclo de vida de los nuevos productos (Goering & Boyce, 1993).

El comportamiento con respecto a la investigación y el desarrollo de productos es distinto en empresas que llevan a cabo su actividad económica mediante contratos que incluyen al leasing y arrendamiento, en lugar de la venta directa a los consumidores finales. Tal modo de negociación se establece en el formato de oferta de servicios, y de los servicios y valor que ofrecen los productos, más que en los productos en sí, y tiene como repercusión no solo una marcada diferencia en cuanto a la investigación y el desarrollo de nuevos productos, sino que a su vez tiende a aumentar tanto el ciclo de vida de los productos como el bienestar social, aun cuando los elementos ofrecidos no estén a la vanguardia tecnológica de las empresas que ofrecen directamente los productos (Goering & Boyce, 1993; Waldman, 1996).

Vista de ésta forma, la innovación surgida de la investigación y el desarrollo puede llevar a procesos de minimización del impacto ambiental, incluyendo innovación en tecnologías para la prevención de la contaminación, reciclaje de materiales, diseño de productos y administración ambiental (Chen, Lai, & Wen, 2006). Entre otros resultados, el acto de “enverdecimiento” de productos y procesos sugiere una ventaja competitiva, al reducir, por ejemplo, los costos de producción (Porter & van der Linde, 1995). De ser cierta esta

causalidad, la obsolescencia programada argumentaría en favor de los procesos de sostenibilidad y las iniciativas de reducción del impacto medioambiental.

## 4.5 La obsolescencia programada

La consideración del desempeño del producto (vida útil) por un periodo que puede llegar a ser de varios años al tomar en cuenta todo el ciclo de vida del mismo es un punto fundamental en la definición de un “producto verde” y tiene una implicación directa sobre la tasa de remplazo de productos. Esta extensión es especialmente opuesta al concepto de obsolescencia programada, definido como el proceso deliberado de recortar la vida útil de los productos (Coase, 1972; Packard, 1960), título que ha causado gran debate en los círculos académicos de administración, mercadeo y economía. Los estudios actuales relativos a la obsolescencia profundizan no solo en la durabilidad implícita de los bienes (Swan, 1972; Grout & Park, 2005), sino que se centran en los motivos por los cuales los productos duraderos se vuelven obsoletos, y al origen de tales razones (Guiltinan, 2008; Cooper, 2004).

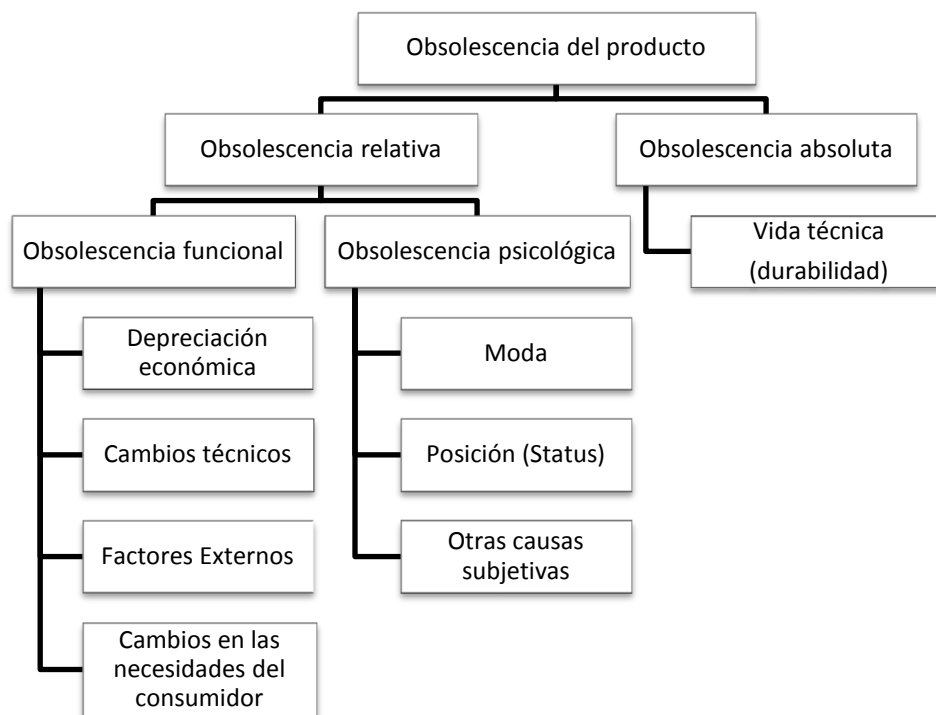
La obsolescencia programada nace en 1932 en el artículo de Bernard London titulado “Poner fin a la Depresión a través de la Obsolescencia Programada” (*Ending the Depression Through Planned Obsolescence*), donde propone éste modelo para estimular el consumo y reactivar la economía, ya que “un artículo que no se desgasta es una tragedia para los negocios” (Dannoritzer, 2011). Sin embargo fue popularizada por la crítica de Packard (1960) hacia la durabilidad de los bienes, e introduce el concepto como “una búsqueda deliberada... cuando un producto deja de funcionar, en un tiempo no muy distante”, crítica hacia lo que sería la materialización de la propuesta de Bernard London. El renacido concepto encontró mayor fundamento en el denominado “problema de los limones”, introducido por primera vez por Coase (1972), un estudio económico acerca del desarrollo y mercadeo de nuevos productos en mercados de monopolio u oligopolio, en el cual establece que el productor disminuirá el precio del producto después de un tiempo o de una primera compra, para así capturar otro segmento del mercado. Según este actuar, los consumidores esperarían la disminución de precios para realizar la compra, lo que afectará directamente al productor. Aparte del impedimento hacia la compra de éste tipo de productos (productos anteriores), la solución se establece

en la adopción de algún modelo de obsolescencia, bien sea de funcionalidad o psicológica mediante la inclusión de nuevas tecnologías y demás extras que añadan valor al producto (Waldman, 1996), o la más agresiva obsolescencia de origen, al descartar las demás opciones (Choi, 1994; Waldman, 1993).

Tal modelo fue puesto a prueba durante dos décadas, pero no se encontró ninguna evidencia empírica que soportara el mencionado impacto social de la obsolescencia programada (Cooper, 2004). Sin embargo, el modelo fue revigorizado en las comunidades científicas debido al interés creciente puesto en las prácticas ambientales, el tutelaje y el diseño ambiental de productos y el desarrollo sostenible (Eisen, 2011), con especial fortalecimiento debido a la Cumbre de Rio y el posterior protocolo de Kioto.

Los modelos que generalizan la obsolescencia, programada o no, se redefinieron en las décadas de 1990 y 2000, donde se plantean nuevamente tres escenarios básicos en los cuales existe un patrón definido y comprobable de obsolescencia (Heiskanen, 1996). Fallas o desperfectos en los productos, insatisfacción y cambios en las necesidades de los consumidores establecen los modelos comportamentales básicos del mercado moderno en relación a la obsolescencia. Cooper (2004) afirma que de los tres, los dos primeros están directamente relacionados con el diseño de productos, sector donde juega nuevamente y de forma directa el concepto de obsolescencia programada.

Una clasificación de la obsolescencia, no según su origen, sino según su impacto en el ciclo de vida definitivo del producto es propuesta posteriormente por Granberg (1997). Agrupa los tres conceptos abordados anteriormente en obsolescencia absoluta – fallos técnicos del producto que impiden su uso, directamente relacionados con la durabilidad y la calidad del mismo – y obsolescencia relativa – demás factores externos no ligados a las características intrínsecas del producto, sino al comportamiento del mercado afectado por acciones de los involucrados, incluidos los fabricantes, comercializadores, legisladores y consumidores –. Ambos conceptos son retomados por Cooper (2004) para establecer una base más amplia de los conceptos de obsolescencia, al llegar a establecer la clasificación de cuatro segmentos distintos de obsolescencia, basándose en las dos clasificaciones definidas anteriormente. Dentro del marco de la obsolescencia relativa, se definen tres segmentos, explorando el concepto de obsolescencia funcional y ampliándolo a obsolescencia económica y tecnológica.

**Figura 4-1:** Segmentación de la obsolescencia de productos.

Fuente: Granberg, The quality re-evaluation process: Product obsolescence in a consumer-producer interaction framework, 1997.

Guiltinan (2008) recopila cinco clases de obsolescencia física, que son las que puedan formar fundamentalmente la obsolescencia programada:

- Diseño de tiempo de vida limitado: Bajo el marco de la obsolescencia de origen, los productos son diseñados para dejar de funcionar en un tiempo fijo.
- Diseño para reparaciones limitadas: Pertenece también a la obsolescencia de origen, la reparación de los productos no es viable. Ocurre también debido a falta de soporte e incompatibilidad con nuevos productos complementarios y sustitutos.
- Diseño de estética que conlleva a reducir la satisfacción: Junta tanto la obsolescencia de origen como la psicológica. El producto está hecho para dañarse estéticamente desde su diseño inicial, lo que produce obsolescencia psicológica aun cuando éste sea todavía útil.
- Diseño para la moda: Es parte de la obsolescencia psicológica, donde la estética de un producto nuevo supera la del anterior, y causa que se quiera reemplazar.

- Diseño para ampliaciones funcionales, o por valor agregado: Obsolescencia de funcionalidad, un nuevo producto cuenta con más valor agregado que el anterior modelo.

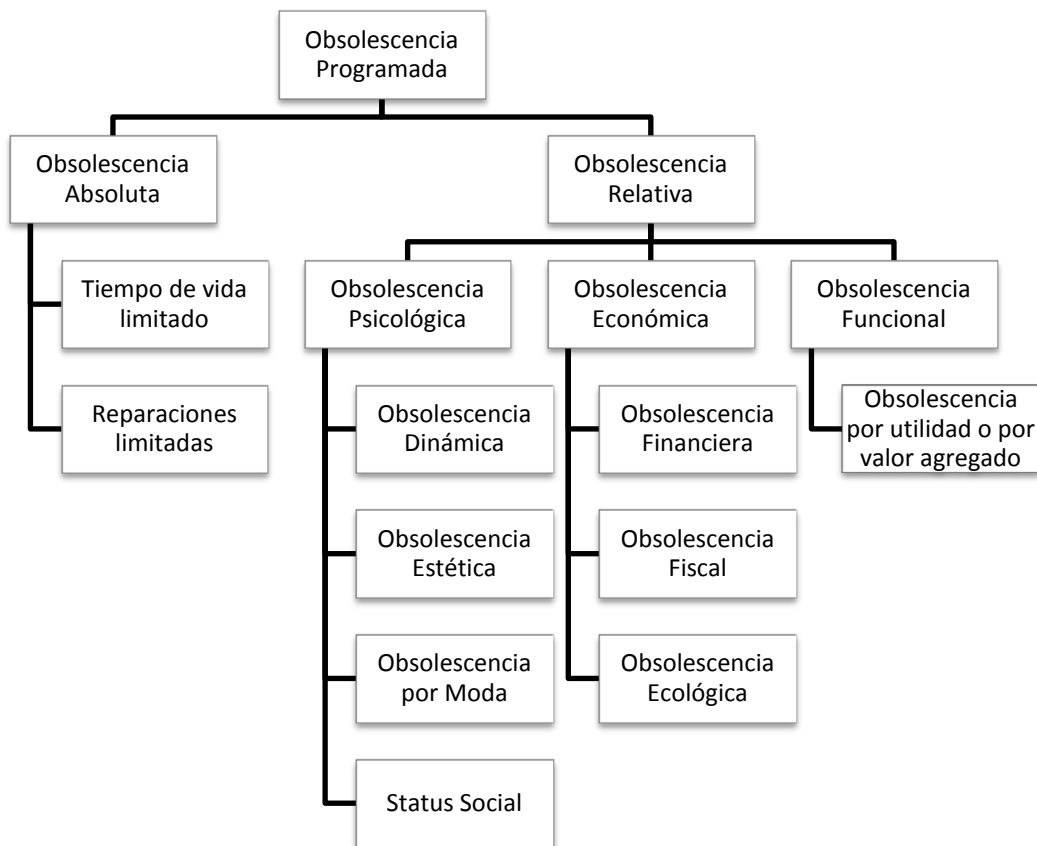
Además de los patrones de obsolescencia recopilados y descritos por Guiltinan (2008), y Cooper (2004), los descritos por Waldman (1993, 1996), Granberg (1997), Choi (1994) y Goering & Boyce (1993) se mencionan a continuación:

- Obsolescencia dinámica: Se refiere al interés de los productores de incentivar el mercado con nuevos modelos periódicamente, existiendo o no cambios en el producto. Es motivada principalmente por el logro de un menor tiempo de recompra del producto.
- Obsolescencia financiera: Los costos de operación y/o mantenimiento del producto son superados por el beneficio ofrecido, según la estructura del mercado.
- Obsolescencia ecológica: El impacto ambiental del producto se ve disminuido, en referencia a demás sustitutos. Desde el punto de vista de la operación del usuario, puede significar un menor costo de operación.
- Obsolescencia fiscal: Forma de depreciación netamente normativa y contable, referente a los procesos de amortización económica o cualquier tipo de depreciación de los bienes.
- Obsolescencia económica: Se relaciona al valor que representa el producto para el usuario. La depreciación, relación de costo/beneficio, costos de operación y la estructura de equilibrio del mercado están implícitas en ésta.
- Obsolescencia psicológica: Es relativa a la satisfacción del usuario, derivada de los gustos del mismo respecto al producto que posee y demás sustitutos.
- Obsolescencia tecnológica: Es coherente con la funcionalidad ofrecida por el producto, y está relacionada con la innovación en el sector.

## 4.6 Estructuración jerárquica de los modelos de obsolescencia

Dada la índole del impacto en el ciclo de vida del producto, y en concordancia con la preocupación medioambiental, complementando las definiciones detalladas por Cooper (2004) y Guiltinan (2008), se construye la estructura jerárquica desplegada en la Figura 4-2 en torno a los tipos y fuentes de obsolescencia programada. Los detalles técnicos propios del producto que afecten la durabilidad, más allá de los clasificados a continuación como parte de la obsolescencia absoluta, no son tenidos en cuenta, dado que no hacen parte de la definición de obsolescencia programada, y constituyen simplemente una falta en la calidad de los productos accidental y no buscada por los fabricantes, integradores y/o comercializadores.

**Figura 4-2:** Estructura jerárquica general de los patrones de obsolescencia.



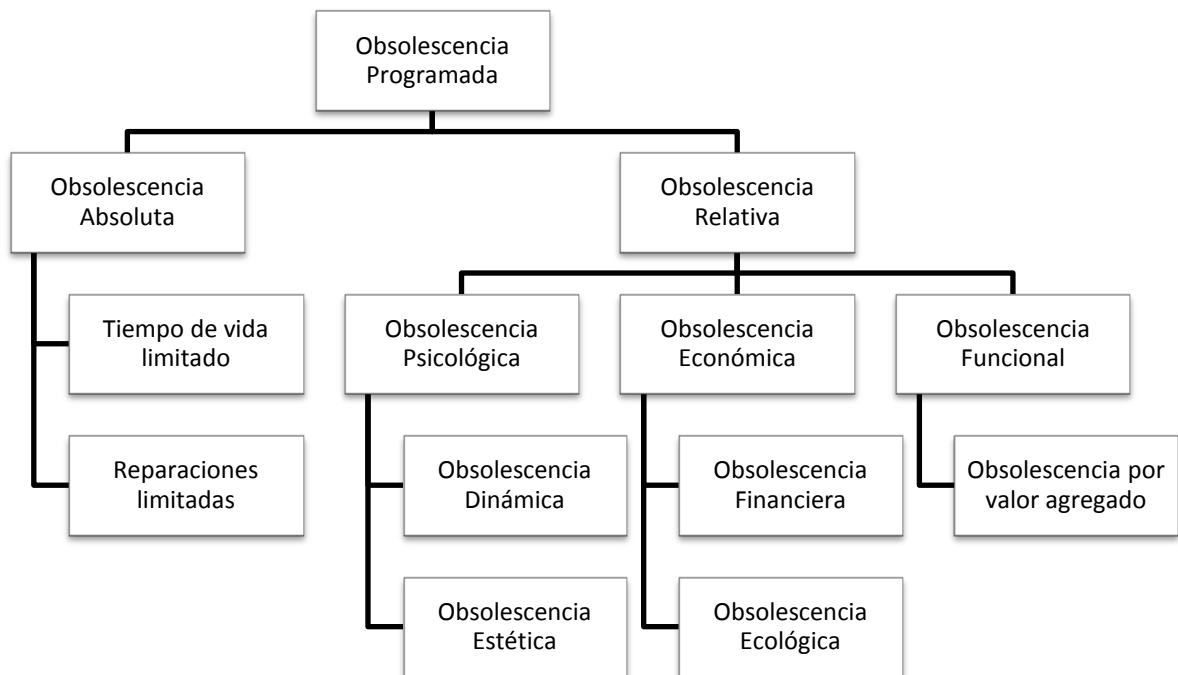
Fuente: Elaboración propia, basado en Granberg (1997), Cooper (2004), Guiltinan (2008).



## 4.7 Reducción de las alternativas – modelos de obsolescencia

Al igual que en la primera etapa de evaluación de los atributos del eco-diseño de productos, durante las reuniones de contextualización y definición previas a la aplicación formal de la metodología MCDA, el grupo de expertos acordó la reducción de los patrones de obsolescencia a los presentados en la Figura 4-3, debido a la similitud entre la obsolescencia dinámica y por moda, y la obsolescencia por moda y por estatus social. La decantación hacia la eliminación de la estructura de la obsolescencia de moda y por estatus social fue debida a que en el contexto de la obsolescencia programada es la obsolescencia dinámica la que es directamente introducida por los productores y comercializadores. La obsolescencia fiscal fue calificada como no programada, debido a que la depreciación y amortización económica no es controlada por las empresas productoras, sino es un proceso reglamentario netamente normativo y contable.

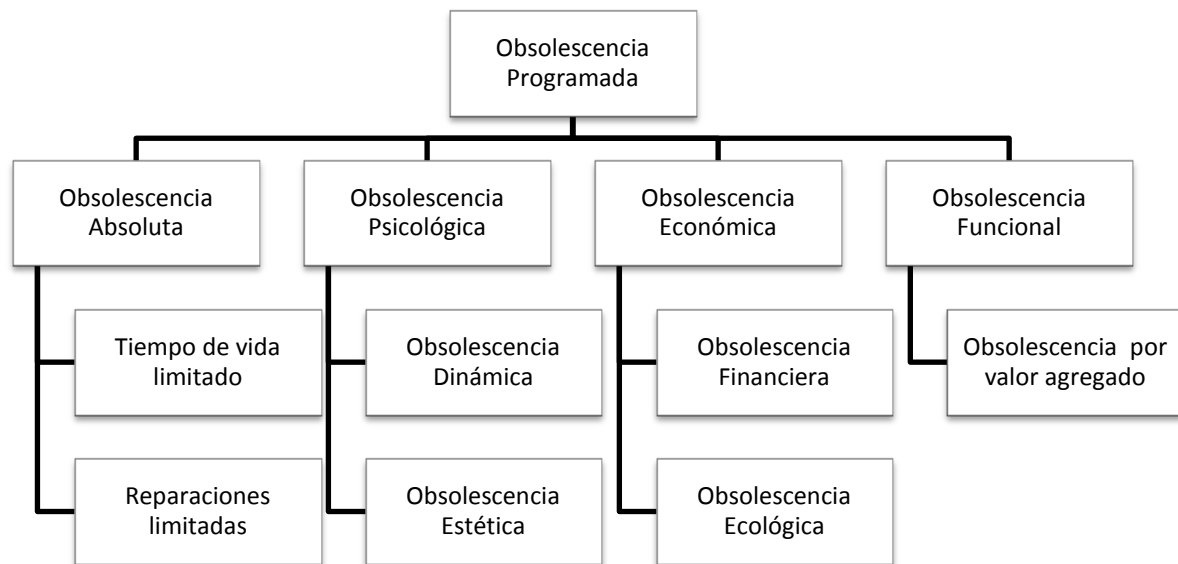
**Figura 4-3:** Estructura jerárquica clasificada de la obsolescencia programada.



Fuente: Elaboración propia, basado en Granberg (1997), Cooper (2004), Guiltinan (2008).

La Figura 4-3 representa la clasificación de los diferentes modelos de obsolescencia con la cual se encarará la etapa definitiva de determinación de la importancia de los modelos de obsolescencia en el eco-diseño. Esta estructura se redistribuye sin exponer directamente el concepto de obsolescencia relativa de la forma que se muestra en la Figura 4-4.

**Figura 4-4:** Estructura jerárquica definitiva de la obsolescencia programada.



Fuente: Elaboración propia, basado en Granberg (1997), Cooper (2004), Guiltinan (2008).





## **5.Importancia de los modelos de obsolescencia según los criterios de eco-diseño**

La obsolescencia programada definida y clasificada en el anterior capítulo concluirá la construcción de la estructura jerárquica del PAJ, que finalmente faculta el desarrollo del cuarto objetivo del trabajo, que es calcular la importancia relativa de los patrones de obsolescencia según los criterios del eco-diseño de productos electrónicos. En conformidad se retomará la priorización global de los atributos medioambientales como fundamento para el cálculo de la prelación global de los modelos de obsolescencia, y se realizará finalmente un análisis de susceptibilidad de cambio sobre los resultados obtenidos. Se presenta en éste capítulo igualmente una metodología nueva y alterna que minimiza el esfuerzo de la aplicación del PAJ haciendo uso de la estructura jerárquica de las alternativas desarrollada en el capítulo anterior.

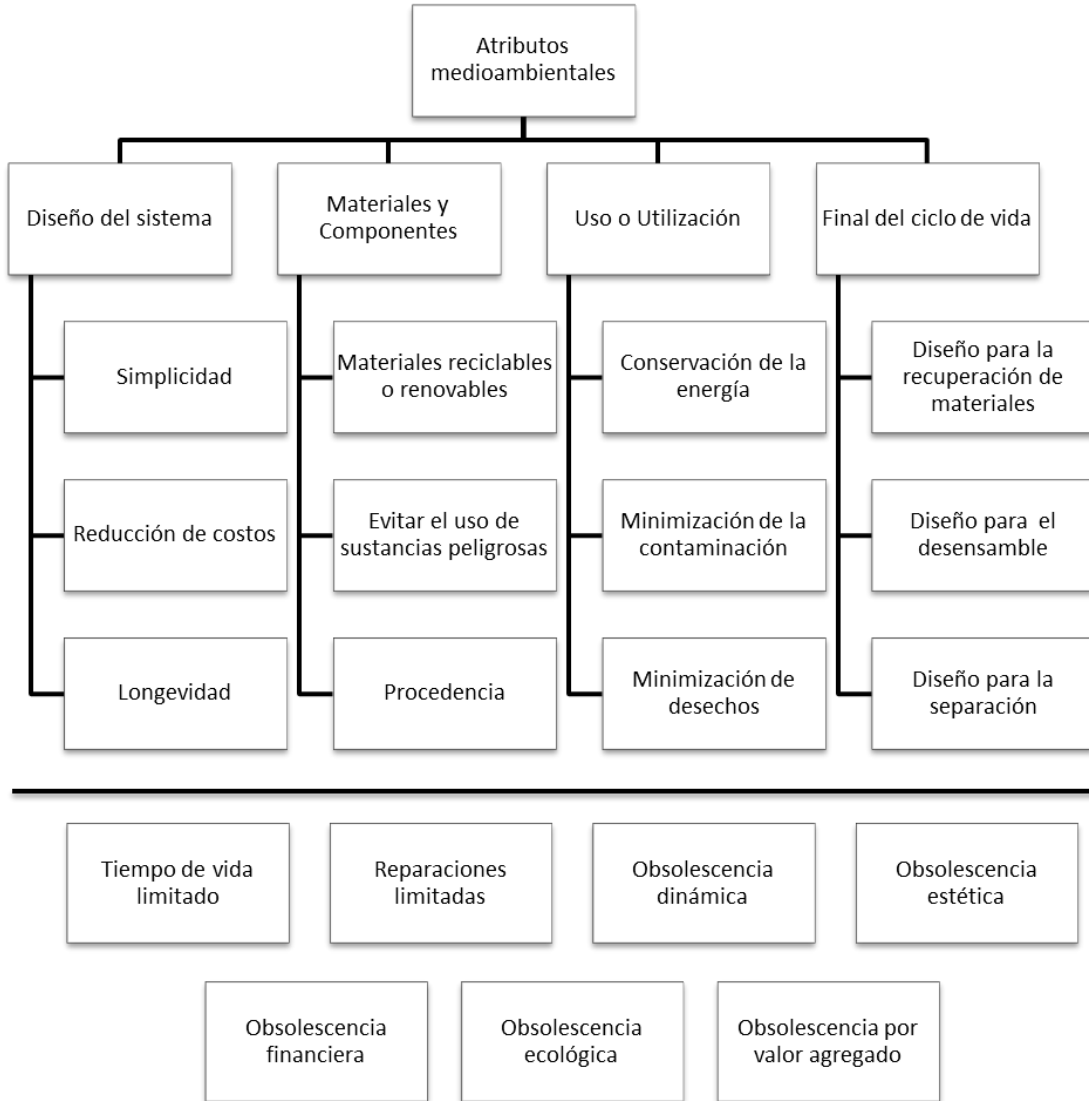
### **5.1 Valoración de las alternativas**

La evaluación de la importancia de los modelos de la obsolescencia programada dentro del marco del eco-diseño de productos se cimienta en la evaluación global de las alternativas teniendo en cuenta cada uno de los criterios de decisión. Las alternativas a evaluar son los distintos modelos de obsolescencia, y los criterios de decisión corresponden a las características del eco-diseño de productos, de la forma que se observa en la Figura 5-1.

Contando con los pesos globales de cada uno de los atributos y características medioambientales del eco-diseño del producto básico, así como con la estructuración de las los patrones de obsolescencia, la valoración de las alternativas se determinó usando otra metodología del MCDA como lo es la matriz de decisión.

Estas técnicas de análisis de decisión multi-criterio (PAJ y Matriz de Decisión) fueron utilizadas conjuntamente para lograr una priorización sin inconsistencias (Cortés, García, & Aragonés, 2007), debido al alto número de alternativas existentes, equivalentes al número límite de 7 alternativas sugeridas por Saaty (1994).

**Figura 5-1:** Estructura jerárquica – Alternativas de tercer nivel de jerarquía.



La matriz de decisión modela la preferencia de las alternativas con respecto a un criterio determinado. Este proceso se fundamenta en los resultados de las alternativas asociadas al criterio y transformadas en valores que determinen la preferencia o utilidad que para el

decisor tienen estos resultados. Bien sean finalizadas las funciones de preferencia relativas a cada criterio, se utilizan procesos de agregación para de ésta forma generar un modelo de preferencias individual respecto al modelo global.

Los niveles superiores – correspondientes a los criterios – de la estructura jerárquica corresponden a la depuración de la Figura 2-1, teniendo en cuenta únicamente los criterios medioambientales del producto básico como fue descrito en el Capítulo 3 y plasmado en la Figura 3-1. Existe sin embargo una característica que no fue tomada en cuenta al concluir la depuración y selección de criterios, agrupado inicialmente en el ciclo de vida del producto bajo la etapa de producción, llamada “Diseño para favorecer la prevención de accidentes”, que puede ser fácilmente entendida para los productos eléctricos y electrónicos como los definidos en el marco de estudio como el cumplimiento de la regulación y la declaración de conformidad de la Comisión Federal de Comunicaciones, FCC (Federal Communications Commission, 2012). Esta característica, si bien pudo fácilmente haberse reagrupado bajo el atributo de “Uso o utilización”, fue descartada desde un inicio debido a su intrínseca relación con la obsolescencia absoluta, en especial el “tiempo de vida limitado”. Si bien el diseño para favorecer la prevención de accidentes involucra necesariamente “una búsqueda deliberada para que un producto deje de funcionar”, bajo ciertas circunstancias, no es “un proceso deliberado para recortar la vida útil de los productos”. Por ambas razones el mencionado criterio se apartó del marco de estudio del presente trabajo, ya que ésta relación no involucra la definición de la obsolescencia programada.

### **5.1.1 Minimización del esfuerzo del PAJ**

Para la evaluación de cada una de las alternativas respecto a los criterios de la estructura principal (Figura 5-1) se debe hacer uso nuevamente de un cuestionario basado en la escala de Saaty (1994). De ésta forma, el cuestionario a los expertos consistirá en comparaciones pareadas entre alternativas para cada uno de los criterios existentes, para un total de 252 preguntas.

Sin embargo, debido a la cantidad de criterios y a que el número de alternativas número de alternativas es equivalente al número límite de 7 sugeridas por Saaty (1994), se

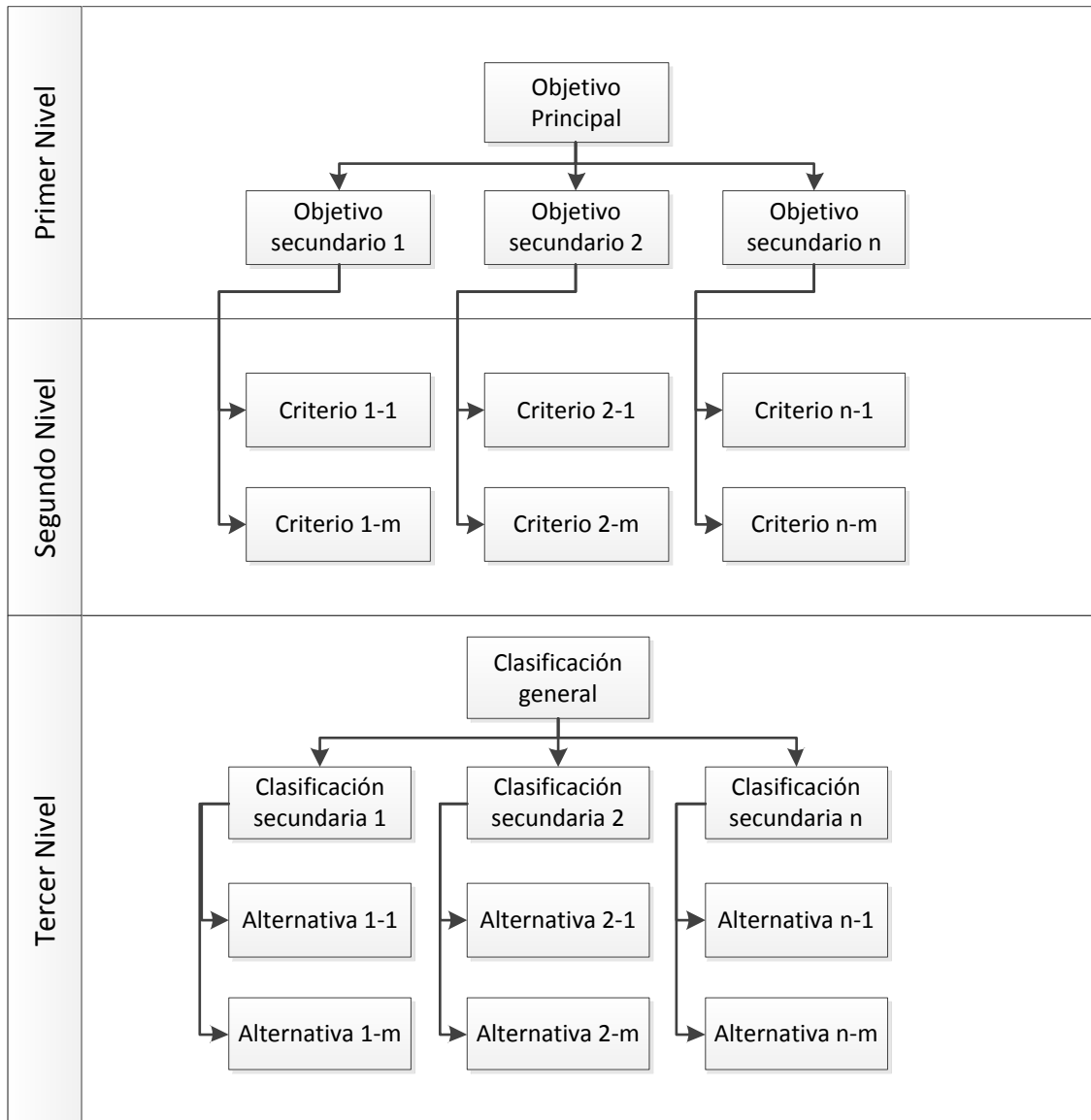
plantea una nueva metodología que hace uso de la estructuración jerárquica de las alternativas para facilitar la aplicación del PAJ y la toma de decisiones en grupo, reduciendo de ésta forma la posibilidad de inconsistencias resultantes.

La metodología planteada para minimizar el esfuerzo de la aplicación del PAJ consiste en la clasificación de las alternativas de la forma que se observó en el Capítulo 4, y la posterior construcción de una estructura jerárquica de igual modo que se hace con los atributos de las alternativas, según los objetivos planteados. La nueva estructura jerárquica planteada para encarar el proceso difiere de la estructura clásica – planteada por Saaty y descrita en el primer capítulo (ver Figura 1-1) – únicamente en el tercer nivel, correspondiente a las alternativas. Es ésta estructura la que se observa en la Figura 5-2 y la empleada a continuación, y de la cual se desprenden las estructuras para el segundo y tercer nivel de alternativas que se observan de la Figura 5-3 a la Figura 5-6. Esta metodología no solo reduce significativamente el esfuerzo de la aplicación del PAJ, sino que permite la evaluación de más de 7 alternativas, manteniendo el mismo o menor nivel de inconsistencia.

Para la evaluación de las alternativas se requiere la construcción de una estructura jerárquica por cada una de las ramificaciones en cada una de los niveles de jerarquía. En el ejemplo mostrado en la estructura de la Figura 5-2 se requiere elaborar una estructura para el segundo nivel de jerarquía –que comprende la clasificación secundaria de las alternativas – además de  $n$  estructuras para cada una de las clasificaciones secundarias existentes.



**Figura 5-2:** Estructura jerárquica modificada para la minimización del esfuerzo del PAJ.



Fuente: Elaboración propia.

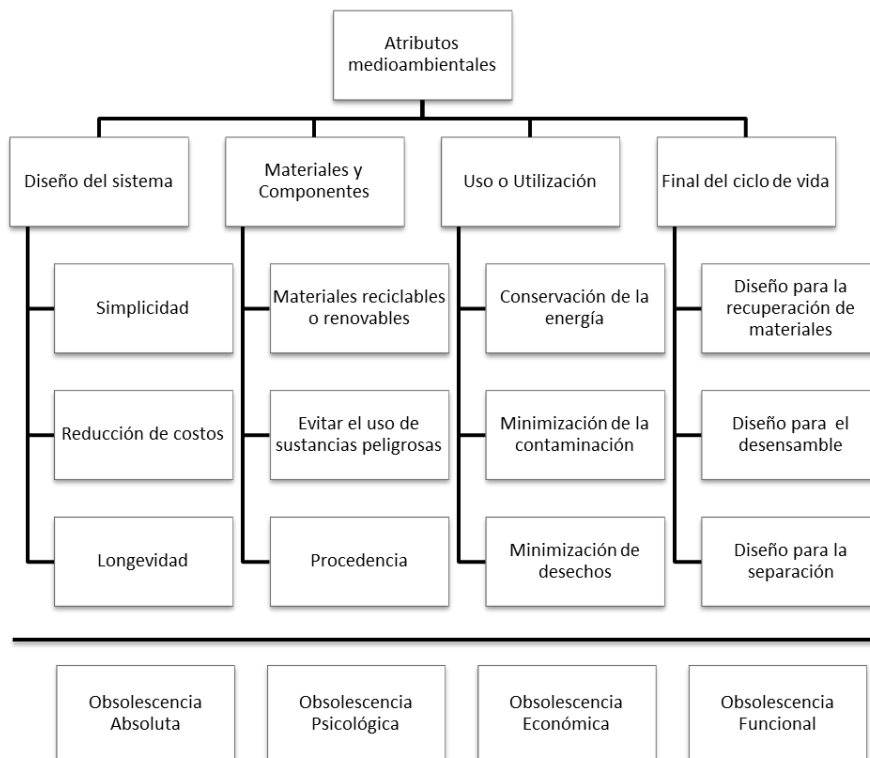
Utilizando como alternativas los criterios generales correspondientes al segundo nivel de jerarquía de las alternativas, surge una nueva versión de la estructura jerárquica usada para la toma de decisiones, que se presenta en la Figura 5-3. Una vez obtenidos los pesos de las alternativas generales – equivalentes al segundo nivel de jerarquía de la Figura 4-4 –, se obtienen los pesos de las alternativas de tercer nivel utilizando igual método de comparación pareada en cada rama. Para esto se establecen otras tres

estructuras jerárquicas, una para cada uno de los criterios generales correspondientes al segundo nivel de jerarquía de las alternativas, que se presentan de la Figura 5-4 a la Figura 5-6.

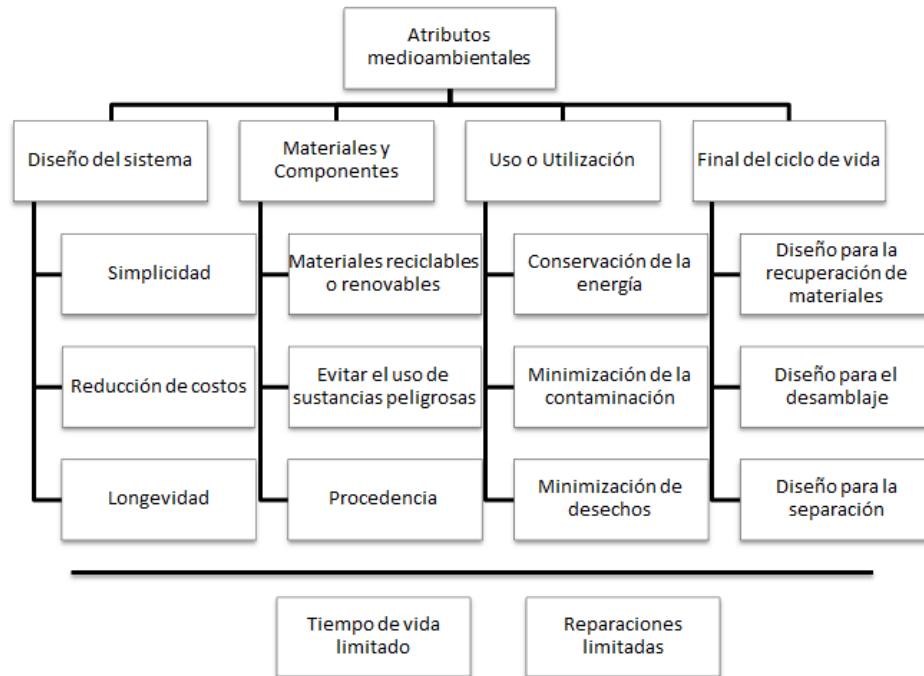
Haciendo uso de éste método, se obtiene una reducción del 57% del esfuerzo en la aplicación del PAJ, y se reduce el nivel de inconsistencia resultante final, logrando un resultado final equivalente al método tradicional.

De tal estructuración es fundamentado el segundo cuestionario realizado a los expertos, dada la naturaleza cualitativa de la investigación. Los resultados son consignados en la matriz de decisión, que se normaliza para obtener los valores con los cuales elaborar de manera directa y objetiva la función de preferencia de cada criterio, así como el modelo de preferencias individual.

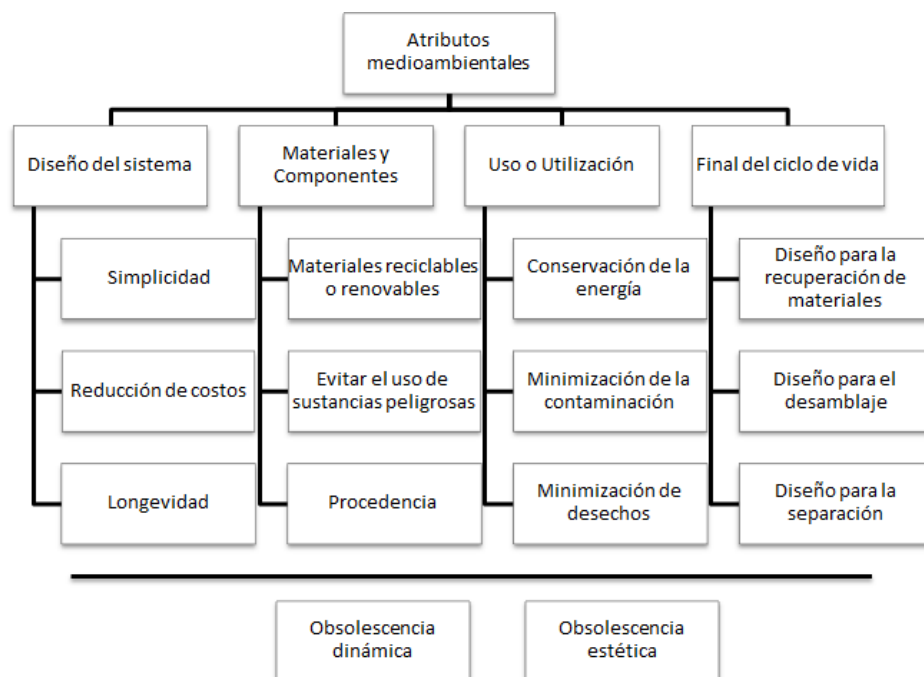
**Figura 5-3:** Estructura jerárquica – Alternativas de segundo nivel de jerarquía.



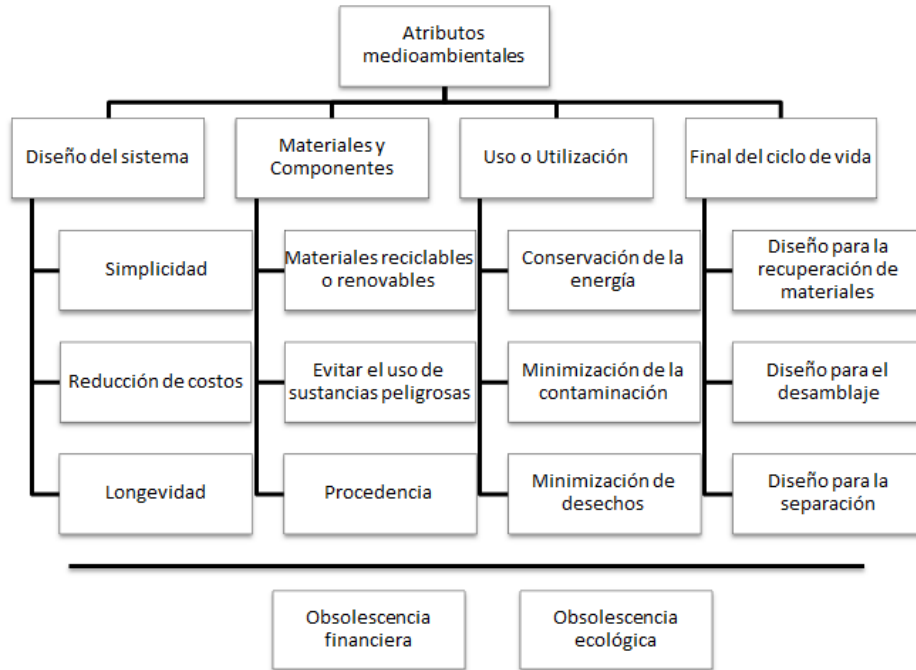
**Figura 5-4:** Estructura jerárquica – Alternativas de tercer nivel de jerarquía – Obsolescencia absoluta.



**Figura 5-5:** Estructura jerárquica – Alternativas de tercer nivel de jerarquía – Obsolescencia psicológica.



**Figura 5-6:** Estructura jerárquica – Alternativas de primer tercer de jerarquía – Obsolescencia económica.



### 5.1.2 Prioridad agregada de las alternativas generales

A diferencia de la primera etapa del trabajo, donde se realizó la ponderación de los aspectos medioambientales del eco-diseño de productos, para determinar la prelación de las alternativas con base en los aspectos medioambientales previamente ponderados, se contemplan diferentes casos donde sí intervienen directamente los intereses de la compañía. Para el proceso ejecutado, ésta segunda etapa se llevó a cabo bajo un ambiente de mayor coordinación y comunicación entre los decisores y los diferentes Consultados (funcionarios de la firma), para así disminuir el posible impacto tanto sobre los resultados como sobre la sensibilidad de los mismos, sin desligar el enfoque de sostenibilidad objeto del presente estudio.

Una vez determinados los criterios y la forma de valorar las alternativas, se realizó la ponderación de cada una de las alternativas de la estructura jerárquica. Al existir una ponderación propia por cada una de las estructuras resultantes ( $n+1$  si se sigue la estructura mostrada en la Figura 5-2, y cuatro en el caso de la estructura de los modelos

de obsolescencia), se requiere relacionar la importancia de cada una de las alternativas con respecto a su nivel jerárquico superior.

Las preferencias correspondientes a los juicios individuales indican la importancia de las alternativas para cada uno de los expertos. El resultado final del análisis de múltiples criterios se obtiene al realizar la agregación de los juicios individuales obtenidos anteriormente. Se presentan a continuación los resultados resumidos de la priorización de las alternativas:

**Tabla 5-1:** Orden de prioridad – Modelos de obsolescencia, segundo nivel de jerarquía.

Prioridad	Alternativa	Suma ponderada
1	Obsolescencia Económica	0,372
2	Obsolescencia Psicológica	0,281
3	Obsolescencia Funcional	0,238
4	Obsolescencia Absoluta	0,109

Inconsistencia = 0,03

A pesar que el peso del criterio “longevidad” no fue calificado como uno de los más importantes en la priorización de los criterios medioambientales del eco-diseño, la ponderación local de los criterios y sub-criterios muestra una marcada preferencia de los expertos hacia la inclusión en el diseño de los productos de patrones de obsolescencia económica y psicológica en relación a la funcional y la obsolescencia absoluta, que es la que clásicamente se podría definir como obsolescencia programada – en un sentido estricto y no ampliado del concepto –. Éste resultado concuerda con las afirmaciones de Goering & Boyce (1993) y Waldman (1996), quienes sugieren un mayor ciclo de vida de los productos debido a que la firma efectúa sus actividades bajo el sistema de leasing o renta y no de venta directa al consumidor final.

En conformidad, si bien la noción de vida útil y el tiempo de vida de los productos es fundamental para definir los conceptos de “producto verde” o “producto total” (Peattie & Charter, 2003), la longevidad de los productos no configura un “factor clave en la ruta hacia el consumo sostenible” (Cooper T. , 2005).

Sin embargo, la priorización de los patrones generales de obsolescencia según los atributos medioambientales del eco-diseño de productos sugiere cómo a juicio de los decisores la obsolescencia económica es muy preferida sobre sus pares. De ésta forma, se establece un nexo inequívoco entre la obsolescencia económica y el eco-diseño de productos.

**Tabla 5-2:** Orden de prioridad – Obsolescencia Absoluta.

Prioridad	Alternativa	Suma ponderada
1	Reparaciones limitadas	0,549
2	Tiempo de vida limitado	0,451

**Tabla 5-3:** Orden de prioridad – Obsolescencia Psicológica.

Prioridad	Alternativa	Suma ponderada
1	Obsolescencia Dinámica	0,582
2	Obsolescencia Estética	0,418

**Tabla 5-4:** Orden de prioridad – Obsolescencia Económica

Prioridad	Alternativa	Suma ponderada
1	Obsolescencia Ecológica	0,647
2	Obsolescencia Financiera	0,353

Se muestra también como en cada agregación general de los niveles de obsolescencia existe una alternativa preferida, siendo las reparaciones limitadas la preferida para la obsolescencia absoluta, la obsolescencia dinámica dentro de la psicológica, y la obsolescencia ecológica dentro de la económica.

A diferencia de las alternativas clasificadas en el nivel superior de la estructura jerárquica presentada en la Figura 4-4, los expertos concordaron que si bien en el diseño de productos se puede diferenciar entre los diferentes patrones de obsolescencia, la distinción entre las alternativas de último nivel de jerarquía no es tan clara para el consumidor. Por ejemplo, en el diseño de productos se podría favorecer las reparaciones limitadas sobre el tiempo de vida definido, pero para el usuario final ambas alternativas estarían tan estrechamente ligadas que no sería clara la distinción entre ellas en el

momento en el que el producto deje de funcionar. Es decir, se podría establecer con claridad únicamente el nivel superior, mas no los inferiores de la estructura de alternativas.

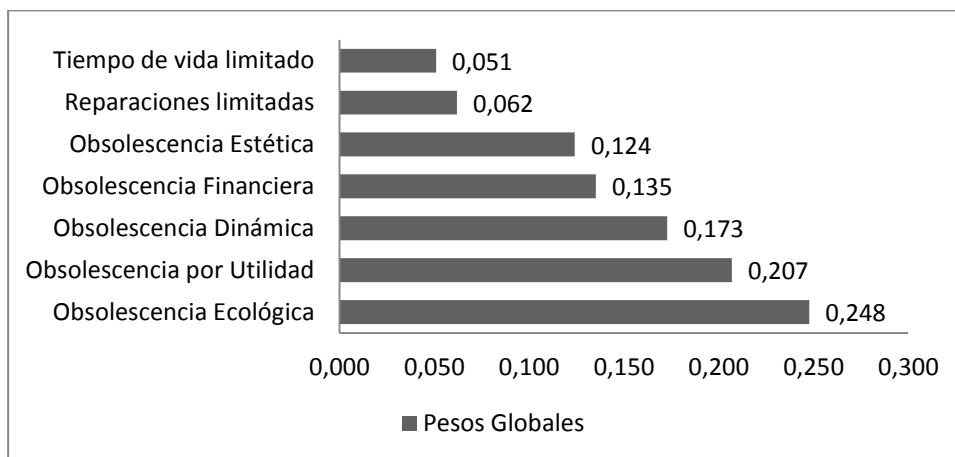
### 5.1.3 Cálculo de la prelación global

En la Tabla 5-5 y en la Figura 5-7 se muestra tanto la ponderación como la priorización global de las alternativas. Destaca el hecho que ratifica el último nivel de preferencia de los patrones correspondientes a la obsolescencia absoluta, a juicio de los expertos y para el producto seleccionado.

**Tabla 5-5:** Orden de prioridad global – modelos de obsolescencia.

Prioridad	Alternativa	Pesos Globales
1	Obsolescencia Ecológica	0,248
2	Obsolescencia por Utilidad	0,207
3	Obsolescencia Dinámica	0,173
4	Obsolescencia Estética	0,135
5	Obsolescencia Financiera	0,124
6	Reparaciones limitadas	0,062
7	Tiempo de vida limitado	0,051

**Figura 5-7:** Orden de prioridad global – modelos de obsolescencia.



En el proceso de establecer la prioridad global de los modelos de obsolescencia con respecto a los criterios seleccionados del eco-diseño de productos, se establece nuevamente que una vez agregados los juicios de los expertos, el nivel de inconsistencia evidenciado en todos los casos es nuevamente muy inferior al 10% (0,1), límite máximo admitido en el proceso. En éste punto se debe recalcar la validez de la estructura jerárquica – y en conformidad del PAJ – para medir intangibles, característica que tienen tanto los criterios seleccionados como las alternativas evaluadas. Igualmente, se debe hacer énfasis en la aplicación que tiene el PAJ para lograr la priorización de alternativas a partir de estructuras jerárquicas ya definidas en la teoría, pero que no se han tenido en cuenta para estudios de evaluación, selección, priorización o ponderación.

Finalmente, teniendo en cuenta el estado actual del conocimiento, se establece tanto con los resultados obtenidos como con el índice de consistencia derivado del análisis de los juicios emitidos por los expertos un aporte fundamental del trabajo, reflejado en la estructura jerárquica propuesta en la Figura 5-1. En ésta estructura se cimienta la relación de dos elementos que son en principio opuestos, y demuestra por primera vez un vínculo existente entre el eco-diseño y la obsolescencia programada.

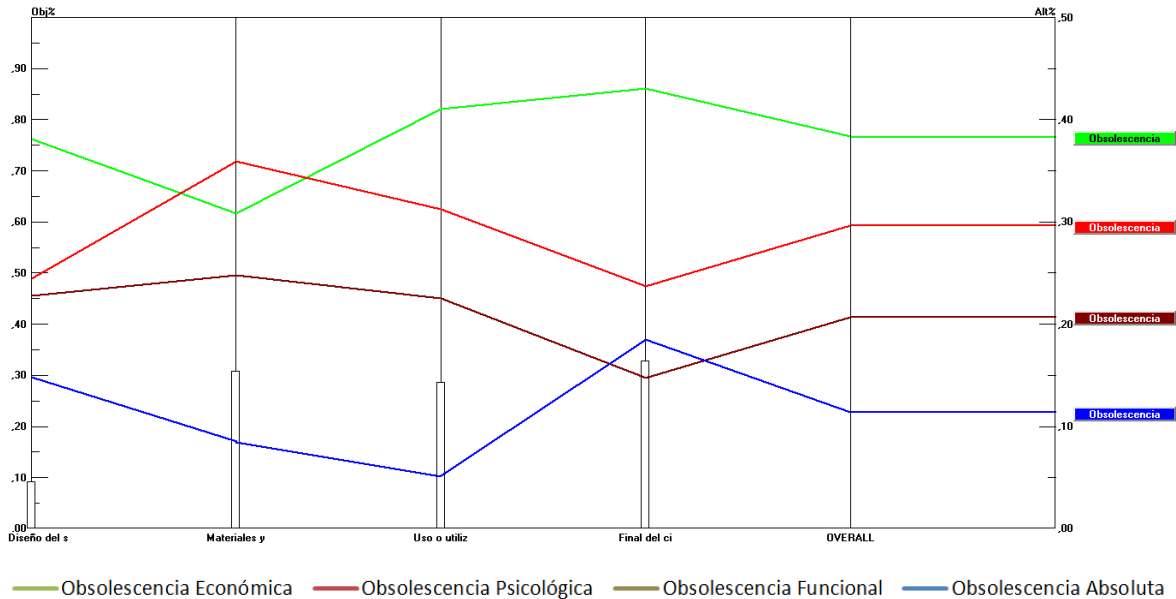
## **5.2 Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad es la prueba realizada a los resultados obtenidos mediante la modificación sucesiva de los pesos de los criterios. El resultado del análisis ofrece la exploración de la susceptibilidad de cambio en los resultados ante potenciales alteraciones en los pesos de los criterios.

El análisis de sensibilidad presentado de la Figura 5-8 a la Figura 5-11 muestra la priorización relativa de cada una de las alternativas con respecto a cada criterio. La ponderación de cada una de las alternativas con respecto al criterio principal y cada uno de los criterios subyacentes se refleja en la escala del eje derecho, mientras el peso de cada uno de los sub-criterios con respecto al criterio principal se proyecta en la escala del eje izquierdo. De ésta forma también se puede observar cuál alternativa es más preferida no sólo para el objetivo general, sino además para cada uno de los objetivos secundarios.



**Figura 5-8:** Gráfico de desempeño de las alternativas generales con respecto al eco-diseño.



En el gráfico de desempeño de las alternativas generales con respecto al eco-diseño se reafirma cómo la obsolescencia absoluta ocupa el último lugar en la ponderación realizada con base en el juicio de los expertos. Ésta alternativa resulta ser la menos preferida al tener en cuenta los atributos de “Diseño del sistema”, “Materiales y componentes” y “Uso o utilización”, y la segunda menos preferida en el atributo de “Final del ciclo de vida”. Dada ésta relación de dominancia, se reafirma la preferencia de las demás alternativas aún sin tener en cuenta la ponderación de los criterios del eco-diseño.

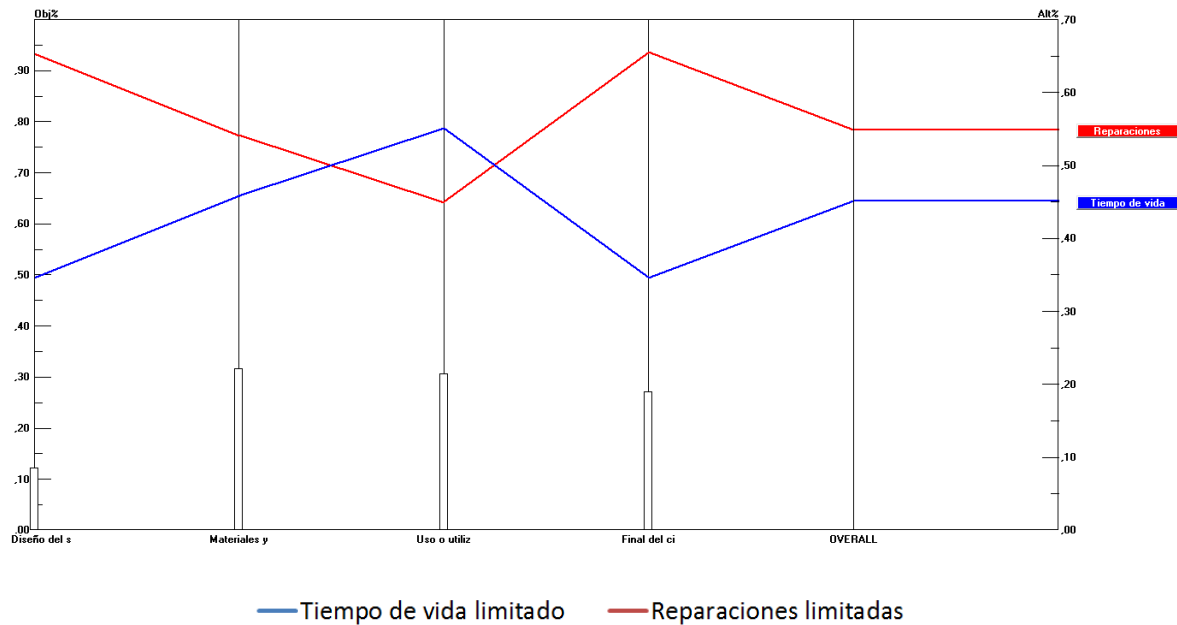
De la misma forma se ratifica la posición de la obsolescencia económica como la alternativa preferida a juicio del panel de expertos al tener en cuenta los criterios medioambientales del eco-diseño. Ésta alternativa resultó ser la más preferida en razón de los atributos de “Diseño del sistema”, “Final del ciclo de vida” y “Uso o utilización”, y la segunda más aventajada en la evaluación del atributo de “Materiales y componentes”. Al igual que sucede con el análisis de la obsolescencia absoluta, existe una dominancia claramente marcada de la alternativa “obsolescencia económica” por sobre sus pares.

Las alternativas restantes, “obsolescencia psicológica” y “obsolescencia funcional” ocupan el segundo y tercer lugar respectivamente en tres de los cuatro atributos del eco-

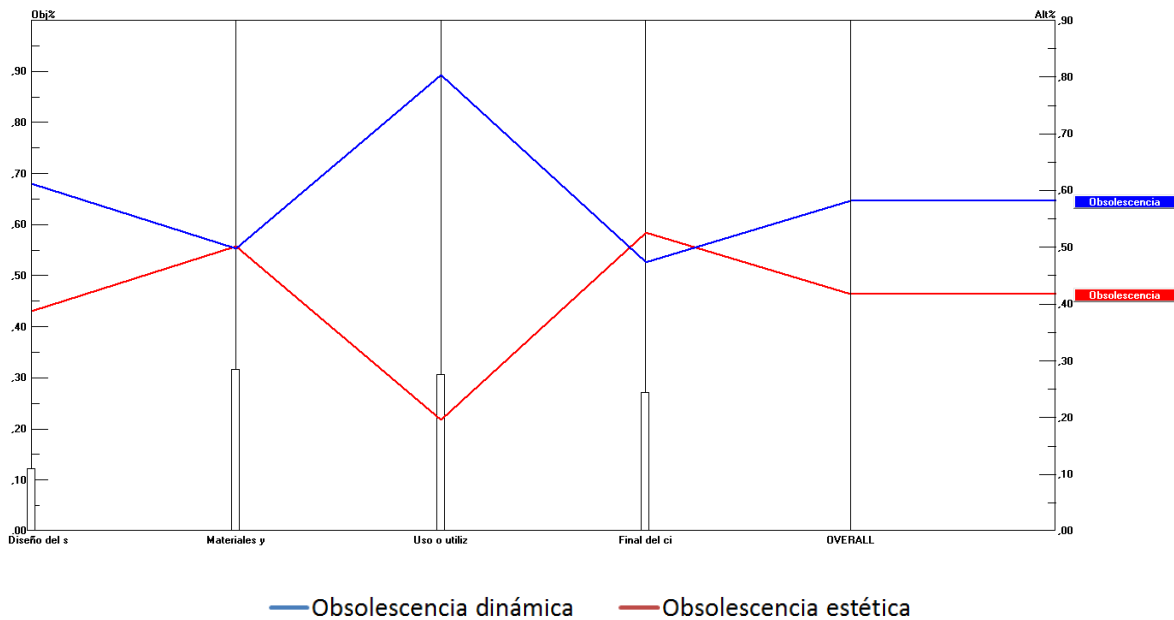
diseño. Este hecho marca una clara relación entre los diferentes atributos, relación que se explica debido al impacto global de cada uno de los criterios y sub-criterios tenidos en cuenta, dada la inminente conexión entre los diferentes sub-criterios del eco-diseño.

El resultado del desempeño de las alternativas generales con respecto a los diferentes atributos de la estructura jerárquica indica cómo la priorización de las alternativas puede ser ejecutada de manera independiente al proceso de evaluación del árbol de criterios, esto es, sin necesidad de tener en cuenta los resultados de la ponderación y la priorización global de los atributos medioambientales del eco-diseño de productos.

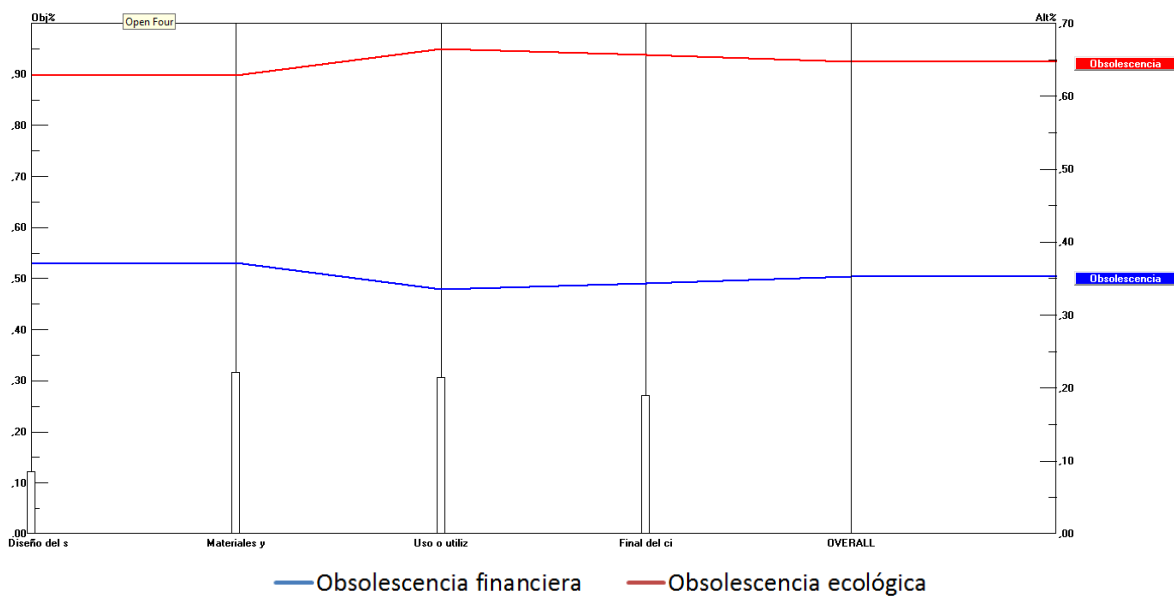
**Figura 5-9:** Gráfico de desempeño de las alternativas correspondientes a la obsolescencia absoluta con respecto al eco-diseño.



**Figura 5-10:** Gráfico de desempeño de las alternativas correspondientes a la obsolescencia psicológica con respecto al eco-diseño.



**Figura 5-11:** Gráfico de desempeño de las alternativas correspondientes a la obsolescencia económica con respecto al eco-diseño.



En las Figuras 5-9 a 5-11 se contempla como las alternativas correspondientes a “reparaciones limitadas”, “obsolescencia dinámica” y “obsolescencia ecológica” son preferidas por sobre sus pares. Si bien el análisis del desempeño de las alternativas

generales profundiza la diferencia existente entre cada una de las alternativas disponibles, el contraste entre los pares conformados por las alternativas específicas es notoriamente menos definido. Esto es decir, si bien una compañía puede decidir, diferenciar y justificar qué alternativa elegir en el diseño de un nuevo producto, éste tipo de diferenciación no está igualmente definida a nivel del usuario o consumidor. En un ejemplo concreto, si se analiza el caso de la obsolescencia económica, en donde la primacía de una de las alternativas por sobre la otra es indiscutible, tanto la obsolescencia financiera como la ecológica se reducen al consumo de recursos por parte del producto, por lo que un impacto en el uso de recursos naturales tiene un reflejo inmediato y directo sobre los recursos financieros. De tal modo, la prelación global de la obsolescencia ecológica puede interpretarse indistintamente tanto por las características de los decisores participantes como por el trasfondo ambiental del estudio.

En conformidad, se puede concluir que la detallada especificación de los diferentes modelos de obsolescencia existente en la literatura (Goering & Boyce, 1993; Waldman, 1993; 1996; Choi, 1994; Granberg, 1997; Cooper, 2004; Guiltinan, 2008) es una diferenciación básicamente teórica que no trasciende sin embargo de manera clara al caso práctico. De ésta forma, la clasificación en niveles de obsolescencia, establecida en la estructura jerárquica clasificada de alternativas con base en la cual se desarrolla el presente trabajo (véase Figura 4-3) se configura en una guía más práctica para el entendimiento de la obsolescencia programada.





## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

Durante la etapa de desarrollo del producto intervienen distintos niveles y áreas de la compañía, que si bien no están involucrados de manera directa en el diseño, sí son interesados en el proceso. Debido al enfoque ecológico que se resalta en el trabajo se involucran también expertos consultores y asesores externos a la compañía, cuyas opiniones pueden contraponerse a las de los interesados internos debido a las consideraciones de impacto global que se tienen durante el análisis del ciclo de vida del producto, que trascienden sobre los cuidados financieras y de negocios de la firma.

Aun cuando existen numerosas guías y herramientas que están disponibles para brindar principios y acercamientos al eco-diseño en el desarrollo del producto, el proceso de diseño actual se ve afectado por las condiciones ambientales y los procesos económicos de la empresa, así como por el juicio subjetivo de los diseñadores, consultores y demás interesados de las diferentes áreas.

Por estas razones, el análisis de decisiones con base en múltiples criterios es una herramienta que resulta bastante útil y explicativa en los procesos de diseño de productos. Como resultado, se tiene una gran cantidad de información sintetizada que permite observar de manera directa las diferentes dimensiones del problema según las opiniones de los diferentes interesados. En éste caso, el MCDA ha comprobado cómo puede ayudar a los diseñadores a escoger el modelo de obsolescencia más apropiado, al evaluar alternativas comparables bajo criterios definidos y teniendo en cuenta los juicios transversales de la compañía.

Pese a la interacción global de los distintos niveles de la compañía en el desarrollo de productos es sobre el equipo de desarrollo sobre quien recae la responsabilidad del diseño. En el trabajo se resalta la importancia del eco-diseño, y por lo tanto se contó con

el apoyo de dos expertos en diseño y gestión ambiental externos a la compañía, cuyos juicios hicieron posible la priorización de los atributos descritos dentro del ambiente propio de la empresa. Sin embargo, el contar con ambientes de desarrollo y negocios o una estructura organizacional diferente puede cambiar la ponderación de los atributos medioambientales del eco-diseño. Se puede decir entonces que ya que cada organización tiene sus diferencias, inclusive si están en el mismo sector productivo, los hallazgos del estudio de caso plasmados en los resultados del trabajo no generalizables estadísticamente, aunque concuerden en ciertos puntos con resultados de otras investigaciones tanto teóricas (Goering & Boyce, 1993; Waldman, 1996) como estadísticas (MEErp, 2011).

Del mismo modo, el tener en cuenta todos los atributos del ACV y los propios del producto total conlleva a un desarrollo más completo de la ponderación de los atributos del eco-diseño, aunque no afecta el objetivo del trabajo que es la relación de éstos con la obsolescencia programada.

El ACV es una metodología de análisis de impacto ambiental que debido a su mismo enfoque resulta bastante tediosa y compleja de aplicar. Si bien el trabajo está enfocado sobre los atributos del diseño en sí mismos y no tiene en cuenta sus implicaciones sobre los procesos de producción, la aplicación del modelo presentado resulta de gran utilidad en el momento de dimensionar realmente cuales son los procesos que se deben o se quieren afectar. De este modo permite enfocar los esfuerzos de gestión ambiental en los atributos mejor ponderados para el contexto de la organización mediante el uso de técnicas más complejas como matrices de Leopold o eco-indicadores, entre otros.

La construcción de la estructura jerárquica completa de los atributos del eco-diseño, elaborada a partir de revisión bibliográfica, aporta no solo la comprensión de las cualidades del eco-diseño, sino que también unifica y complementa las características y etapas que se tienen en cuenta normalmente en las guías para diseñadores, productores e integradores.

Teniendo en cuenta el estado actual del conocimiento, del mismo modo se observa cómo la estructura jerárquica que permite la evaluación de la importancia de los modelos de la



obsolescencia programada dentro del marco del eco-diseño de productos, estructura presente en la Figura 5-1, relaciona por primera vez dos conceptos opuestos como lo son el eco-diseño y la obsolescencia programada. La estructura jerárquica por lo tanto el pilar de la metodología planteada para evaluar la relación entre estos dos elementos, de forma que puede ser replicada en otras organizaciones.

En el trabajo se comprueba como el PAJ permite no sólo el formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos, sino que es una herramienta que permite la evaluación de la solución óptima a través de un solo criterio de evaluación desde múltiples puntos de vista y criterios. Permite también juzgar el vínculo entre dos elementos que son en principio disímiles, una vez establecida una unión entre estos. Igualmente, se presenta la unión de dos campos muy diferentes, como lo son el eco-diseño y el MCDA, probando cómo pueden éstas metodologías apoyar a la comprensión y el análisis en distintos campos del conocimiento, facilitando la toma de decisiones y ponderando la importancia de las alternativas.

La utilización de matrices de responsabilidades para la selección de los integrantes del panel de expertos aporta información importante sobre la forma en la cual cada uno de los decisores es importante para el proceso de evaluación. De la matriz referida en el documento se puede concluir que con respecto al rol de Informado, debido a su misma naturaleza, puede obviarse al momento de seleccionar el panel de expertos participantes.

La ponderación de los atributos del eco-diseño tenidos en cuenta evidencia como, a juicio de los expertos, existe una marcada diferencia a favor de los atributos incluidos en el ACV, afectando las consideraciones propias de la concepción inicial del producto, aun cuando se resalte el valor de éstas para la definición completa del eco-diseño. Debido a esto, pese a que el sub-criterio de longevidad es muy favorecido dentro de la concepción inicial del producto, no resulta equiparable con los demás factores evaluados. Prueba esto además como a pesar de que todos los criterios y atributos evaluados hacen parte sustancial del mismo concepto, bajo los mismos principios e igual fin, no todos los criterios son igualmente importantes para la consecución del objetivo propuesto.

A juicio de los expertos, los criterios que tengan un impacto ambiental directo suelen ser más preferidos que aquellos cuyo impacto no sea tan inmediato. Se evidencia como las

consideraciones de final del ciclo de vida recibe el primer nivel de priorización en su nivel, mientras el evitar el uso de sustancias peligrosas, minimizar la contaminación durante la etapa de uso del producto, y un diseño que favorezca el desensamble son preferidos por encima de los demás criterios de tercer nivel de jerarquía.

En éste sentido se puede evidenciar cómo si bien la agrupación de criterios presente en la estructura jerárquica utilizada, recopilada por las guías de eco-diseño presentes en Ihobe (2008, 2010), Adams (2007) y The Center of Sustainable Design (2002), fue validada y considerada pertinente por los expertos, existen tres conceptos en apariencia cercanamente relacionados como lo son los sub-criterios de "Simplicidad", "Diseño para facilitar el desensamble" y "Diseño para la recuperación de materiales", que sin embargo son agrupados en dos atributos diferentes, dada la inminente interrelación entre los diferentes sub-criterios del eco-diseño,. Ésta agrupación crea una marcada diferencia en la priorización final de los mencionados criterios. Aun cuando en la metodología PAJ sí existe el concepto de validez de los instrumentos, representada por el índice de inconsistencia derivado del juicio de los jurados, la ponderación superlativa dada por los expertos al atributo "Final del ciclo de vida" con respecto al "Diseño del sistema" marca una diferencia importante en la priorización resultante. Ésta diferencia existe, reivindicando el punto anterior, debido a la inmediatez en el impacto ambiental que pueden tener los criterios agrupados en el concepto de "final del ciclo de vida" con respecto a las consideraciones iniciales que se tienen en el "diseño inicial del sistema".

Si bien hoy día se refiere en la literatura académica que la "voz del ambiente" es particularmente articulada en el eco-diseño de productos a través de la integración de *stakeholders* externos a las firmas, en especial aquellos que no tienen intereses económicos asociados al actuar de la misma, el impacto sobre los resultados y la sensibilidad de los mismos al no tener en cuenta de forma explícita éste tipo de decisores es mínimo, al tener en cuenta las características de los consultores externos a la compañía que fueron parte del panel de decisores. Si bien la información provista por los Consultados internos de la firma aportó información concluyente para los decisores, su condición de consultores externos a la compañía hace pertinente su opinión con respecto a los aspectos medioambientales del diseño de productos, debido a que éstos son contemplados de manera independiente y prácticamente exclusiva.

A lo largo del trabajo se desplegaron diferentes conceptos relacionados a la obsolescencia. Si bien se puede argumentar que la denominada obsolescencia absoluta es la única que se puede clasificar dentro del concepto tradicional de obsolescencia programada (entendida como como diseñado para no durar), todos los demás modelos descritos cumplen con el criterio de ser incluidos por la propia firma durante el desarrollo de productos, y por lo tanto estar incluidos en éste concepto global de obsolescencia programada. Sin embargo, los debates expuestos acerca de las diferentes características sociales ambientales, tecnológicas y de mercadeo relacionadas a la obsolescencia programada pueden tener mejor relación con el concepto amplio de obsolescencia programada que con la definición que la limita simplemente a la obsolescencia absoluta.

En la priorización general de los patrones de obsolescencia de jerarquía superior según los atributos medioambientales del eco-diseño de productos se observa cómo la obsolescencia absoluta ocupa el último lugar, pese a la baja ponderación obtenida por el criterio de la longevidad del producto en la primera etapa del trabajo. En conformidad, si bien la noción de vida útil y el tiempo de vida de los productos es fundamental para definir los conceptos de “producto verde” o “producto total” (Peattie & Charter, 2003), la longevidad de los productos no configura un “factor clave en la ruta hacia el consumo sostenible” (Cooper T. , 2005). Los factores que pueden sustentar ésta conclusión pueden ser o bien el carácter de negociación de la empresa – usando leasing en lugar de venta directa – (Goering & Boyce, 1993; Waldman, 1996) o bien transferir éste resultado a la simple opinión de los decisores, expertos en diseño y gestión ambiental.

Así mismo, si bien según los resultados expuestos existe una relación intrínseca entre el eco-diseño y la obsolescencia programada, al tomar en consideración tanto los diferentes tipos de obsolescencia como el hecho que la denominada obsolescencia absoluta tradicionalmente denominada obsolescencia programada, resultaría existir un vínculo antagónico entre ambos conceptos, debido a la existencia de alternativas predominantes que se articulan de menor manera al concepto de eco-diseño.

A su vez, la priorización de los patrones generales de obsolescencia según los atributos medioambientales del eco-diseño de productos sugiere igualmente cómo a juicio de los decisores la obsolescencia económica es muy preferida sobre sus pares. De ésta forma,

se establece un nexo inequívoco entre la obsolescencia económica y el eco-diseño de productos.

El resultado del desempeño de las alternativas generales con respecto a los diferentes atributos de la estructura jerárquica indica cómo la priorización de las alternativas puede ser ejecutada de manera independiente al proceso de evaluación del árbol de criterios, esto es, sin necesidad de tener en cuenta los resultados de la ponderación y la priorización global de los atributos medioambientales del eco-diseño de productos. Se apoya ésta conclusión en la mencionada interconexión entre los criterios desarrollados.

Dentro de la especificación de la obsolescencia económica se encuentra que es muy preferida la obsolescencia ecológica sobre la financiera. Nuevamente, éste tipo de diferenciación no es muy bien definida para el usuario, y la prelación global de la obsolescencia ecológica puede interpretarse tanto por las características de los decisores participantes como por el trasfondo ambiental del estudio.

En conformidad, se puede concluir que la detallada especificación de los diferentes modelos de obsolescencia existente en la literatura es una diferenciación básicamente teórica que no trasciende sin embargo de manera clara al caso práctico. De ésta forma, la clasificación en niveles de obsolescencia establecida en el presente trabajo se configura en una guía más práctica para el entendimiento de la obsolescencia programada.

En relación al objetivo principal del presente trabajo, existe una relación directa entre el “Diseño para favorecer la prevención de accidentes” y la obsolescencia absoluta, en especial el “tiempo de vida limitado”. Si bien el diseño para favorecer la prevención de accidentes involucra necesariamente “una búsqueda deliberada para que un producto deje de funcionar”, bajo ciertas circunstancias, no es “un proceso deliberado para recortar la vida útil de los productos”, por lo cual no hace parte de la definición de la obsolescencia programada.

La nueva metodología planteada en el trabajo para la minimización del esfuerzo en la aplicación del PAJ prueba su valía no sólo en éste ítem, sino que amplía las fronteras del

proceso al permitir la inclusión de más alternativas para ser evaluadas, ayudar a la reducción de inconsistencias de parte de los decisores y orientar de mejor manera los esfuerzos de los participantes. Si bien la modificación presentada puede ser considerada una mejora del PAJ tradicional, puede no ser aplicable o inclusive innecesaria para numerosas prácticas del PAJ.

Para la aplicación del PAJ, fue de gran importancia el diseño y prueba del cuestionario previa su aplicación a los decisores. El uso de ésta herramienta facilita y hace más llevadero el desarrollo del proceso con los decisores.

## **6.2 Recomendaciones**

Un análisis del eco-diseño como el planteado se puede complementar al no tomar en cuenta únicamente los atributos medioambientales del producto, sino demás aspectos tanto del producto como de la estructura de negocios y organizacional de la compañía.

Igualmente, el análisis sobre un producto diseñado, desarrollado y fabricado por una compañía que integre elementos de gestión ambiental en sus procesos de producción, o que involucre dentro del proyecto todos los elementos mencionados en la matriz de responsabilidades, podría fortalecer el análisis de ponderación de los atributos del eco-diseño.

Además de la inclusión de funcionarios internos de la empresa relacionados las diferentes tareas definidas en la matriz de responsabilidades, se recomienda la inclusión de agentes externos no interesados en el ejercicio económico de la firma, en especial en la primera etapa del estudio, debido a la pertinencia de la opinión de expertos no involucrados en los intereses económicos de la firma con respecto a la evaluación ambiental de los productos sobre los cuales se fundamente el estudio.

Si bien en la primera etapa del trabajo las concepciones de sostenibilidad pueden resultar un poco más generales, de forma que la aplicación pueda depender de agentes externos a la compañía, la relación de los conceptos de eco-diseño y obsolescencia programada que se desarrolla en la segunda etapa del proceso resulta un proceso más puntual y es específico para cada caso. En conformidad, en el grupo de decisores debe incluirse

expertos externos a la compañía, para de ésta forma articular de mejor manera los conceptos del eco-diseño. En la segunda etapa del proceso, es necesaria la inclusión de expertos funcionarios de la compañía para así reflejar los intereses de la firma en el diseño de productos, y de ésta forma relacionar cabalmente al eco-diseño con la obsolescencia programada en cada caso específico. Es precisa ésta junción debido a que los procesos internos de cada compañía difieren entre sí, al igual que la naturaleza de los productos. El grupo de expertos participantes puede ser ampliado de ésta forma para cubrir de mejor manera la transversalidad del estudio, de forma que se conforme un modelo de decisión multi-experto.

La estructura jerárquica de modelos de obsolescencia planteada puede ser motivo de revisión y estudio en futuras investigaciones. Existen diferentes modelos de obsolescencia no contemplados por no hacer parte de la obsolescencia programada en su sentido amplio, e incluso no incluidos en las clasificaciones generales construidas, pero que sí pueden estar relacionados con el eco-diseño.

De igual modo, y pese a recibir su aval por parte del grupo de decisores y su presencia en varias guías, la estructura jerárquica principal relativa a los criterios del eco-diseño de productos puede ser motivo de revisión, debido al mencionado conflicto existente en la agrupación de criterios, debido su inevitable interrelación.

El resultado de la valoración global de las alternativas usando el método tradicional del PAJ puede ser contrastado con las conclusiones obtenidas por la nueva metodología planteada, para así comprobar su validez y eficacia. La validación de resultados se puede llevar acabo también realizando un análisis de dominancia sobre las alternativas, antes de la aplicación del PAJ.

El uso de un software que soporte y acompañe el PAJ es de gran utilidad, debido no sólo a la facilidad de análisis y velocidad de procesamiento de los datos, sino a que permite realizar análisis de sensibilidad sobre los juicios de los expertos.

El PAJ se desarrolló haciendo uso únicamente de criterios cualitativos, influenciados por la precepción de los decisores. La evaluación de los criterios planteados mediante

escalas naturales o demás progresiones cuantitativas puede dar mejor fundamento a la decisión final.





## **A. Anexo: Modelo de cuestionario – Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)**

A continuación se encuentra un ejemplo del modelo de cuestionario usado en el Proceso Analítico Jerárquico para la comparación de alternativas por criterio, a modo de explicación de la herramienta utilizada y de la metodología aplicada, en especial las comparaciones pareadas entre criterios y la escala de Saaty (1994).

Se muestran ejemplos de los dos cuestionarios aplicados en el estudio de caso a los expertos y elaborados acorde a la metodología de relación de ambos conceptos. Los dos cuestionarios corresponden a etapas distintas de la metodología, de modo que el objetivo del segundo difiere del primero.

Con la información recabada se obtienen los pesos de cada uno de los atributos y criterios de la estructura jerárquica, así como la ponderación de las diferentes alternativas y es posible verificar la consistencia de los juicios manifestados por los expertos.

### **Cuestionario - Proceso Analítico Jerárquico**

#### **¿Para qué?**

De acuerdo con los criterios de eco-diseño de productos, se requiere priorizar los atributos medioambientales teniendo en cuenta el análisis del ciclo de vida expuesto en la norma ISO 27000, de tal manera que los esfuerzos y recursos usados en el diseño de productos sean focalizados en los aspectos de mayor importancia para minimizar el impacto medioambiental del producto básico o tangible.

#### **Metodología**

El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) es uno de los métodos para la toma de decisiones multicriterio, desarrollado por Thomas Saaty que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico.

Esta metodología se fundamenta de manera general en las siguientes etapas:

1. Definición del objetivo de la aplicación del proceso analítico jerárquico.
2. Definición y selección de criterios y sub-criterios
3. Asignación de pesos para cada criterio (Método PAJ).
4. Evaluación de los criterios cualitativos.
5. Priorización de las alternativas.

Este cuestionario aporta al desarrollo de la etapa 3.

### Objetivo del cuestionario

**Etapa 3:** Identificar la importancia dada a cada criterio mediante la comparación binaria entre ellos.

### Instructivo

A continuación se presentan en total 5 preguntas, orientadas a identificar la importancia dada a cada uno de los criterios para la determinación de los respectivos pesos. La determinación del nivel de importancia y preferencia se medirá de acuerdo con la escala de Saaty definida de la siguiente manera:

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios

Teniendo en cuenta lo anterior, para cada las preguntas marcar con una X el nivel de preferencia o importancia de la alternativa  $i$  sobre la alternativa  $j$ .

### Ejemplo comparación entre alternativas por criterio:

1. Con relación al uso de **recursos y materiales de producción**, ¿qué criterio considera más importante?

**De acuerdo con el juicio del experto A:** Evitar sustancias peligrosas es mucho más importante que el uso de materiales renovables o reciclables. Las razones de ésta apreciación no son requeridas de manera explícita en el presente cuestionario.

a) **Uso de materiales renovables o reciclables**

¿En qué grado?

**Evitar el uso de sustancias peligrosas**

## Cuestionario - Proceso Analítico Jerárquico

### ¿Para qué?

De acuerdo con los atributos medioambientales del eco-diseño de productos, se requiere determinar la alternativa preferida para su inclusión en el diseño de productos. De ésta forma se pretende determinar la relación existente entre la obsolescencia programada y el eco-diseño de productos.

### Metodología

El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) es uno de los métodos para la toma de decisiones multicriterio, desarrollado por Thomas Saaty que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico.

Esta metodología se fundamenta de manera general en las siguientes etapas:

1. Definición del objetivo de la aplicación del proceso analítico jerárquico.
2. Definición y selección de criterios y sub-criterios
3. Asignación de pesos para cada criterio (Método PAJ).
4. Evaluación de los criterios cualitativos.
5. [Priorización de las alternativas.](#)

Este cuestionario aporta al desarrollo de la etapa 5.

### Objetivo del cuestionario

[Etapa 5](#): Determinar la preferencia entre las alternativas definidas para cada criterio establecido en el árbol del eco-diseño de productos.

### Instructivo

A continuación se presentan en total 5 preguntas, orientadas a identificar la importancia dada a cada uno de los criterios para la determinación de los respectivos pesos. La determinación del nivel de importancia y preferencia se medirá de acuerdo con la escala de Saaty definida de la siguiente manera:

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios

Teniendo en cuenta lo anterior, para cada las preguntas marcar con una X el nivel de preferencia o importancia de la alternativa  $i$  sobre la alternativa  $j$ .

### Ejemplo comparación entre alternativas por criterio:

---

1. Con relación al uso de materiales reciclables o renovables, ¿qué patrón de obsolescencia es más preferido?, es decir, ¿qué alternativa considera Ud. debería usarse o incluirse en el diseño?

**De acuerdo con el juicio del experto A:** La Obsolescencia absoluta es mucho más preferida que la obsolescencia funcional con relación al uso de materiales reciclables o renovables. Las razones de ésta apreciación no son requeridas de manera explícita en el presente cuestionario.

a) Obsolescencia Absoluta

¿En qué grado?

Obsolescencia Funcional





## B. Anexo: Propuesta de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Vicedecanatura Académica  
POSGRADOS

### PRESENTACIÓN PROPUESTA

TESIS DE DOCTORADO:  TESIS DE MAESTRÍA:   
TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA:  TRABAJO FINAL DE ESPECIALIZACIÓN

1. PROPONENTE: Pedro Nicolás Casas Páez. CÉDULA: 1032401875
2. PROGRAMA: Maestría en Ingeniería- Ingeniería Industrial
3. DIRECTOR PROPUESTO: PhD. Félix Antonio Cortes Aldana  
DEPARTAMENTO: Ingeniería de Sistemas e Industrial.
4. TÍTULO: Evaluación de la relación de la Obsolescencia Programada y el Eco-Diseño de Productos con Base en la Metodología MCDA  
ÁREA: Toma de Decisiones.  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Investigación De Operaciones.
5. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:

Tanto la producción en masa como el mercado de masas ocurridos en el siglo XX originaron un crecimiento económico que incentivó la competencia en los mercados, elemento que dio origen a su vez a la formalización del mercadeo, bajo la presunción que la riqueza generada a partir del crecimiento económico mejoraría la calidad de vida de la población involucrada. (Peattie & Charter, 2003).

El reto para el nuevo siglo es la búsqueda de formas más sostenibles y equitativas de producción y consumo, desafío aceptado por los gobiernos de la convención de Rio en 1992. El concepto de sostenibilidad (económico, ambiental, social y ético) demanda grandes cambios tanto en el mercadeo como en demás funciones del negocio, debido a los problemas tanto ambientales como sociales derivados de la actividad comercial (Shrivastava, 1994).

Si bien el concepto de mercadeo verde tiene su origen en el marketing ecológico surgido durante la revolución social de los 70's (Hennison & Kinnear, 1976), el concepto de sostenibilidad se involucró en la década de los 90's, evolucionando al concepto de mercadeo verde existente hoy en día, que busca el estímulo y facilidad de consumo dentro del marco de la conservación (van Dam & Apeldoorn, 1996).

Peattie & Charter (2003) caracterizan el mercadeo verde desde todos los frentes con base en varias definiciones que involucran tanto a los *stakeholders* como a los conceptos fundamentales de su aplicación, y finalmente mediante una lista de desafíos que enfrenta el mercadeo verde, como lo son el desafío Filosófico, el Administrativo y el Práctico. El reto Práctico, definido con el "enverdecimiento" del *marketing mix*, cubre los conceptos de empaque, promoción, fijación de precios, logística, y etiquetado (*labelling*) de productos, sin embargo es la administración de productos verdes el que define la concepción de una economía significativamente más "verde".

La administración de productos verdes se define como la búsqueda de nuevas tecnologías y productos que puedan ser "más verdes", en lugar de buscar soluciones superficiales a los problemas ambientales y sociales mediante iniciativas de "final de tubo". Tal implementación requiere la involucración total de la compañía caracterizada por altos niveles de integración y comunicación, información, consideración temprana de los problemas ambientales y un enfoque directo a indicadores y evaluación de productos, servicios y procesos (Pujari et al., 2002).

Las características del producto verde se clasifican en las dos categorías tradicionales del mercadeo. El producto básico o tangible, el cual se entrega al cliente y que involucra todos los aspectos físicos y dimensionales del mismo, incluyendo el empaque; y el producto aumentado que cubre las características restantes del servicio, características que definen al "producto total" (Peattie, 2005). Dentro del primer grupo, ha surgido en la administración de productos verdes el concepto clave del post-uso del producto. Dentro de tal, se han identificado cinco oportunidades de mejora, identificadas como las "cinco Rs", cuya atención demanda el concepto de sostenibilidad:

- Reparación
- Reacondicionamiento
- Re-uso
- Reciclaje



- Re-fabricación

Dentro de tal concepto del producto total y el producto verde, es clave la noción de la vida útil y el ciclo de vida de los productos, concepto primordial dentro del mercadeo verde, cuya noción insiste en el desempeño del producto tanto antes de su adquisición como después de su uso. (Peattie & Charter, 2003). Tal visión involucra la consideración del desempeño del producto por un periodo que puede llegar a ser de varios años, siendo de fundamental importancia para los productos durables, en donde la concepción de durabilidad toma un nuevo significado, debido a su implicación directa en la tasa de remplazo de productos.

La durabilidad de los productos vista de tal forma ha causado gran debate en los círculos académicos desde los puntos de vista de administración, mercadeo y economía, en especial desde la introducción del concepto de obsolescencia programada, el proceso deliberado de recortar la vida útil de los productos (Packard, 1960; Coase, 1972). Los estudios actuales relativos a la obsolescencia profundizan no solo en la durabilidad implícita de los bienes, sino que se centran en los motivos por los cuales los productos duraderos se vuelven obsoletos, y al origen de tales razones.

La obsolescencia programada nace en el estudio de la actividad comercial de los productores monopolistas, en el cual el productor disminuirá el precio del producto después de un tiempo o de una primera compra, para así capturar otro segmento del mercado. Según este actuar, los consumidores esperarían la disminución de precios para realizar la compra, lo que afectará directamente al productor. Aparte del impedimento hacia la compra de éste tipo de productos (productos anteriores), la solución se establece en la adopción de algún modelo de obsolescencia, bien sea de funcionalidad o psicológica mediante la inclusión de nuevas tecnologías y demás extras que añadan valor al producto (Waldman, 1996; Bulow, 1986), o la más agresiva obsolescencia de origen, al descartar las demás opciones (Waldman, 1993; Choi, 1994). Se incluye en ésta clasificación la introducción de incompatibilidad entre modelos (Waldman 1993, Ellison & Funderberg 2000).

Heiskanen (1996) plantea nuevamente tres escenarios básicos en los cuales existe un patrón definido y comprobable de obsolescencia: fallas o desperfectos en los productos, insatisfacción y cambios en las necesidades de los consumidores establecen los modelos comportamentales básicos del mercado moderno en relación a la obsolescencia, clasificados como obsolescencia absoluta y obsolescencia relativo por Granberg (1997). Cooper (2004) afirma que de los tres, los dos primeros están directamente relacionados con el diseño de productos, sector donde entra nuevamente y de forma directa el concepto de obsolescencia programada. Dentro del marco de la obsolescencia relativa, se definen tres segmentos, explorando el concepto de obsolescencia funcional y ampliándolo a obsolescencia económica y tecnológica.

Guiltinan (2008) recopila finalmente cinco clases de obsolescencia física, que son las que puedan formar fundamentalmente la obsolescencia programada:

- Diseño de tiempo de vida limitado: Bajo el marco de la obsolescencia de origen, los productos son diseñados para dejar de funcionar en un tiempo fijo.
- Diseño para reparaciones limitadas: Pertenece también a la obsolescencia de origen, la reparación de los productos no es viable.

- Diseño de estética que conlleva a reducir la satisfacción: Junta tanto la obsolescencia de origen como la psicológica. El diseño del producto está hecho para dañarse estéticamente, lo que produce obsolescencia psicológica aun cuando éste sea todavía útil.
- Diseño para la moda: Es parte de la obsolescencia psicológica, donde la estética de un producto nuevo supera la del anterior, y causa que se quiera reemplazar.
- Diseño para ampliaciones funcionales: Obsolescencia de funcionalidad, un nuevo producto cuenta con más valor agregado que el anterior modelo.

En torno a la clasificación de los distintos tipos de obsolescencia para comprobar si es o no programada, Swan (1972) y Grout & Park (2005) señalan que si bien la obsolescencia es programada en todos los sentidos, aun cuando no sea obsolescencia de origen, le atribuyen su inclusión en el mercado a la adaptación de las empresas al comportamiento de la demanda. Establecen que una compañía que no incluya en su modelo de negocios algún patrón de obsolescencia (programada en éste sentido, al ser deseada por la firma), no es capaz de subsistir en el mercado, debido a la dinámica de un mercado competitivo, siendo ésta la forma de minimizar la asimetría de información entre el consumidor y el proveedor.

La obsolescencia programada origina problemas sociales como el sub-consumo o el sobre-consumo de productos en las distintas sociedades (Waldman, 1993; Pil, 1994; Choi 1994; Miao, 2011). Sin embargo, al introducir desigualdades en el mercado, y particularmente teniendo en cuenta el efecto de desabastecimiento, el mismo concepto de obsolescencia puede generar un bienestar social superior al existente sin ella (Miao, 2011). En éste sentido, y siempre y cuando el progreso tecnológico en el área crezca rápidamente, el establecimiento de compatibilidad hacia modelos pasados en los nuevos productos (compatibilidad hacia atrás, en lugar de compatibilidad hacia adelante, o compatibilidad total) maximiza tanto el bienestar social como la rentabilidad de las compañías, del mismo modo que la introducción de compatibilidad hacia adelante estaría de acorde con un lento desarrollo tecnológico (Lee & Niem, 2009).

La obsolescencia, programada en el sentido anteriormente expuesto, es defendida por varios autores argumentando su necesaria inclusión para maximizar el beneficio social, al impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico, mejorando la calidad de vida de la sociedad (Grout & Park, 2005). Tal evidencia es soportada por Fishman, Gandall y Shy (1993), quienes afirman que el equilibrio de mercado puede implicar productos con ciclos de vida muy largos, lo que genera una pasividad desde el punto de vista de la innovación que frenaría el desarrollo tecnológico. De tal modo, la obsolescencia es el motor tecnológico que conlleva a la innovación, mediante los procesos de investigación y desarrollo de nuevos productos. De igual forma, se sugiere que el desarrollo de nuevos productos no solo está directamente relacionado con los índices de innovación, sino que a su vez influye directamente y de forma negativa al ciclo de vida de los nuevos productos (Goering & Boyce, 1993).

La innovación surgida de la investigación y el desarrollo puede llevar sin embargo a procesos de innovación ambiental, incluyendo innovación en tecnologías para la prevención de la contaminación, reciclaje de materiales diseño de productos o administración ambiental (Chen et al, 2006). Entre otros resultados, el acto de enverdecimiento de productos y procesos sugiere una ventaja competitiva, al reducir, por ejemplo, los costos de producción (Porter & van der Linde, 1995). Sin embargo, y aun cuando el soporte de la hipótesis ha sido efectivamente evidenciado

(Lanoie, Laurent-Lucchetti, Johnstone, Ambec, 2011), resultados empíricos sugieren que la innovación de productos verdes media positivamente sobre la ventaja competitiva, pero la innovación en procesos no (Chang, 2011).

En cuanto a las preferencias de los consumidores en referencia a las cualidades medioambientales de los productos, Cooper (2004) menciona que la calidad es el factor más importante a tener en cuenta, y si bien la durabilidad es considerada, es bastante débil su peso final en la toma de la decisión. Sin embargo, debido a que no existe un modelo claro que permita la preferencia certera de un producto con cualidades medioambientales en el momento de la compra (Lavallée & Ploufee, 2004), el único vínculo de los consumidores que permita ejercer presión sobre los productores es la calidad intrínseca de los productos. Asumiendo como cierta la existencia de la obsolescencia programada, la corta durabilidad de los productos aumenta los patrones de demanda, y por tanto la frecuencia de recompra, lo que permite a los consumidores premiar o castigar de forma más inmediata sobre las empresas debido a la calidad percibida de los productos adquiridos (Strausz, 2009). De tal forma, se logra un alto grado de calidad embebido en el patrón de obsolescencia, estableciendo un vínculo directo entre la durabilidad del producto y la calidad que ofrezca el mismo.

Partiendo de la aproximación al “Desafío Práctico” del mercadeo verde y la concepción de obsolescencia programada, se perfila el eco-diseño de productos como el punto de encuentro entre los paradigmas de diseño y desarrollo de productos tradicional y ambiental. El eco-diseño de productos tiene varias características fundamentales y básicas, entre las que se encuentran el uso de sustancias tóxicas, la facilidad para ser reciclados y la durabilidad (World Business Council for Sustainable Development, 2000). Sin embargo, las expectativas de los consumidores por mejoras a los productos durables, y la falta de preocupación de los mismos hacia las causas ambientales son los principales problemas que enfrenta el desarrollo ecológico de productos (Guiltinan, 2008).

En el diseño de nuevos productos se tiene en cuenta la durabilidad de los mismos, pero existen varios factores que influyen en la decisión que se toma. Sobre éste tema varios estudios se han llevado a cabo, y no pocos concluyen en el uso de la obsolescencia de origen por parte de las empresas. Estableciendo la inclusión de un bien no duradero complementario en el análisis de un bien duradero en un mercado de monopolio, las empresas de leasing y renta nuevamente optan por la búsqueda del eficiente social, una solución que establece la durabilidad del bien duradero independientemente de los no duraderos complementarios, mientras las empresas que venden sus productos optan por la obsolescencia programada, y se establece un vínculo mayor hacia este tipo de obsolescencia conforme mayor es la dependencia del producto no duradero (Goering, 2007). Éste vínculo es evidenciado nuevamente teniendo en cuenta la incertidumbre en la demanda (Goering, 1993), donde la demanda puede jugar un papel clave en la escogencia de la obsolescencia programada, y donde a su vez la firma de leasing selecciona nuevamente el óptimo social.

En contrapartida a las conclusiones anteriores, la independencia entre los mercados de venta y de renta no afecta la decisión de durabilidad si se tiene en cuenta el fenómeno del “pirateo” o falsificación de productos. Desde el diseño y el desarrollo de los productos originales, las empresas (bien sean de venta o leasing) desarrollan lo que se denomina como “obsolescencia programada reversa”, donde tanto la calidad como la durabilidad del nuevo producto es superior al primer diseño. De ésta forma, el beneficio social es superior, y bajo el contexto las ganancias de la compañía también aumentan (Goering, 2010).

Desde el punto de vista ambiental, el diseño de productos transcurre más allá de los principios básicos pero fundamentales de reciclaje, hacia la reducción en los materiales y los procesos. El flujo de materiales y sustancias es un análisis complementario al del análisis de la valoración del ciclo de vida de los productos, que aporta nuevos elementos al proceso de toma de decisiones en el diseño del producto, teniendo en cuenta el discurso de sostenibilidad (Guinée et al, 2006). El análisis del ciclo de vida del producto (LCA), y su contraparte, el costo del ciclo de vida (LCC) deben hacer parte del proceso de toma de decisiones, junto con el análisis social del ciclo de vida (SLCA), tomando en cuenta la vida física del producto (de la cuna a la tumba, de la cuna a la cuna) excluyendo el enfoque de mercadeo tradicional que tan solo tiene en cuenta el ciclo de vida útil (Kloepffer, 2008). No son pocas las empresas que han empezado a usar éste tipo de mecanismos de análisis para el desarrollo y el diseño de los productos, quienes los combinan con los tradicionales análisis econométricos, pero no muchas consideran los factores exógenos y relativos al proceso dentro de la toma de decisiones. Sin embargo, existe una relación directa entre el tipo de bien que producen las empresas (durable, no durable), el sector al que pertenecen y el tamaño de las mismas con las preocupaciones ambientales, y por tanto con los procesos concernientes al eco-diseño (Hunkeler & Vanakari, 2000). La aplicación real de éste tipo de medidas depende de otros factores que no siempre son fáciles de determinar, tales como el valor agregado del producto final, los costos asociados, y la disponibilidad de información. Los costos reales del LCC son mayores que los del LCA, y el diseño ambiental no puede ser llevado a cabo sin variadas restricciones de innatas a la empresa (Schmidt, 2003).

Por el otro lado, y teniendo en cuenta todas las consideraciones necesarias para el diseño ambiental de productos, nace un concepto relacionado sobre el desarrollo ecológico de nuevos productos (ENPD), que no tiene en cuenta el desempeño ambiental de los productos restringido a las propiedades del mercado, sino que integra el desempeño en el mercado con el desempeño ambiental. Al contrario de los resultados del LCC y LCA, se encuentra que existen empíricamente más concordancia que conflictos entre el paradigma de diseño y desarrollo tradicional y el ambiental (Pujari, Wright & Peattie, 2003).

Ahora bien, la determinación de introducir en el diseño de productos factores ecológicos significa lograr una integración corporativa en torno al desempeño ambiental, involucrando las áreas de ingeniería, administración y mercadeo, en búsqueda de una identidad organizacional que soporte los esfuerzos estratégicos tras el “Desafío Práctico” del mercadeo verde. Entendiendo ésta necesidad, como parte de la propuesta de trabajo se plantea la evaluación de los factores clave del eco-diseño de productos relacionados a la durabilidad, para evaluar la relación cierta entre la obsolescencia programada y la durabilidad de los productos sobre el diseño de los mismos, mediante un trabajo conjunto con diversas áreas como las mencionados anteriormente. Como metodología se propone un análisis multi-criterio de decisión, el cual se desprende de la ya reconocida metodología MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*), que demuestra su validez en la investigación de operaciones debido a su rango de aplicaciones tanto teóricas como prácticas (Lootsma 1996).

La metodología MCDA se afianzó en la investigación de operaciones debido a su enfoque de múltiples puntos de vista y criterios, aun cuando no exista concordancia entre éstos, caso particular y pertinente a la obsolescencia programada. De ésta forma soluciona la metodología MCDA un

problema clásico de la investigación de operaciones, la solución óptima a través de un solo criterio de evaluación. (Lootsma 1995).

Formulada y establecida por la escuela europea, la metodología MCDA ha sido la noción para el desarrollo de modelos, algoritmos y aplicaciones en pro de resolver problemas de decisión multi-criterio. Saaty (2008) estructuró la escuela americana con una base teórica diferente bajo el nombre de AHP, que sin embargo comparte los mismos objetivos de la escuela europea. A continuación se exponen las diferencias y características principales de cada una (Roy and Vanderpooten 1996).

<b>Escuela Europea</b> (Roy and Vanderpooten, 1996)	<b>Escuela Americana</b> (Saaty, 2008)
<p><i>El concepto de Objetividad</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El conocimiento.</li> <li>• El Decisor y el Asesor</li> <li>• El análisis de preferencias es desarrollado por un ser humano.</li> <li>• La fuente de datos.</li> <li>• Factores culturales, pedagógicos y propios de las organizaciones que influyen en el éxito de la toma de decisión.</li> </ul> <p><i>Espíritu de Investigación</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de un modelo que no está completamente definido.</li> <li>• De la información recolectada a través de conceptos, axiomas, modelos, propiedades se debe extraer lo que sea realmente significativo.</li> </ul>	<p><i>Objetivo</i> :Descomponer una situación compleja y no estructurada en sus componentes</p> <p><i>Metodología</i>: Ordenamiento de la información mediante jerarquías. Realizar comparaciones binarias y atribuir valores numéricos a juicios subjetivos. Sintetizar juicios, agregando las soluciones parciales en una sola solución.</p> <p><i>Herramientas</i>: Escalas de Razón</p> <p><i>Facilidades</i>: Permite realizar un adecuado análisis de sensibilidad. Es un método bastante intuitivo en su aplicación, difícilmente manipulable.</p>

Tabla 6-1: Comparación entre las principales escuelas de MCDA

El MCDA es un término amplio que describe una colección de acercamientos formales que busca tomar cuenta explícita de múltiples criterios para ayudar a los individuos o grupos a la toma de decisiones que impliquen diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados (Belton 2002). El MCDA hace parte de un esfuerzo académico cuyo objetivo ha sido el de ayudar a los gerentes y líderes organizacionales a la toma de decisiones complejas, que no solo permite sino requiere la gestión de gran cantidad de información (Romero 1993; Pomerol 2000).

La metodología MCDA no solo se destaca por su división en dos escuelas de pensamiento, sino que cada una de ellas contiene varios modelos matemáticos que se ajustan a los objetivos y fundamento teórico definido en la metodología. Sin embargo, no existe ningún modelo que predomine sobre el resto, por lo cual cada uno de los modelos de la metodología MCDA cuenta con diferentes ventajas e inconvenientes, según el campo de aplicación (Moreno 2002). El modelo MCDA escogido para el desarrollo del trabajo de investigación corresponde al modelo de la escuela americana AHP (Saaty, 1994; 1996), debido a su fundamento teórico y su exitosa aplicación en varias adaptaciones prácticas.

La metodología AHP (*Analytic Hierarchy Process*) es una herramienta de decisión de múltiples criterios parte de MCDA que ha sido usado en la mayor parte de las aplicaciones académicas relacionadas con la toma de decisiones (Vaida & Kumar, 2006). Contempla la construcción de la estructura jerárquica del problema, que permite el análisis de moderadas cantidades de información, y tiene en cuenta la consistencia de los juicios emitidos por diferentes expertos. Tal como se describió en su descripción, ésta metodología está respaldada por un software que agiliza los procesos analíticos, además de permitir la ejecución de análisis de sensibilidad.

Las aplicaciones que incluyen la aplicación del modelo AHP incluyen la selección de tecnologías de banda ancha para la Universidad Nacional de Colombia (Cortés Aldana, Garcia Melón et al. 2007), comparación entre los objetivos de la Universidad y los resultados socioeconómicos (Cortés Aldana, García Melón et al. 2009), generación y evaluación de estrategias de marketing mix (Dunn & Wind, 1987), aplicaciones de marketing y extensiones (Davies, 2001), en la toma de decisiones en recursos naturales y medio ambiente (Schmoldt et al., 2001), proceso de diseño de productos orientados al cliente (Lin et al., 2008) y la evaluación de las preferencias del consumidor en el diseño de productos (Ventatamuni & Rao, 2010), entre otras aplicaciones relacionadas.

## 6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dados los antecedentes evidenciados durante la Cumbre de Rio y el Protocolo de Kioto, donde posteriormente se firmó un acuerdo internacional de los gobiernos para encarar el desafío de un desarrollo sostenible, existe hoy una necesidad de cambio organizacional de un profundamente marcado paradigma administrativo-operativo hostil con el ambiente, que contempla entre otros puntos clave la administración de productos verdes, así como el ensanchamiento del marco de tiempo del marketing.

Si bien las prácticas ambientales, el tutelaje y el diseño ambiental de productos son los elementos que concuerdan con el desarrollo sostenible, no es clara la relación existente entre la obsolescencia o la vida útil de los bienes y la administración de productos. Es por ésta razón que se hace necesario evaluar la relación existente entre la obsolescencia programada y el eco-diseño.

## 7. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación entre la obsolescencia programada y el eco-diseño de productos electrónicos.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Caracterizar mediante revisión teórica los atributos y criterios del eco-diseño de productos.
- ii. Identificar los atributos y criterios más relevantes del diseño ambiental de productos.
- iii. Analizar los modelos y patrones de obsolescencia de los productos durables.
- iv. Calcular la importancia relativa de los patrones de obsolescencia según los criterios del eco-diseño de productos electrónicos.

## 8. METODOLOGÍA

Se usará la metodología MCDA, en particular la escuela americana identificada por el proceso analítico jerárquico (AHP), enmarcada bajo una serie de etapas generales explícitas a continuación que permitirán conseguir los objetivos propuestos (Aragónés 1995):

- 1) Revisión del Estado del Arte: Revisión de artículos científicos en las distintas bases de datos a las que se tiene acceso, con el fin de desarrollar un completo estado del arte del problema, observado desde las perspectivas tanto nacional como internacional. A su vez, el análisis de ejercicios similares se usará a modo de herramienta para la contextualización cercana del problema.
- 2) Identificación del problema: Se caracterizará y analizará el objeto de trabajo para desglosar de éste las variables necesarias en la ejecución del modelo. El enfoque cualitativo por el cual se caracteriza la presente etapa contempla la adecuación de métodos hermenéuticos, cuyo resultado será usado para la determinación del método más apropiado para la evaluación multi-criterio.
- 3) Estructuración del problema: La estructuración del problema aglomerará la organización de la información para lograr el entendimiento global del problema, fundamento de la construcción del modelo, basado en las partes interesadas, incertidumbres, el entorno, las restricciones y las metas del proyecto.
- 4) Construcción del Modelo: Una vez definidas las variables se diseñará el modelo para la evaluación de las características del eco-diseño de productos.
- 5) Utilización del Modelo para informar y generar conocimiento: Finalmente, se divulgarán los resultados a los agentes interesados, conforme al fortalecimiento del entendimiento de la influencia de la obsolescencia programada.

## 9. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

A continuación se describen las actividades específicas a desarrollar en cada una de las etapas del proyecto:

### Actividades de la Etapa 1:

- Revisión de literatura en bases de datos de administración y diseño de productos. (A1E1)
- Revisión de literatura referente a la obsolescencia programada. (A2E1)
- Análisis de artículos relevantes al problema. (A3E1)
- Identificar posibles herramientas complementarias para el desarrollo del modelo. (A4E1)

### Actividades de la Etapa 2:

- Revisión de literatura en bases de datos de metodologías MCDA. (A1E2)
- Selección de la metodología de análisis multi-criterio. (A2E2)
- Determinación de los criterios y atributos del eco-diseño de productos durables electrónicos. (A3E2)

### Actividades de la Etapa 3:

- Búsqueda y conformación del grupo de expertos. (A1E3)
- Diseño de las herramientas de medición correspondientes a la metodología de análisis multi-criterio. (A2E3)
- Desarrollo de reuniones, encuestas y entrevistas con el grupo de expertos. (A3E3)

- Organización y análisis de información recolectada. (A4E3)

Actividades de la Etapa 4:

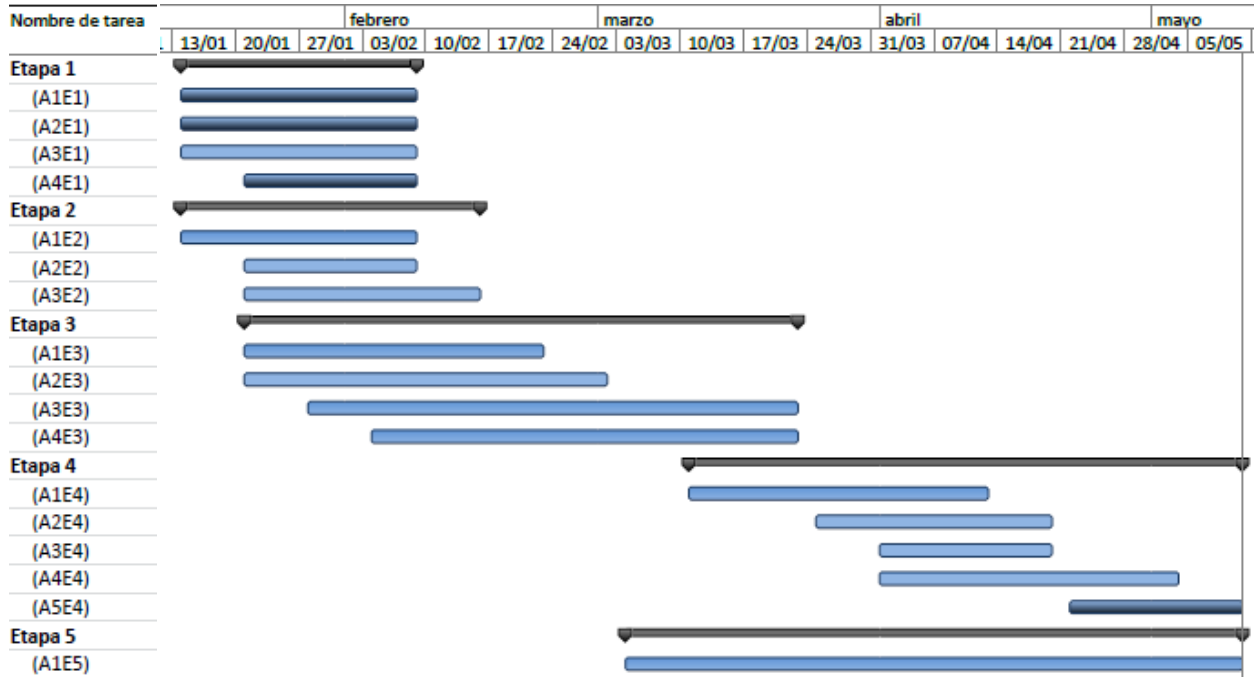
- Diseño del modelo de evaluación de las características de diseño de productos a partir de la información depurada. (A1E4)
- Implementar el modelo de evaluación planteado. (A2E4)
- Evaluación de la importancia relativa de los criterios y atributos del eco-diseño de productos electrónicos. (A3E4)
- Valoración de los patrones de obsolescencia según los resultados obtenidos del eco-diseño de productos electrónicos. (A4E4)
- Comparación de los resultados obtenidos según las características de los expertos consultados. (A5E4)

Actividades de la Etapa 5:

- Presentación de un artículo sobre el problema y metodología desarrollados para dar a conocer los resultados a la comunidad académica. (A1E5)

### 10. CRONOGRAMA

En la siguiente gráfica se describe el cronograma de actividades del proyecto.



Semana 1 corresponde con la primera semana del semestre de 2013-1.









## **C. Anexo: Documento base de la ponencia en: *The 22nd International Conference on Multiple Criteria Decision Making***

# Evaluación de la relación de la obsolescencia programada y el eco-diseño de productos con base en la metodología MCDA

**Pedro Nicolás Casas Páez, Félix Antonio Cortés Aldana**

### RESUMEN

El presente trabajo enfrenta uno de los desafíos del mercadeo verde y la administración de productos, al establecer un modelo que permite determinar qué patrón de obsolescencia es preferido cuando se toman en cuenta los principios medioambientales del eco-diseño de productos básicos. Ofrece una guía práctica al proporcionar un modelo de toma de decisiones para la priorización de los criterios del eco-diseño así como para la determinación de la preferencia de uno u otro patrón de obsolescencia, mediante el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ). Se muestra el modelo de decisión, con base en el criterio de los distintos niveles involucrados en el desarrollo de productos en una compañía integradora de sistemas electrónicos local. El documento presenta también una nueva metodología que ayuda a la minimización del esfuerzo en la aplicación del PAJ. La adición de características adicionales relacionadas al Producto Total, o la selección de un producto diferente, así como características ambientales diferentes pueden cambiar los pesos perceptuales resultantes, haciendo que la generalización de los resultados del modelo a otros productos pueda ser limitada.

---

Primer Autor: [pncasasp@unal.edu.co](mailto:pncasasp@unal.edu.co), estudiante de Maestría en Ingeniería - Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia.

Segundo Autor: [facortesa@unal.edu.co](mailto:facortesa@unal.edu.co), Profesor, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia

**Palabras Clave—** Diseño de productos, Obsolescencia, Análisis de decisión multi-criterio, Toma de decisiones, PAJ.

## I. INTRODUCCIÓN

La insostenibilidad del modelo industrial, si bien demostrada, no ha conllevado a un replanteamiento del mismo, aun con los acuerdos mundiales que buscan un desarrollo económico e industrial igualmente evolucionado pero sostenible, teniendo en cuenta los conceptos medio-ambiental y social. Tal es el desafío aceptado por las comunidades académicas, y que ha sido absorbido paulatinamente por el mercado, en un nuevo concepto denominado mercadeo verde. Dentro de éste, la re-concepción tanto de los procesos de producción como del impacto ambiental de los productos comercializados es necesaria, e involucra a todos los ámbitos abarcados en el mercado, en un nuevo concepto del ciclo de vida del producto. Esta visión adaptada al desarrollo de productos es conocida como eco-diseño, o diseño ecológico de nuevos productos, conceptos que superan ampliamente las prácticas de “final de tubo”.

Sin embargo dentro de la civilización industrial mencionada, existe una práctica que ha sido criticada por varios autores como deliberada para recortar el tiempo de vida útil de los productos, adelantando o influyendo en la obsolescencia del mismo, denominada “obsolescencia programada”, fuente según varios autores del desarrollo industrial y económico mundial, fundamento del desarrollo e innovación industrial, y concepto inherente a la producción en masa. Si bien el nuevo reto del mercado, involucrando tanto a productores como a consumidores implica de manera directa y explícita el ensanchamiento del tiempo del mercadeo, lo que no es otra cosa que el aumento del tiempo de vida de los productos, tal fenómeno de obsolescencia le es diametralmente opuesto. Este concepto consta de mayor fundamento y es especialmente cierto en productos electrónicos, los cuales debido a su naturaleza y al comportamiento del mercado causan un mayor impacto ambiental durante todas las fases de su ciclo de vida que la mayor parte (si no todos) de bienes comerciales.

Entendiendo ésta paradoja, la presente investigación plantea como objetivos la ponderación de los factores clave relacionados a la durabilidad del eco-diseño de productos, mediante una previa caracterización teórica de los

atributos y criterios del eco-diseño, seguida del análisis de los diferentes modelos y patrones de obsolescencia, identificados según su impacto y origen, para finalmente priorizar los diferentes patrones de obsolescencia con base en los criterios del eco-diseño de productos electrónicos.

## II. METODOLOGÍA

La determinación de introducir en el diseño de productos factores que reduzcan el impacto ambiental significa lograr una integración corporativa en torno al desempeño medio-ambiental, involucrando las áreas de ingeniería, administración y mercadeo, en búsqueda de una identidad organizacional que soporte los esfuerzos estratégicos tras la administración de productos. Esto se obtendrá llevando a cabo un trabajo conjunto con diversas áreas como las mencionadas anteriormente. Debido al enfoque de múltiples áreas y varios puntos de vista, como metodología se usan análisis multi-criterio de decisión parte del MCDA.

El MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*) es un término amplio que describe una colección de acercamientos formales que busca tomar cuenta explícita de múltiples criterios para ayudar a los individuos o grupos a la toma de decisiones que impliquen diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados (Belton & Stewart, 2002). El MCDA hace parte de un esfuerzo académico cuyo objetivo ha sido el de ayudar a los gerentes y líderes organizacionales a la toma de decisiones complejas, que no solo permite sino requiere la gestión de gran cantidad de información (Romero, 1993; Pomerol & Barba-Romero, 2000).

La metodología que permitirá relacionar al eco-diseño y la obsolescencia es el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ). El PAJ es una herramienta que hace parte del MCDA y que ha sido usado en la mayor parte de las aplicaciones académicas relacionadas con la toma de decisiones (Vaida & Kumar, 2006). Contempla la construcción de la estructura jerárquica del problema, que permite el análisis de moderadas cantidades de información y tiene en cuenta el grado de consistencia de los

juicios emitidos por diferentes expertos.

La estructura jerárquica usada en el PAJ es simplemente la organización en tres niveles fundamentales de la descomposición del problema de decisión de múltiples criterios. En el primer nivel es necesaria la organización del objetivo principal del análisis de decisión, junto con objetivos secundarios o específicos. El tercer nivel agrupa las alternativas u opciones que permitan alcanzar tanto el objetivo general como los objetivos subyacentes, y en el segundo nivel asocia un grupo de atributos o criterios que deben ser satisfechos para alcanzar los objetivos propuestos (Saaty, 1994; 1996; 2008).

El PAJ se elige como la metodología a aplicar, por sobre otros métodos de MCDA igualmente válidos no solo debido a su fundamento científico, sino a que es fácilmente comprensible, lo que facilita su aplicación en diferentes ambientes y con diferentes áreas del conocimiento sin necesidad de más apoyo técnico y conocimientos específicos que el del facilitador (Cortés, García, & Aragonés, 2007).

El proceso de selección del panel de decisores nace de la misma definición del producto objetivo, así como de la matriz de asignación de responsabilidades RACI para la gestión ambiental de la oferta de productos. El modelo de la matriz de responsabilidades presente en la guía para el desarrollo de la norma de eco-diseño UNE 150301:2003 de la Sociedad Pública del Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio Vasco (Ihobe, 2010) es adaptado a las características de la compañía, a los *stakeholders* y a los requerimientos de la investigación. De su aplicación se seleccionan los siguientes decisores:

Experto A: Ingeniera química. Especialista en gestión ambiental. 12 años de experiencia en desarrollo sostenible, eco-eficiencia de procesos, eco-diseño de procesos y productos.

Experto B: Ingeniero electrónico. Líder de investigación, diseño y desarrollo. 3 años de experiencia en diseño de productos.

Experto C: Diseñadora Industrial. Magister en medio ambiente y desarrollo. 5 años de

experiencia en eco-diseño de procesos y productos, responsabilidad social empresarial.

### III. PLANTEAMIENTO DEL CASO

En el presente trabajo se vincularán dos conceptos, como lo son el eco-diseño y la obsolescencia programada.

#### A. *Eco-diseño*

Como concepto atado a la sostenibilidad, el eco-diseño consiste el desarrollo de productos considerando las acciones que favorezcan la minimización del impacto ambiental, durante todas las etapas del ciclo de vida del producto (Ihobe, 2010; 2008). Parte fundamental del eco-diseño son los análisis de impacto ambiental, tales como el análisis de ciclo de vida (AVC) o el costo del ciclo de vida (Life Cycle Cost). Aun cuando éste tipo de análisis de impacto han traspasado las barreras de concepción medioambiental hacia ambientes ecológicos y sociales, el eco-diseño puede resumirse como simplemente la aplicación del ACV durante las etapas de diseño y desarrollo de productos (Ihobe, 2008; Adams, 2007; The Centre for Sustainable Design, 2002), para minimizar los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida.

#### B. *Obsolescencia*

La obsolescencia se entiende como el concepto que explica la caída en desuso de los productos durables generalmente antes del final de su ciclo útil de vida. Como tal influye en por lo menos una de las etapas del análisis del ciclo de vida del producto, y por lo tanto del eco-diseño. Sin embargo, existe un concepto denominado “obsolescencia programada”, definido como el proceso deliberado de recortar la vida útil de los productos (Coase, 1972; Packard, 1960). Este concepto no solo contradice la definición general de obsolescencia, sino que altera la percepción generalmente aceptada del ciclo de vida de los productos. Entendiendo la obsolescencia simplemente como el desuso del producto, numerosos autores la han clasificado y segmentado en diferentes tipos, según su origen, motivo e impacto en el ciclo de vida del bien comercializado. Esta clasificación será utilizada como fuente de las alternativas a evaluar.

A lo largo del trabajo se adopta la tesis de

Swan (1972) y de Grout & Park (2005) según la cual todos los tipos de obsolescencia clasifican en el concepto de obsolescencia programada, al estar en todos los casos incluidos en el diseño del producto.

Las alternativas a evaluar son algunos de los modelos de obsolescencia identificados, que se muestran a continuación:

- **Diseño de tiempo de vida limitado:** Los productos son diseñados para dejar de funcionar en un tiempo fijo, debido a desperfectos, falta de soporte o incompatibilidad con nuevos estándares, modelos o productos complementarios.
- **Diseño para reparaciones limitadas:** La reparación de los productos no es viable.
- **Diseño de estética que conlleva a reducir la satisfacción:** El producto está hecho para dañarse estéticamente desde su diseño inicial, lo que produce obsolescencia psicológica aun cuando éste sea todavía útil.
- **Obsolescencia dinámica:** Se refiere al interés de los productores de incentivar el mercado con nuevos modelos periódicamente, existiendo o no cambios en el producto. Es motivada principalmente por el logro de un menor tiempo de recompra del producto.
- **Obsolescencia financiera:** Los costos de operación y/o mantenimiento del producto son superados por el beneficio ofrecido, según la estructura del mercado.
- **Obsolescencia ecológica:** El impacto ambiental del producto se ve disminuido, en referencia a demás sustitutos. Desde el punto de vista de la operación del usuario, puede significar un menor costo de operación.
- **Obsolescencia funcional:** Un nuevo producto cuenta con más valor agregado que el anterior modelo, en el sentido de funciones o utilidades adicionales y no propias del producto en sí mismo (no destinadas a la satisfacción de la necesidad para la cual fue creada).

### C. *Relación entre la obsolescencia programada y el eco-diseño de productos*

La obsolescencia está unida al desarrollo de productos no solo porque afecta tanto al final del ciclo de vida del artículo como también el proceso de recompra de los mismos, sino por ser un elemento que se introduce desde el diseño de los bienes. Al existir diferentes tipos de obsolescencia, se podrían tratar éstos como alternativas sobre las que o bien un equipo de desarrollo, o bien los interesados en los diferentes niveles de la organización, deberán decidir incluir en el diseño del producto.

La construcción de la estructura jerárquica del eco-diseño permite representar los diferentes atributos del mismo a lo largo del ciclo de vida del producto. Estas etapas concebidas en el análisis del ciclo de vida del producto – desde su creación en la etapa conceptual, hasta su tratamiento como desecho – serán los objetivos secundarios o específicos del objetivo principal que es el eco-diseño. Cada una de estas etapas se descompondrá en criterios, los cuales conformarán el segundo nivel de la estructura jerárquica, mientras los tipos de obsolescencia identificados configurararán el tercer nivel de la estructura, a manera de alternativas. De ésta forma, se establecerá cual es el modelo de obsolescencia más apropiado al tener en cuenta los atributos del eco-diseño en el desarrollo de un producto electrónico de una empresa importadora e integradora local, siguiendo el proceso que se diagrama en la Figura 1.

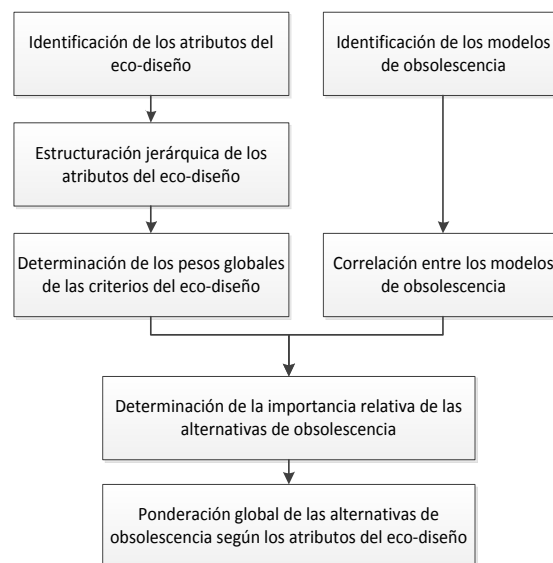


Fig. 1. Proceso planteado para evaluar la relación entre obsolescencia y eco-diseño utilizando la metodología MCDA. La organización en paralelo de la determinación de los criterios y de las alternativas converge en la evaluación de la importancia de los patrones identificados de obsolescencia con respecto a los criterios medioambientales del eco-diseño de productos.

#### IV. SELECCIÓN DE LOS CRITERIOS

Para la selección de los criterios se ha optado por realizar una descomposición jerárquica, siguiendo el método AHP. Una vez obtenidos los atributos del eco-diseño mediante revisión teórica, se adaptaron en un cuestionario al panel de expertos únicamente los atributos medioambientales del eco-diseño. Se excluyeron también dos etapas del ACV como lo son el transporte y la fabricación, debido a su débil vínculo con la obsolescencia programada. Los criterios presentes en la estructura jerárquica final se presentan a continuación:

1. Diseño del sistema: Reúne las características de operación del sistema que influyan sobre las características medioambientales en el entorno, así como su concepción inicial. Incluye consideraciones respecto a las dimensiones físicas, el tiempo de vida útil y el diseño modular del producto.

a. Simplicidad: Utilizar un diseño modular, reduciendo la complejidad de los ensamblajes y empaques, minimizando las partes del producto y usando partes comunes en diferentes modelos y diseños. Favorece la incorporación de componentes usados.

b. Reducción de costos: Significa la reducción de los costos a lo largo del ciclo de vida, mediante la reducción de los materiales usados y el peso de los mismos. La reducción de las dimensiones físicas, el uso de materiales más livianos, empaques más delgados y el uso de documentación electrónica reduce el impacto ambiental durante las etapas de producción, transporte y distribución y el final del ciclo de vida.

c. Longevidad: El impacto ambiental del producto es reducido al aumentar el ciclo de vida del mismo. La calidad del producto debe garantizar una vida útil superior. La longevidad se refiere a su vez a las posibilidades ofrecidas para actualizar o reparar el producto, así como a su posibilidad de ingreso a segundos mercados.

2. Materiales y componentes: Incluye la selección y el uso de las materias primas y los componentes requeridos para la fabricación del producto. Los procesos de transporte de los mismos, así como el embalaje y demás auxiliares son incluidos.

a. Uso de materiales renovables o reciclables: La especificación del uso de materiales reciclables, reciclados y/o renovables donde sea posible contribuye a disminuir el impacto ambiental de los productos, al favorecer la recuperación de materiales y componentes.

b. Evitar el uso de sustancias peligrosas: Evitar el uso de sustancias contaminantes y/o tóxicas en la fabricación del producto, tales como etiquetas, adhesivos y polímeros poco compatibles. De conformidad a la directiva del Parlamento Europeo, la minimización de sustancias peligrosas (RoHS) evita riesgos para la salud humana, animal y el medio ambiente en general.

c. Procedencia de los materiales y/o componentes: De la manera que sea factible, incluye la evaluación de los procesos productivos, los residuos generados, la energía consumida para la obtención de los materiales.

3. Uso o Utilización: Involucra las consideraciones medioambientales de la operación del producto durante su etapa de utilización. Incluye la instalación, mantenimiento y uso del producto, así como el uso de energía y los recursos necesarios para su operación y la cantidad, naturaleza y transporte de los consumibles requeridos. La contaminación (en forma de ruido, vibración, radiación y campos electromagnéticos) y emisiones (al aire, tierra, agua) generadas por el producto son también tomadas en cuenta.

a. Diseño para la conservación de energía: Reducir el uso de energía durante la etapa de operación del producto, bien sea en productividad o durante los tiempos de espera.

b. Diseño para la minimización de la contaminación: La contaminación debe ser entendida tanto como emisiones (al aire, agua y tierra) como al ruido, vibración, radiación y campos electromagnéticos generados.

c. Diseño para la minimización de los desechos: Los desechos resultantes de los consumibles y procesos de reparación, mantenimiento o actualización.



4. Final del ciclo de vida: El final del ciclo de vida del producto reúne las características que se deben tener en cuenta en el momento del diseño y desarrollo del mismo para facilitar la correcta disposición final de los materiales y componentes que lo conforman.

a. Diseño para la recuperación de materiales: El diseño del producto debe propender por la recuperación de los materiales usados sin comprometer el desempeño ni la seguridad del producto, favoreciendo los procesos de reutilización, recuperación y reciclaje.

b. Diseño para facilitar el desensamble: Evitar el uso de soldaduras, pinturas, inserciones metálicas, partes plásticas y mecanismos que dificulten el ensamble y desensamble. Favorece los procesos de mantenimiento, reacondicionamiento, reparación, actualización y separación.

c. Diseño para facilitar la separación: Minimización del número de componentes usados, el número de materiales, el número y los tipos de conexiones y uniones y el uso de adhesivos y solventes.

#### V. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

De acuerdo con los criterios de eco-diseño de productos, se requiere ponderar los atributos medioambientales teniendo en cuenta el análisis del ciclo de vida, de tal manera que los esfuerzos y recursos usados en el diseño de productos sean focalizados en los aspectos de mayor importancia para minimizar el impacto medioambiental del producto básico o tangible. En otras palabras, la maximización del peso de cada uno de los criterios contribuye a la minimización del impacto ambiental, no existe en ésta estructura criterio alguno que afecte negativamente el objetivo, por lo cual se dice que todos los atributos descritos se calcularán como criterios a maximizar.

Basado en la estructura jerárquica de los atributos medioambientales del eco-diseño, se llevó a cabo la determinación de los pesos tanto relativos como absolutos de cada uno de los criterios y sub-criterios presentes en los tres niveles de la estructura. Tal ponderación fue realizada por cada uno de los integrantes del panel de expertos de manera individual, utilizando comparación pareada entre criterios y

evaluándolos de forma cualitativa según la escala de comparación descrita por Saaty (1994):

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios

Una vez obtenidos los valores de los pesos de cada uno de los criterios a juicio de cada uno de los integrantes participantes, se obtuvo la priorización de los diferentes atributos, usando agregación de juicios en todos los casos. El análisis relacionado al Proceso Analítico Jerárquico fue soportado y acompañado por el software Expert Choice 11®.

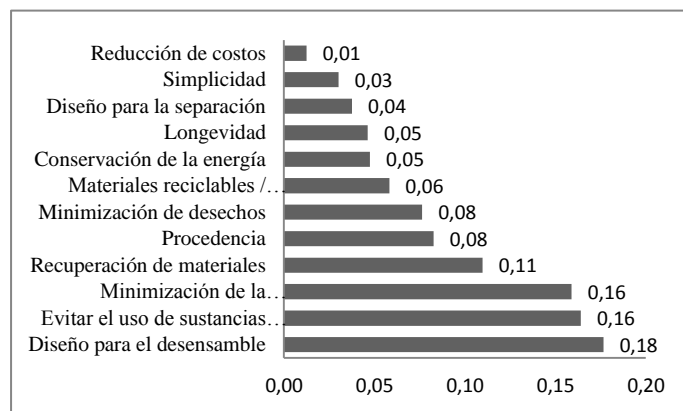


Fig. 2. Pesos globales de los criterios medioambientales. Muestra la importancia global de los atributos calificados. La suma de los pesos ponderados es equivalente a la unidad.

#### VI. PRESENTACIÓN DE LA NUEVA METODOLOGÍA DEL PAJ

Debido a la cantidad de criterios y a que el número de alternativas número de alternativas es equivalente al número límite de 7 sugeridas por

Saaty (1994), se plantea una nueva metodología que hace uso de la estructuración jerárquica de las alternativas para facilitar la aplicación del PAJ y la toma de decisiones en grupo, reduciendo de ésta forma la posibilidad de inconsistencias resultantes.

La metodología planteada para minimizar el esfuerzo de la aplicación del PAJ consiste en la clasificación de las alternativas para construir una estructura jerárquica de igual modo que se hace con los atributos de las alternativas, según los objetivos planteados. La nueva estructura jerárquica planteada para encarar el proceso difiere de la estructura clásica planteada por Saaty (1994) únicamente en el tercer nivel, correspondiente a las alternativas. Esta metodología no solo reduce significativamente el esfuerzo de la aplicación del PAJ, sino que permite la evaluación de más de 7 alternativas, manteniendo el mismo o menor nivel de inconsistencia. En el caso del presente ejercicio, resultó en una reducción del esfuerzo de la aplicación del PAJ del 57%.

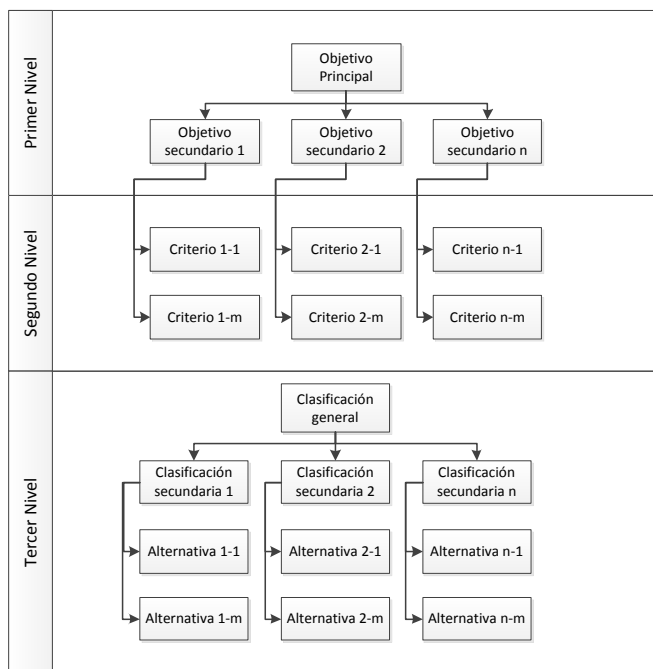


Fig. 3. Estructura jerárquica modificada como alternativa para la reducción del esfuerzo en la aplicación del PAJ. En el tercer nivel de la estructura se reemplaza la mención clásica de las alternativas por una estructuración jerárquica de las mismas, a semejanza de la clasificación de los atributos y objetivos plasmados en el primer y segundo nivel.

Para la evaluación de las alternativas se requiere la construcción de una estructura jerárquica por cada una de las ramificaciones en cada una de los niveles de jerarquía. En el ejemplo mostrado en la estructura se requiere elaborar una estructura para el segundo nivel de jerarquía –que comprende la clasificación secundaria de las alternativas – además de n estructuras para cada una de las clasificaciones secundarias existentes.

VII. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Una vez determinados los criterios y la forma de valorar las alternativas, se realizó la ponderación de cada una de las alternativas de la estructura jerárquica. Al existir una ponderación propia por cada una de las estructuras resultantes (n+1 si se sigue la estructura mostrada en la Figura 3), se requiere relacionar la importancia de cada una de las alternativas con respecto a su nivel jerárquico superior. En la Figura 4 se muestra la estructura jerárquica de las alternativas consideradas.

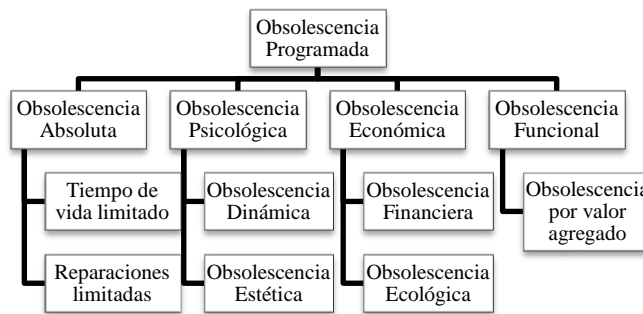


Fig. 4. Estructura jerárquica de los modelos de obsolescencia. Las alternativas anteriormente expuestas se clasifican en categorías superiores claramente definidas y excluyentes. Ésta estructura equivale al tercer nivel de la estructura jerárquica principal del desarrollo del PAJ.

Los resultados son consignados en la matriz de decisión, que se normaliza para obtener los valores con los cuales elaborar de manera directa y objetiva la función de preferencia de cada criterio, así como el modelo de preferencias individual.

VIII. CÁLCULO DE LA PRIORIDAD GLOBAL

Las preferencias correspondientes a los juicios individuales indican la importancia de las alternativas para cada uno de los expertos. El resultado final del análisis de múltiples criterios

se obtiene al realizar la agregación de los juicios individuales obtenidos anteriormente. Se presentan a continuación los resultados resumidos de la priorización de las alternativas:

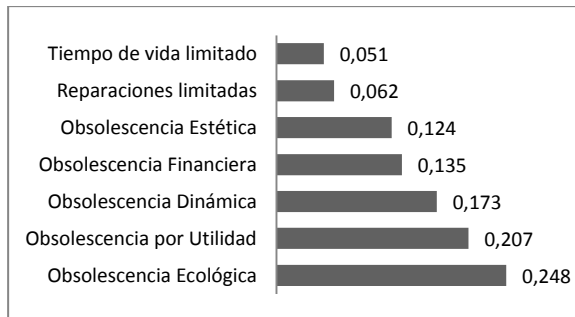


Fig. 5. Prioridad global de los modelos de obsolescencia según los criterios medioambientales del eco-diseño de productos. Los valores significan la prioridad de cada alternativa en comparación a las demás, y la suma todos estos debe ser igual a 1.

## IX. CONCLUSIONES

Durante la etapa de desarrollo del producto intervienen distintos niveles y áreas de la compañía, que si bien no están involucrados de manera directa en el diseño, sí son interesados en el proceso. Debido al enfoque ecológico que se resalta en el trabajo se involucran también expertos consultores y asesores externos a la compañía, cuyas opiniones pueden contraponerse a las de los interesados internos debido a las consideraciones de impacto global que se tienen durante el análisis del ciclo de vida del producto, que trascienden sobre los cuidados financieras y de negocios de la firma.

Aun cuando existen numerosas guías y herramientas que están disponibles para brindar principios y acercamientos al eco-diseño en el desarrollo del producto, el proceso de diseño actual se ve afectado por las condiciones ambientales y los procesos económicos de la empresa, así como por el juicio subjetivo de los diseñadores, consultores y demás interesados de las diferentes áreas.

Por estas razones, el análisis de decisiones con base en múltiples criterios es una herramienta que resulta bastante útil y explicativa en los procesos de diseño de productos. Como resultado, se tiene una gran cantidad de información sintetizada que permite observar de manera directa las diferentes

dimensiones del problema según las opiniones de los diferentes interesados.

Pese a la interacción global de los distintos niveles de la compañía en el desarrollo de productos es sobre el equipo de desarrollo sobre quien recae la responsabilidad del diseño. En el trabajo se resalta la importancia del eco-diseño, y por lo tanto se contó con el apoyo de dos expertos en diseño y gestión ambiental externos a la compañía, cuyos juicios hicieron posible la priorización de los atributos descritos dentro del ambiente propio de la empresa. Sin embargo, el contar con ambientes de desarrollo y negocios o una estructura organizacional diferente puede cambiar la ponderación de los atributos medioambientales del eco-diseño, por lo cual la generalización de los resultados del trabajo es limitada.

Del mismo modo, el tener en cuenta todos los atributos del ACV y los propios del producto total conlleva a un desarrollo más completo de la ponderación de los atributos del eco-diseño, aunque no afecta el objetivo del trabajo que es la relación de éstos con la obsolescencia programada.

El ACV es una metodología de análisis de impacto ambiental que debido a su mismo enfoque resulta bastante tediosa y compleja de aplicar. Si bien el trabajo está enfocado sobre los atributos del diseño en sí mismos y no tiene en cuenta sus implicaciones sobre los procesos de producción, la aplicación del modelo presentado resulta de gran utilidad en el momento de dimensionar realmente cuales son los procesos que se deben o se quieren afectar. De este modo permite enfocar los esfuerzos de gestión ambiental en los atributos mejor ponderados para el contexto de la organización mediante el uso de técnicas más complejas como matrices de Leopold o eco-indicadores, entre otros.

En el trabajo se comprueba como el PAJ permite no sólo el formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos, sino que es una herramienta que permite la evaluación de la solución óptima a través de un solo criterio de evaluación desde múltiples puntos de vista y criterios. Permite también juzgar el vínculo entre dos elementos que son en principio disímiles, una vez establecida una unión entre estos.

La ponderación de los atributos del eco-diseño tenidos en cuenta evidencia como, a juicio de los expertos, existe una marcada diferencia a favor de los atributos incluidos en el ACV, afectando las consideraciones propias de la concepción inicial del producto, aun cuando se resalte el valor de éstas para la definición completa del eco-diseño. Debido a esto, pese a que el sub-criterio de longevidad es muy favorecido dentro de la concepción inicial del producto, no resulta equiparable con los demás factores evaluados.

A juicio de los expertos, los criterios que tengan un impacto ambiental directo suelen ser más preferidos que aquellos cuyo impacto no sea tan inmediato. Se evidencia como las consideraciones de final del ciclo de vida recibe el primer nivel de priorización en su nivel, mientras el evitar el uso de sustancias peligrosas, minimizar la contaminación durante la etapa de uso del producto, y un diseño que favorezca el desensamble son preferidos por encima de los demás criterios de tercer nivel de jerarquía.

En la priorización de los patrones de obsolescencia según los atributos medioambientales del eco-diseño de productos se observa como resultado substancial que la obsolescencia absoluta ocupa el último lugar, pese a la baja ponderación del criterio de la longevidad del producto. Los factores que pueden sustentar ésta conclusión pueden ser o bien el carácter de negociación de la empresa – usando leasing en lugar de venta directa – o bien transferir éste resultado a la simple opinión de los decisores, expertos en diseño y gestión ambiental.

La nueva metodología planteada en el trabajo para la minimización del esfuerzo en la aplicación del PAJ prueba su valía no sólo en éste ítem, sino que amplía las fronteras del proceso al permitir la inclusión de más alternativas para ser evaluadas, ayudar a la reducción de inconsistencias de parte de los decisores y orientar de mejor manera los esfuerzos de los participantes. Si bien la modificación presentada puede ser considerada una mejora del PAJ tradicional, puede no ser aplicable o inclusive innecesaria para numerosas prácticas del PAJ.





## Bibliografía

- Adams, G. (24 de Enero de 2007). Smart ecoDesign: Eco-design checklist for Manufacturers of Active Electronic Components. Reino Unido.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). En *The Multiple Criteria decision analysis, An integrated approach*. Kluwer Academic Publishers.
- Bulow, J. (1986). An Economic Theory of Planned Obsolescence. *Quarterly Journal of Economics*, 729-749.
- Chang, C. (2011). The Influence of Corporate Environmental Ethics on Competitive Advantage: The Mediation Role of Green Innovation. *Journal of Business Ethics*, 361–370.
- Chen, Y. S., Lai, S. B., & Wen, C. T. (2006). The influence of green innovation performance on corporate advantage in Taiwan. *Journal of Business Ethics*, 531–543.
- Choi, J. P. (1994). Network Externality, Compatibility Choice, and Planned Obsolescence. *The Journal of Industrial Economics*, 167 - 182.
- Coase, R. H. (1972). Durability and Monopoly. *Journal of Law and Economics*(15), 143 - 149.
- Cooper, T. (2004). Inadequate Life? Evidence of Consumer Attitudes to Product Obsolescence. *Journal of Consumer Policy*, 421-449.
- Cooper, T. (2005). Slower consumption: Reflection on product life cycles and the "throwaway society" . *Journal of Industrial Ecology*, 51-67.
- Cortés, F., García, M., & Aragonés, P. (2007). Using multi-criteria decision-making for selecting broad-band technology for the National University of Colombia, Bogotá. *Revista Ingeniería e Investigación*, 132-137.
- Dannoritzer, C. (Dirección). (2011). *Comprar, tirar, comprar* [Película].
- Eisen, H. (2011). Planned obsolescence plus mass consumption equals full landfills. *Backbonemaq*, 16-18.

- Ellison, G., & Fudenberg, D. (2000). The Neo-Luddite.s Lament: Excessive Upgrades in the Software Industry. *The RAND Journal of Economics*, 253 - 272.
- Federal Communications Commission. (2012). *Code of Federal Regulations, Title 47, Telecommunication, Parts 0-19*. National Archives and Records Administration. Office of the Federal Register.
- Fishman, A., Gandal, N., & Shy, O. (1993). Planned Obsolescence As An Engine Of Technological Progress. *The journal of industrial economics*, 361-370.
- Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The Analytic Hierarchy Process - An Exposition. *Operations research*, 49(4), 469-486.
- Goering, G. E., & Boyce, J. R. (1993). R & D and Product Obsolescence. *Review of Industrial Organization*, 609-621.
- Granberg, B. (1997). *The quality re-evaluation process: Product obsolescence in a consumer-producer interaction framework*. Stockholm: University of Stockholm, Department of Economic History.
- Grout, P. A., & Park, I. (2005). Competitive planned obsolescence. *Rand Journal of Economics*, 596-612.
- Grout, P. A., & Park, I. (2005). Competitive planned obsolescence. *Rand Journal of Economics*, 596-612.
- Guiltinan, J. (2008). Creative Destruction and Destructive Creations: Environmental Ethics and Planned Obsolescence. *Journal of Business Ethics*, 19-28.
- Heiskanen, E. (1996). *Conditions for Product Life Extension*. Helsinki: National Consumer Research Centre. Working Paper 23.
- Hennison, K., & Kinnear, T. (1976). *Ecological Marketing*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hunkeler, D., & Vanakari, E. (2000). EcoDesign and LCA Survey of Current Uses of Environmental Attributes in Product and Process Development. *Ecometrics*, 145-151.
- Ihobe. (2008). *Norma Ecodiseño UNE150.301*. Bilbao: Ihobe.
- Ihobe. (2010). *Guía para el desarrollo de la norma de ecodiseño UNE 150301:2003 (base de ISO 14006)*. Bilbao: Ihobe.
- Kemna, R. (2011). *Final Report - Methodology for Ecodesign of Energy-related Products*. Brussels.



- Kloepffer, W. (2008). Life Cycle Sustainability Assessment of Products. *International Journal*, 89-95.
- Lavallée, S., & Ploufee, S. (2004). The Ecolabel and Sustainable Development. *International Journal*, 349-354.
- Lootsma, F. A. (1995). MCDA, a New Technology. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 245-246.
- Lootsma, F. A. (1996). The Decision Maker and the Analyst in MCDA. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 167-168.
- Miao, C. (2010). Tying, Compatibility and Planned. *The journal of industrial economics*, 579-607.
- Miao, C. (2011). Planned obsolescence and monopoly undersupply. *Information Economics & Policy*, 52-58.
- Moreno, J. M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. En *Toma de decisiones con criterios múltiples*. Madrid: Editorial ASEPUMA.
- Packard, V. (1960). *The waste makers*. Brooklyn: Ig Publishing.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2003). Directiva 2002/95/CE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. En *Diario Oficial de la Unión Europea* (págs. 19-23). Estrasburgo.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2009). Directiva 2009/125/CE por la que se instaura un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía. En *Diario Oficial de la Unión Europea* (págs. 10-31). Estrasburgo.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2012). Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). En *Diario Oficial de la Unión Europea* (págs. 38-71). Estrasburgo.
- Peattie, K., & Charter, M. (2003). Green Marketing. En M. Baker, *The Marketing Book* (págs. 726-756). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Peattie, K., & Peattie, S. (2009). Social marketing: A pathway to consumption reduction? *Journal of Business Research*, 260-268.
- Pil, J. C. (1994). Network Externality, Compatibility Choice, and Planned Obsolescence. *The journal of industrial economics*, 167-182.

- PNUMA/IMA. (1999). Producción más limpia - Un paquete de recursos de capacitación.
- Pomerol, J.-C., & Barba-Romero, S. (2000). *Multi Criteria decision in management: Principles and practice*. Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Green and competitive: Ending the stalemate. *Harvard Business Review*, 120–134.
- Pujari, D., Wright, G., & Peattie, K. (2002). Green and competitive. *Journal of Business Research*, 56(8), 657-671.
- Pujari, D., Wright, G., & Peattie, K. (2003). Green and competitive. *Journal of Business Research*, 657-671.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión Multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid: Alianza Editorial S.A.
- Roy, B., & Vanderpooten, D. (1996). The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 5(1), 22-38.
- Saaty, T. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. (1996). *The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 83-98.
- Schmidt, W. (2003). Life Cycle Costing as Part of Design for Environment. *International Journal*, 167-174.
- Shrivastava, P. (1994). CASTRATED Environment: GREENING Organizational Studies. *Organizational Studies*, 705-726.
- Strausz, R. (2009). Planned Obsolescence as an Incentive Device For Unobservable Quality. *Society*, 1405-1421.
- Swan, P. L. (1972). Optimum durability, second-hand markets, and planned obsolescence. *The Journal of Political Economy*, 575 - 585.
- The Centre for Sustainable Design. (2002). Smart ecoDesign: Eco-design Checklist For Electronic Manufacturers, Systems Integrators and Suppliers of Components and Sub-assemblies. Farnham, Reino Unido.

- Utaka, A. (2006). Planned Obsolescence and Social Welfare. *Journal of Business*, 137 - 147.
- Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169, 1–29.
- van Dam, Y. K., & Apeldoorn, P. A. (1996). Sustainable Marketing. *Journal of Maromarketing*, 45-56.
- Waldman, M. (1993). A New Perspective on Planned Obsolescence. *The Quarterly Journal of Economics*, 273 - 283.
- Waldman, M. (1996). Planned Obsolescence and the R&D Decision. *The RAND Journal of Economics*, 27(3), 583-595.
- World Business Council for Sustainable Development. (2000). *Eco-Efficiency: Creating More Value with Less Impact*. Genova.