

**APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE DEL CICLO DE VIDA DEL  
PRODUCTO**

**TATIANA ANDREA CASTILLO JAIMES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2014**

**APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE DEL CICLO DE VIDA DEL  
PRODUCTO**

**TATIANA ANDREA CASTILLO JAIMES**

**Tesis de grado en la modalidad de investigación  
para optar al título de ingeniera industrial**

**Director**

**Carlos Eduardo Díaz Bohórquez  
Maestría en Ingeniería Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2014**

## AGRADECIMIENTOS

*Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.*

*Le agradezco a mis padres, Saúl y Yolanda, por apoyarme en todo momento y por los valores que me han inculcado. Tengo que agradecer muy especialmente a mi madre, quien a pesar de los tropiezos que hemos tenido en el camino, como familia, siempre saco lo mejor de sí y nunca desfalleció para brindarnos a mi hermano a mí lo mejor que estuviera en sus manos, sin importarle el detrimento de su propio bienestar. A mi hermano, Jorge Saúl, quien a pesar de nuestras diferencias ha sido una voz de apoyo cuando lo he necesitado.*

*Doy gracias a Román Alberto, por ser parte importante en mi vida, por apoyarme en las buenas y en las malas, por ser mi mejor amigo y hacer hasta lo imposible por verme siempre feliz. Agradezco sobre todo su paciencia para conmigo y su amor incondicional.*

*Doy gracias por la confianza, apoyo y dedicación al profesor Carlos Eduardo, quien además de ser un excelente docente se ha convertido en un gran amigo. Porque sus enseñanzas van más allá de las aulas de clase y tienen una aplicación a la vida y las relaciones sociales.*

*A la profesora Olga Lucia, quien a pesar de no haber podido terminar conmigo este proyecto, fue ella la ideóloga del presente trabajo. Ella creyó en mí, y me brindó la oportunidad de realizar mi tesis bajo esta temática.*

*A mis amigos por confiar y creer en mí; por compartir un pedacito de vida conmigo, por haber hecho de esta etapa un trayecto lleno de vivencias que nunca olvidaré.*

## TABLA DE CONTENIDO

	pag.
INTRODUCCIÓN .....	13
TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. JUSTIFICACIONES .....	16
3. OBJETIVOS.....	26
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	26
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. METODOLOGÍA USADA .....	27
4.1. PREPARACIÓN PARA LA BÚSQUEDA DE ARTÍCULOS .....	27
4.2. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA .....	28
4.3. SELECCIÓN DE ARTÍCULOS.....	28
4.4. IDENTIFICACIÓN DE TÓPICOS O TEMÁTICAS.....	31
4.5. INTERPRETACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	32
5. PRODUCTO .....	33
6. CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO .....	36
6.1. INNOVACIÓN EN EL CICLO .....	43
6.2. METODOLOGÍAS A SEGUIR EN LAS FASES DEL CICLO.....	45
7. ACTUALIDAD EN EL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO .....	49
8. TENDENCIAS DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO .....	54
9. ADMINISTRACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO .....	60
9.1. NECESIDAD DEL PLM.....	63

9.2. CARACTERÍSTICAS DE UN PLM.....	64
9.3. BENEFICIOS OBTENIDOS A TRAVÉS DEL PLM .....	65
9.4. SISTEMAS/SOFTWARE PARA ADMINISTRAR EL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO .....	70
9.4.1. Bases para el diseño de un sistema PLM. ....	72
9.4.2. PLM genéricos .....	73
9.5. PLM DE CICLO COMPLETO.....	74
9.6. NUEVAS CONTRIBUCIONES PARA EL PLM .....	75
10. ANÁLISIS/EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO .....	77
11. CADENA DE SUMINISTRO.....	85
11.1. LA CADENA.....	85
11.2. GESTIÓN DE LA CADENA.....	88
11.3. CADENA DE SUMINISTRO INVERSA .....	92
11.4. TRABAJOS REALIZADOS A PARTIR DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO .....	94
12. CONCLUSIONES .....	95
13. RECOMENDACIONES.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXO .....	110

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ontología del Ciclo de vida del producto.....	38
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida del producto entero.....	39
<b>Figura 3.</b> Dinámica de la Innovación en Producto y en Proceso.....	44
<b>Figura 4.</b> La química verde y la biotecnología industrial aplicada al ciclo de vida.	53
<b>Figura 5.</b> Criterios para optimizar la sostenibilidad de los productos y servicios...	57
<b>Figura 6.</b> Herramientas TIC en el ciclo de vida del producto.....	71
<b>Figura 7.</b> Posibles participantes en la cadena de suministro inversa. ....	93

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Producto Estándar y Producto Innovador .....	41
<b>Tabla 2.</b> Costos a lo largo del ciclo de vida de un producto. ....	47
<b>Tabla 3.</b> Beneficios en cada proceso relacionado con PLM .....	67

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo.</b> Artículo publicable en formato de revista Ingenierías UIS.....	110
--	-----

## RESUMEN

**TÍTULO:** APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO\*

**AUTOR:** TATIANA ANDREA CASTILLO JAIMES\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Ciclo de Vida del Producto, Administración del Ciclo de Vida del Producto, Análisis del Ciclo de Vida del Producto, Cadena de Suministro, Inventario del Ciclo de Vida, Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.

**CONTENIDO:** Una revisión literaria permite alcanzar un conocimiento crítico y reflexivo, orientando investigaciones actuales y futuras y así trascender reflexivamente en el conocimiento acumulado para poder retransmitirlo. La presente revisión es del Ciclo de Vida del Producto (*PL - Product Lifecycle*); nace a partir de la necesidad de la creación de una nueva línea del grupo de investigación Opalo para la innovación, desarrollo y mejoramiento del PL (de forma que permita generar programas de cooperación universidad – empresa – estado). A esto se le suma la brecha de tiempo sin actualizar del conocimiento, resultando importante indagar el adelanto que se ha presentado en los últimos años, generando preguntas a más investigadores para el desarrollo de futuras pesquisas y la incubación y desarrollo de aplicaciones en el ámbito de las TIC's. Esto se realiza a través de varias etapas, de donde se obtiene el presente libro como resultado; tocando temas tan básicos como las definiciones de PL y Administración del Ciclo de Vida del Producto (*PLM – Product Lifecycle Management*) al punto de llegar a mostrar los beneficios de esta última. También se puede encontrar la marcada preocupación por la sostenibilidad ambiental y el impacto que la competencia empresarial causa al medio, tocando temas como Análisis del ciclo de vida del producto (*LCA – Lifecycle Assessment*) y las normativas que han ido surgiendo en torno a esto. Las tendencias del PL y el impacto que estas teorías están teniendo sobre la Cadena de Suministros también se hacen presentes en esta tesis.

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.  
Director M.I. Carlos Eduardo Díaz Bohórquez.

## ABSTRAT

**TITLE:** AN APPROACH TO THE STATE-OF-THE-ART REVIEW OF THE PRODUCT LIFECYCLE\*

**AUTHOR:** TATIANA ANDREA CASTILLO JAIMES\*\*

**KEY WORDS:** Product Lifecycle; Product Lifecycle Management; Life Cycle Assessment; Supply Chain; Life Cycle Inventory; Life Cycle Impact Assessment.

**CONTENT:** A literature review allows achieving a critical and reflexive knowledge, guiding current and future research and thus transcending thoughtfully accumulated knowledge to rebroadcast. This review is about of Product Lifecycle (PL); it borns from the need to create a new line in Opalo group research for innovation, development and improvement of the PL (so that can generate cooperation programs University-Company-State). To this is added the time gap without updating of knowledge, resulting investigate the important progress that has been made in recent years, generating questions to more researchers for the development of future research and the incubation and development of applications in the field of ICT. This is done by through various stages, from which this book as a result is obtained; by touching such basic issues as the definitions of PL and Product Lifecycle Management (PLM) to the point of showing the benefits of the latter. You can also find the strong concern for environmental sustainability and the impact caused to the business competition, touching on topics such as Life Cycle Assessment (LCA) and the regulations that have arisen around this. PL trends and the impact that these theories are having on the supply chain are also present in this thesis.

\* Thesis Project

\*\* Faculty of Physico-Mechanical Engineerings. School of Industrial and Business Studies. Director M.E. Carlos Eduardo Díaz Bohórquez.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto es una revisión de literatura en torno al Ciclo de Vida del Producto. Ir tras las huellas del tema y determinar cómo ha ido avanzando en los últimos años, qué es lo que se mueve en el ambiente empresarial, qué es lo que indagan y encuentran los diferentes autores, cuáles son las tendencias actuales, hacia donde gira el conocimiento, entre otros.

La revisión literaria permite alcanzar un conocimiento crítico y reflexivo acerca del Ciclo de Vida del Producto, permitiendo orientar investigaciones actuales y futuras; permitiendo de esta forma trascender reflexivamente en el conocimiento acumulado y poder así retransmitirlo.

Este documento es el resultado de una revisión y un análisis crítico de más de 50 artículos indexados relevantes, en donde el software MaxQda facilitó la síntesis sistemática de los textos por medio de la lectura concienzuda por parte del autor, la búsqueda intuitiva de términos idénticos y la organización de temáticas semejantes introducidas por el usuario.

## TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

OBJETIVO	CUMPLIMIENTO
Seleccionar artículos indexados relevantes en el tema con base a la búsqueda de palabras claves de ciclo de vida del producto.	4.1.; 4.2.; 4.3.
Realizar lectura de Títulos y Abstract de los artículos seleccionados para realizar un análisis de los mismos haciendo uso del software MaxQad.	4.4.; 4.5.
Realizar una revisión de literatura de 50 artículos indexados en el tema de ciclo de vida del producto.	5 a 11
Escribir un artículo de estructura y forma publicable en revistas de la base de Pubindex que refleje el resultado de la investigación.	Anexo

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy día el conocimiento avanza a pasos agigantados y en todos los campos de la ciencia, todo es debido a los constantes cambios del entorno y de la vida misma; por lo tanto, se hace imprescindible que las organizaciones que pretendan ser competitivas se alimenten constantemente de estos nuevos conocimientos, que innoven, ya sea adquiriendo nueva tecnología, rediseñando procesos o introduciendo nuevos productos al mercado. La innovación de productos, de acuerdo con Levitt<sup>1</sup>, a pesar de estar rodeada de incógnitas, dudas y un sin número de riesgos y que su éxito depende en gran medida de los niveles de innovación, investigación y tecnología que contenga, se presenta como una estrategia dominante dentro de las organizaciones, acrecentando los niveles en ventas y aún más cuando se combina con innovación en procesos. Mientras, esta última por si sola es considerada como una estrategia débil, y si es la única que se implementa corre el riesgo de ser inefectiva para lograr un alto crecimiento sostenido, como lo exponen Goedhuys y Veugelers<sup>2</sup>.

Dentro de las búsquedas literarias realizadas en las bases de datos de la Universidad Industrial de Santander, en Google Scholar, en 12manage y en FreeFullPDF, se ha encontrado que la última recopilación y análisis realizado acerca del Ciclo de Vida del Producto fue en 1979, en 1998 se publicó un análisis de costos del ciclo de vida y en 2010 otro survey paper sobre PLM (*Product Lifecycle Management – Administración del Ciclo de Vida del Producto*).

---

<sup>1</sup> LEVITT, Theodore. Exploit the Product Life Cycle. Harvard Business Review. 1965.

<sup>2</sup> GOEDHUYS, Micheline y VEUGELERSB, Reinhilde. Innovation strategies, process and product innovations and growth: Firm-level evidence from Brazil. Structural Change and Economic Dynamics. En prensa, versión corregida. Disponible en línea desde 2011.

## 2. JUSTIFICACIONES

Al interior del grupo de investigación Ópalo se ha visto la necesidad de la creación de una nueva línea de investigación para la innovación, desarrollo y mejoramiento del ciclo de vida del producto de forma tal que permita la investigación y extensión en programas de cooperación universidad – empresa – estado.

Ante la brecha de tiempo encontrada sin actualizar el conocimiento, se vislumbra la importancia en indagar acerca de las teorías, conceptos, procesos y herramientas que se han venido tratado alrededor del mundo en los últimos años y que dicha recopilación y análisis sirva como base y fuente de información a la nueva línea de Ópalo y a otros: pudiendo abrir nuevos campos de investigación, generando preguntas e inquietudes a más investigadores para el desarrollo de futuras pesquisas y la incubación y desarrollo de aplicaciones en el ámbito de las TIC's.

En las últimas décadas, de acuerdo con Leitão y Restivo<sup>3</sup>, Ming y otros<sup>4,5</sup>, Vonderembse y otros<sup>6</sup>, Chen y otros<sup>7</sup>, Fixson<sup>8</sup>, Terzi y otros<sup>9</sup>, Jiao y otros<sup>10</sup>: los

---

<sup>3</sup> LEITÃO, Paulo C. y RESTIVO, Francisco José. ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control. En: Computers in Industry. Febrero, 2006. Vol. 57, no. 2, p. 121-130

<sup>4</sup> MING, Xinguo; YAN, Jingqi; WANG, Xinghan; LI, Su; LU, WenFeng; PENG, Qingjin y MA, YongSheng. Collaborative process planning and manufacturing in product lifecycle management. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2- 3, p. 154-166

<sup>5</sup> MING, Xin Guo; YAN, Junqi; LU, Wen Feng y MA, Dengzhe. Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management - Status Review and Future Trend. En: Concurrent Engineering: Research and Applications. Diciembre, 2005. Vol. 13, no. 4, p. 311-319

<sup>6</sup> VONDEREMBSE, Mark A; UPPAL, Mohit; HUANG, Samuel H. Y DISMUKES, John P. Designing supply chains: Towards theory development. En: International Journal of Production Economics. Abril, 2006. Vol. 100, no. 2, p. 223-238

<sup>7</sup> CHEN, YuhJen; CHEN, YuhMin y CHU, HuiChuan. Development of a mechanism for ontology-based product lifecycle knowledge integration. En: Expert Systems with Applications. Marzo, 2009. Vol. 36, no. 2, p. 2759-2779

<sup>8</sup> FIXSON, Sebastian K. Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions. En: Journal of Operations Management. Abril, 2005. Vol. 23, no. 3-4, p. 345-369

cambios significativos en el entorno de fabricación que conjuntamente implican grandes desafíos para las empresas han sido a grandes rasgos: un aumento de la subcontratación; inventarios sujetos a depreciación acelerada causada por las necesidades de cumplimiento; pasar de una economía local hacia una economía global (más proveedores, más competidores, más regulaciones gubernamentales, etc.<sup>11</sup>), con mercados que exigen productos de mayor calidad a un menor precio, altamente personalizados, complejos y dispersos geográficamente y con un ciclo de vida corto. Según Tiwana y Ramesh<sup>12</sup>, estos productos acompañados de industrias con un ritmo de mejoramiento acelerado, hacen que el ciclo de vida del proceso también se acorte.

Ming y otros<sup>13</sup> hacen énfasis en la globalización y la competencia generada por esta. Esto exige a las industrias acelerar el desarrollo de productos; aumentar y mejorar la capacidad de producción, la manufactura, la capacidad de suministro y distribución, y; (en especial) aumentar los ingresos a partir de la eficiencia del ciclo de vida.

Lee y otros<sup>14</sup> encuentran a las empresas de hoy en día enfrentadas a retos provenientes de la innovación continua, la globalización y la gestión de riesgos complejos. Por otro lado, Fixson<sup>15</sup> cree que todo esto sumado al corto ciclo de vida

---

<sup>9</sup> TERZI, Sergio; BOURAS, Abdelaziz; DUTTA, Debashi; GARETTI, Marco y KIRITSIS, Dimitris. Product lifecycle management – from its history to its new role. En: International Journal of Product Lifecycle Management. Noviembre, 2010. Vol. 4, no. 4, p. 360-389

<sup>10</sup> JIAO, Jianxin; MA, QinHai y TSENG, Mitchell M. Towards high value-added products and services: mass customization and beyond. En: Technovation. Octubre, 2003. Vol. 23, no. 10, p. 809-821

<sup>11</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG, y MA. Op cit.

<sup>12</sup> TIWANA, Amrit B. y RAMESH, Balasubramaniam. A design knowledge management system to support collaborative information product evolution. En: Decision Support Systems. Junio, 2001. Vol. 31, no. 2, p. 241-262

<sup>13</sup> MING, YAN, LU, y MA. Op cit.

<sup>14</sup> LEE, SiangGuan; MA, YongSheng; THIMM, Georg Lothar y VERSTRAETEN, J. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2-3, p. 296-303

<sup>15</sup> FIXSON. Op cit.

de los productos obliga a las empresas a competir simultáneamente en producto, proceso y cadena de suministro. En pocas palabras, debido a la complejidad de las industrias, Shen y otros<sup>16</sup> están de acuerdo con la integración de los sistemas como pre-requisito para lograr una colaboración eficiente y eficaz. Mientras que Wang y otros<sup>17</sup> creen que todos estos cambios aumentan la atención puesta en la cadena de suministro.

Para ofrecer a los clientes un producto hecho a la medida, más rápido y más barato, según Ni y otros<sup>18</sup>, los fabricantes han cambiado su modo de producción a la personalización en masa, aprovechando la producción en serie para lotes de tamaño pequeño. De esta forma, un producto inicialmente consiste en una base común al que se le adhieren módulos funcionales formando una plataforma de personalización, como lo expone McCarthy y otros<sup>19</sup>.

Con el fin de responder a los desafíos de la competencia y la diversidad de habilidades necesarias para desarrollar un producto, Tiwana y Ramesh<sup>20</sup> aseguran que diversas unidades de las organizaciones han fortalecido sus lazos, a menudo trabajando en paralelo para completar las tareas que abarcan los límites tradicionales de las áreas funcionales.

---

<sup>16</sup> SHEN, Weiming; HAO, Qi; MAK, Helium; NEELAMKAVIL, Joseph D.; XIE, Helen; DICKINSON, John K.; THOMAS, Russell Cameron y XUE, Henry. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. En: Advanced Engineering Informatics. Abril, 2010. Vol. 24, no. 2, p. 196-207

<sup>17</sup> WANG, Ge; HUANG, Samuel H. y DISMUKES, John P. Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteriadecision-making methodology. En: International Journal of Production Economics. Septiembre, 2004. Vol. 91, no. 1, p. 1-15

<sup>18</sup> NI, MING, y LU. Computer-Supported Collaborative Environment for Distributed Product Development. *Citado por*: NI, Qianfu; LU, WenFeng y YARLAGADDA, Prasad Ko. An Extensible Product Structure Model for Product Lifecycle Management in the Make-to-Order Environment. En: Concurrent Engineering: Research and Applications. 2008. Vol. 16, no. 4, p. 243-251

<sup>19</sup> MACCARTHY, BRABAZON y BRAMHAM. Fundamental Modes of Operation for Mass Customization. *Citado por* NI, LU, y YARLAGADDA. Op cit.

<sup>20</sup> TIWANA y RAMESH. Op cit.

McCarthy y otros<sup>21</sup> aseguran que los procesos en todo el ciclo de vida del producto son de naturaleza compleja. Como consecuencia, cuando el ciclo de vida del proceso se hace más corto, Leitão y Restivo<sup>22</sup> ven como reto el desarrollar sistemas de control de fabricación con capacidades de inteligencia, adaptación rápida a los cambios del entorno y mayor robustez frente a la aparición de incertidumbres.

Además, Ni, Lu, y Yarlagadda<sup>23</sup> encuentran que muy pocos sistemas PDM (*Product Data Management* - Administración de Datos de Producto) disponibles en el mercado son de gran alcance para manejar estructuras de productos de personalización masiva y adicionalmente carecen de la capacidad para apoyar la integración de los procesos de negocio, tales como la planificación y la producción. Srinivasan<sup>24</sup> ratifica que los datos obtenidos de los productos son usados ampliamente en toda la empresa y la red de socios en los procesos de ingeniería de negocios (gestión de cambios de ingeniería, mercadeo y ventas, gestión de inventarios, optimización, seguimiento y programación de la planta, personalización masiva, etc.) generando una creciente necesidad de compartir e intercambiar información a través de una compleja red que pueda cambiar rápidamente<sup>25</sup>. Por esta razón, Ni, Lu, y Yarlagadda<sup>26</sup> exponen la necesidad de un modelo de estructura del producto capaz de representar con flexibilidad familias de productos y variantes de productos, con atención a los diferentes procesos de negocio en un ciclo de vida del producto: un modelo capaz de sincronizar la estructura de la familia productos y sus variantes. Adicionalmente, Terzi y otros<sup>27</sup> determinan que un modelo de ciclo de vida depende en gran medida del tipo de producto, y de cómo este afecta los procesos de negocio de la empresa.

---

<sup>21</sup> MING, YAN, LU y MA. Op cit.

<sup>22</sup> LEITÃO y RESTIVO. Op cit.

<sup>23</sup> NI, LU y YARLAGADDA. Op cit.

<sup>24</sup> SRINIVASAN, Vijay V. An integration framework for product lifecycle management. En: Computer-Aided Design. Mayo, 2011. Vol. 43, no. 5, p. 464-478

<sup>25</sup> Ibid.

<sup>26</sup> NI, LU, y YARLAGADDA. Op cit.

<sup>27</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

Durante el Inicio de Vida (BOL – *Beginning of life*) el flujo de información es muy completo, ya que se genera mucha información en los diversos sistemas: CAD/CAM (*Computer-Aided Design* – Diseño Asistido por Computadora / *Computer-Aided Manufacturing* – Manufactura Asistida por Computadora), PDM, KM (*Knowledge Management* – Administración del Conocimiento). Sin embargo, y como afirma Jun y otros<sup>28</sup>, el flujo de información se vuelve vago o impreciso después de BOL. Esto impide la realimentación de la información relacionada con el producto. Por lo tanto, las actividades del ciclo de vida subsiguientes (MOL: *Middle of life* – Mitad de vida y; EOL: *End of life* – Fin de vida) tienen una visibilidad limitada de la información relacionada con el producto. Como consecuencia de ello, las partes involucradas en cada fase del ciclo de vida toman decisiones basadas en información incompleta e inexacta, lo que se traduce en ineficiencias operativas. No obstante, en los últimos años, el rápido desarrollo de Internet, las tecnologías inalámbricas de telecomunicaciones, y varias tecnologías de identificación de productos permiten, según Jun y otros<sup>29</sup>, tener visibilidad de la información del producto sobre el ciclo de vida completo; teniendo en cuenta que el elemento central de estas tecnologías es el dispositivo integrado de información tecnológica.

A pesar que la información se concibe como algo difícil de describir o definir, Sharma<sup>30</sup> ha encontrado que la tecnología ha hecho posible una integración virtual y esto ha causado que la innovación sea vendida como una mercancía dando lugar a reducir drásticamente las brechas existentes entre los competidores.

---

<sup>28</sup> JUN, HongBae; KIRITSIS, Dimitris y XIROUCHAKIS, Paul C. Research issues on closed-loop PLM. *En: Computers in Industry*. Diciembre, 2007. Vol. 58, no. 8-9, p. 855-868

<sup>29</sup> *Ibid.*

<sup>30</sup>SHARMA, Amit. Collaborative product innovation: integrating elements of CPI via PLM framework. *En: Computer-Aided Design*. Noviembre, 2005. Vol. 37, no. 13, p. 1425-1434

De acuerdo con Adner y Levinthal<sup>31</sup>, la evolución de la tecnología ha sido un tema central de las organizaciones; sin embargo, Ming y otros<sup>32</sup> advierten que poco se ha documentado en tecnología del ciclo de vida del producto. Razón por la que Adner y Levinthal<sup>33</sup> proponen el desafío de comprender la dinámica del desarrollo tecnológico eliminando la preocupación que esto genera en el ámbito de la gestión. Schmookler<sup>34</sup> enseña como la innovación es impulsada por las exigencias externas del mercado, mientras que Dosi<sup>35</sup> asegura que son las actividades y capacidades internas de las empresas los principales impulsores de la innovación. Pero, Terzi y otros<sup>36</sup> dejan claro que lo fundamental para el éxito es mantener el enfoque en los productos y crear un lenguaje común en torno a ellos. Premisa que Jiao y otros<sup>37</sup> complementan con la importancia de la capacidad de una empresa para diseñar, probar e introducir productos de alta calidad al mercado dentro de un corto período de tiempo y a un bajo costo. Aunque Lee y otros<sup>38</sup> también destacan la importancia del nivel de satisfacción del cliente como factor clave para el éxito empresarial a largo plazo.

Desde hace varios años los ejecutivos de las empresas se han centrado en la innovación de productos como motor de ventaja competitiva permitiendo alcanzar todos los demás objetivos organizacionales. Sin embargo, Srinivasan<sup>39</sup> ha encontrado que recientemente se ha dado un nuevo enfoque, no sólo son productos

---

<sup>31</sup> ADNER, Ron y LEVINTHAL, Daniel A. Demand Heterogeneity and Technology Evolution: Implications for Product and Process Innovation. En: Management Science. Mayo, 2001. Vol. 47, no. 5, p. 611-628

<sup>32</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>33</sup> ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>34</sup> SCHMOOKLER, J. Invention and Economic Growth. *Citado por*: ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>35</sup> DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. *Citado por*: ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>36</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>37</sup> JIAO, MA y TSENG. Op cit.

<sup>38</sup> LEE, Yu; SHEU, LiangChyau y TSOU, Yuan G. Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system. En: Computers and Industrial Engineering. Agosto, 2008. Vol. 55, no. 1, p. 48-63

<sup>39</sup> SRINIVASAN. Op cit.

innovadores, sino también procesos de negocio innovadores y modelos de negocio que influyen en la creación de dichos productos innovadores.

Terzi y otros<sup>40</sup> afirman que el enfoque actual está en la innovación para asegurar que el cliente obtenga la satisfacción global del producto más allá de las definiciones tradicionales de calidad y costos, sin dejar de lado temas importantes como medio ambiente, riesgos, costos del ciclo de vida y calidad del servicio.

Sin embargo, Terzi y otros<sup>41</sup> advierten que la capacidad de la industria para producir productos integrales y servicios de apoyo se encuentra altamente limitada por la brecha de información existente entre las fases BOL y MOL-EOL.

Por otro lado, la percepción de los productos sostenibles ha cambiado en los últimos años, tal y como dicen Gehin y otros<sup>42</sup>: pasando de un enfoque “*de la cuna a la tumba*” a uno “*de la cuna a la cuna*”.

El enfoque “*de la cuna a la cuna*” (también conocido como *Cradle-to-cradle*) proclama una nueva forma de interpretar el ecologismo. Con él se pretende dar solución de raíz a los problemas del impacto ambiental debidos al actual estilo de vida, es decir, en lugar de reducir los consumos de energía se deben tener en cuenta todas las fases de los productos involucrados desde el diseño y concepción mismo (ya sea de un producto, una estrategia o política) de manera que ni siquiera sean necesarios los gastos de energía, llegando incluso a hacer una aporte al medio. “*De la cuna a la cuna*” tiene como premisa el concepto que los residuos no existen, sino que son productos para otros sistemas que tienen que ser conducidos para no perderse ni ser desechados.

---

<sup>40</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>41</sup> Ibid.

<sup>42</sup> GEHIN, Alexis; ZWOLINSKI, Peggy y BRISSAUD, Daniel. Integrated design of product lifecycles—The fridge case study. En: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2009. Vol. 1, no. 4, p. 214-220

Adicionalmente, Terzi y otros<sup>43</sup> afirman que los patrones actuales de producción masiva de bienes baratos y el consumo excesivo de productos con una vida útil corta no se pueden mantener indefinidamente. Se sabe que la sostenibilidad es una responsabilidad social pero lograrla es un reto, según afirma Terzi y otros<sup>44</sup>, porque la optimización de los recursos y el mantenimiento de la calidad de los procesos y productos están fuertemente relacionados con la creación y utilización del producto mismo.

Gehin y otros<sup>45</sup> son conscientes de que el análisis del ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales del producto y las herramientas de diseño para el medio ambiente normalmente se utilizan demasiado tarde, durante la fase de diseño detallado, sólo cuando un gran conjunto de datos está disponible, y cuando las modificaciones sobre el producto son difíciles de realizar sin pérdida importante de tiempo y dinero.

Lo lógico es que una compañía desee mantener los productos lo más cercano a la madurez tanto como sea posible, de acuerdo con Hu y Bidanda<sup>46</sup>, pues se traduce en mayores beneficios. Sin embargo, según Gehin y otros<sup>47</sup>, las metodologías de diseño de ingeniería existentes no tienen en cuenta el hecho de que los productos puedan pasar por varios ciclos de uso. Todo esto condiciona el diseño del producto y su desempeño ambiental. Para el mundo de hoy y del futuro, lo ideal es usar la

---

<sup>43</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>44</sup> Ibid.

<sup>45</sup> GEHIN, ZWOLINSKI y BRISSAUD. Op cit.

<sup>46</sup> HU, Guiping y BIDANDA, Bopaya. Modeling sustainable product lifecycle decision support systems. En: International Journal of Production Economics. Noviembre, 2009. Vol. 112, no. 1, p. 366-375

<sup>47</sup> GEHIN, ZWOLINSKI y BRISSAUD. Op cit.

perspectiva del ciclo de vida con el fin de analizar el impacto ambiental de los productos como analiza Schuh y otros<sup>48</sup>.

En los últimos años, Terzi y otros<sup>49</sup> documentan un deseo general (diseñadores, usuarios, recicladores, etc.) para permitir el flujo continuo, el seguimiento y la actualización de la información acerca de un producto después de la entrega al cliente hasta su EOL (fin de vida) y que regrese nuevamente al diseñador y productor.

Por otro lado y de forma complementaria, quien recientemente ha atraído la atención de la industria es el PLM, porque según Schuh y otros<sup>50</sup> enfrenta los desafíos actuales de fabricación ofreciendo a las empresas, de acuerdo con Ming y otros<sup>51</sup>, una nueva forma de planificar rápidamente, organizar, gestionar, medir y ofrecer nuevos productos o servicios mucho mejores, más rápido y barato. Sin embargo, el PLM aún no ha logrado sus objetivos en la mayoría de las organizaciones que lo implementan; todo se debe, conforme Schuh y otros<sup>52</sup>, a que cada componente ha sido tratado de forma aislada sin el indispensable enfoque global para la totalidad del ciclo de vida del producto y sus procesos subyacentes. De la misma forma, Lee y otros<sup>53</sup> coinciden en la necesidad de mejorar las funciones y módulos del sistema PLM alineándolos con los requisitos del cliente.

Esto denota la complejidad del concepto PLM y en consecuencia, Schuh y otros<sup>54</sup> creen que todavía hay una falta de comprensión profunda de lo que realmente

---

<sup>48</sup> SCHUH, Günther; ROZENFELD, Henrique; ASSMUS, Dirk y ZANCUL, Eduardo. Process oriented framework to support PLM implementation. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2-3, p. 210-218

<sup>49</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>50</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>51</sup> MING, YAN, LU y MA. Op cit.

<sup>52</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>53</sup> LEE, SHEU y TSOU. Op cit.

<sup>54</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

significa en la práctica, pues se denota un vacío en la investigación y la literatura sobre temas de implementación.

Ming y otros<sup>55</sup> resaltan, nuevamente, la importancia del PLM en los sistemas de aplicaciones empresariales modernos donde se busca ofrecer productos y servicios con rapidez para satisfacer al máximo las necesidades del cliente, para mejorar la cuota y el tamaño del mercado logrando eficiencia, eficacia y unos ingresos en constante crecimiento.

En definitiva, si las empresas quieren seguir siendo competitivas tienen que responder mejor a las demandas del cliente: mejorar su flexibilidad y agilidad y mantener su productividad y calidad. Esto impone, según lo exponen Leitão y Restivo<sup>56</sup>, cambios significativos en el entorno de fabricación.

Por su parte la academia, así como dice Koufteros y otros<sup>57</sup>, al igual que las comunidades practicantes se benefician (y se beneficiarían) de los diversos estudios que examinen las posibles relaciones entre el desarrollo de productos, sus capacidades competitivas y su desenvolvimiento a través de su ciclo de vida.

---

<sup>55</sup> MING, YAN, LU y MA. Op cit.

<sup>56</sup> LEITÃO y RESTIVO. Op cit.

<sup>57</sup> KOUFTEROS, Xenophon A.; VONDEREMBSE, Mark A. y DOLL, William J. Integrated product development practices and competitive capabilities: the effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy. En: Journal of Operations Management. Agosto, 2002. Vol. 20, no. 4, p. 331-355

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar una revisión literaria basada en la narrativa acerca del Ciclo de Vida del Producto.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar artículos indexados relevantes en el tema con base a la búsqueda de palabras claves de ciclo de vida del producto.
- Realizar lectura de Títulos y Abstract de los artículos seleccionados para realizar un análisis de los mismos haciendo uso del software MaxQad.
- Realizar una revisión de literatura de 50 artículos indexados en el tema de ciclo de vida del producto.
- Escribir un artículo de estructura y forma publicable en revistas de la base de Publindex que refleje el resultado de la investigación.

## 4. METODOLOGÍA USADA

Antes de empezar la revisión de la literatura, se definió claramente el proceso a fin de reducir al mínimo la subjetividad de selección y análisis, así como otras posibles fuentes de sesgo que pudieran influenciar los resultados de la revisión. Para esto a continuación se especifican la serie de pasos que se realizaron, pero que en alguna medida se traslaparon y se fueron realimentando a lo largo de la ejecución del proyecto.

### 4.1. PREPARACIÓN PARA LA BÚSQUEDA DE ARTÍCULOS

Dado que la mayor cantidad artículos se encuentran en inglés y los investigadores más sobresalientes en las diferentes ramas publican en dicho idioma, se hizo la selección de las palabras clave en español (Ciclo de Vida del Producto) y por medio de la web *Thesaurus* se tradujeron.

Al realizar la traducción y búsqueda de los términos utilizados a la hora de hablar de Ciclo de Vida del Producto, *Thesaurus* mostró las opciones:

- Product Lifecycle
- Product Life-cycle
- Product Life Cycle

Esto permitió componer una primera ecuación de búsqueda:

*“Product lifecycle” or “product life-cycle” or “product life cycle”*

Después de realizar un análisis de los temas en torno al Ciclo de Vida del Producto, no se creyó conveniente la adición de más palabras claves a la ecuación dado que

el planteamiento inicial del Proyecto es un tema que engloba y del que se derivan muchos otros. Por ende, se decidió usar esta ecuación en la búsqueda de los artículos.

## **4.2. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA**

Se hizo un primer filtrado (el 3 de septiembre de 2012) con la ecuación de búsqueda en 3 de las bases de datos con que cuenta la Universidad (ISI Web of Knowledge, Jstor y Scopus).

Se realizó una nueva búsqueda el 19 de diciembre de 2012 a fin de encontrar más artículos, excluyendo aquellas publicaciones anteriores al 2008, obteniendo en total 417 artículos en ISI Web of Knowledge; 9 artículos en Jstor y; 345 artículos en Scopus.

## **4.3. SELECCIÓN DE ARTÍCULOS**

En cada una de las búsquedas, se ordenaron de acuerdo al número de veces que cada artículo fue citado por otros autores y de cada base de datos se escogieron los primeros 50 artículos que aparecieron para hacer la respectiva lectura de títulos y abstract (excepto Jstor en donde se escogieron todos).

Al hacer la lectura de los respectivos Abstract, se eligieron los más relevantes para la investigación y aquellos que se pudieran conseguir de forma completa en cualquiera de las bases de la Universidad. Esta selección se realizó de forma manual.

El total de artículos seleccionados en ambas búsquedas fueron 54 a saber:

- Demand Heterogeneity and Technology Evolution: Implications for Product and Process Innovation
- Model-based definition design in the product lifecycle management scenario
- Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems
- Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production
- Energy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options
- Application of life cycle assessment to chemical processes
- Development of a mechanism for ontology-based product lifecycle knowledge integration
- Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations
- Cradle-to-Cradle Stewardship of Drugs for Minimizing Their Environmental Disposition While Promoting Human Health.
- The Product Life Cycle: Analysis and Applications Issues
- A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including development and recycling
- Recent developments in Life Cycle Assessment
- Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions
- Integrated design of product lifecycles—The fridge case study
- Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances
- Challenges in the new millennium: product discovery and design, enterprise and supply chain optimization, global life cycle assessment
- Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals – a cradle-to-grave perspective
- Modeling sustainable product lifecycle decision support systems

- Shape-based searching for product lifecycle applications
- Towards high value-added products and services: mass customization and beyond
- Research issues on closed-loop PLM
- Simplified Lifecycle Assessment for the Early Design Stages of Industrial Products
- Integrated product development practices and competitive capabilities: the effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy
- Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives
- Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul
- Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system
- ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control
- Sustainable supply chains: An introduction
- Integrating sustainable development in the supply chain: The case of life cycle assessment in oil and gas and agricultural biotechnology
- Intelligent Products: A survey
- Collaborative process planning and manufacturing in product lifecycle management
- Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management - Status Review and Future Trend
- An Extensible Product Structure Model for Product Lifecycle Management in the Make-to-Order Environment
- An autonomous decentralized supply chain planning system for multi-stage production processes
- Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA
- Empirical research opportunities in reverse supply chains

- Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications
- Process oriented framework to support PLM implementation
- Collaborative product innovation: integrating elements of CPI via PLM framework
- Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review
- An integration framework for product lifecycle management
- Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review
- A product information modeling framework for product lifecycle management
- Methods for Life Cycle Inventory of a product
- Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management
- Learning and process improvement during production ramp-up
- Product lifecycle management – from its history to its new role
- A design knowledge management system to support collaborative information product evolution
- Product modularity for life cycle design
- Designing supply chains: Towards theory development
- Developing sustainable products and services
- Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology
- Fuzzy decision modeling for supply chain management
- Service Design for Product Lifecycle in Service Oriented Manufacturing

#### **4.4. IDENTIFICACIÓN DE TÓPICOS O TEMÁTICAS**

Se leyeron los 54 artículos y se identificaron los tópicos fundamentales que se traducen en capítulos o subcapítulos (según sea el caso) del actual documento.

#### **4.5. INTERPRETACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Con la ayuda de software MaxQda se fue leyendo, traduciendo, interpretando y seleccionando lo más destacado a través de un sistema de “memos” y “códigos” que maneja dicho software. Al terminar la lectura del total de artículos, se exportó toda esta información a un editor de textos, en donde se consolidó y se le dio forma: donde una serie de frases y enunciados pasan a darle vida al material que sigue en los siguientes capítulos.

## 5. PRODUCTO

Altos niveles de complejidad en los productos generalmente desatan inconvenientes que resultan perjudiciales para el rápido desarrollo de los mismos, pues como afirma Fixson<sup>58</sup>, la complejidad implica interacciones más tormentosas en los procesos lo que aumenta el número de iteraciones. Koufteros y otros<sup>59</sup> añaden que en la actualidad el desarrollo del producto ocurre tan frecuentemente ampliando la oferta de nuevos productos pero contrayendo enormemente los ciclos de vida de los productos.

Por su parte, las empresas que se enfrentan a altos niveles de incertidumbre y operan en entornos inciertos adoptan prácticas integradas al desarrollo de los productos mucho más eficientes que aquellas empresas que operan en entornos de baja incertidumbre, como lo expone Koufteros y otros<sup>60</sup>.

La integración de prácticas para el desarrollo de los productos (como la ingeniería concurrente) parece, desde la perspectiva de Koufteros y otros<sup>61</sup>, ser fundamental para mejorar la calidad, la innovación, el precio y la rentabilidad de los productos.

Adicionalmente, Susman<sup>62</sup>, Wheelwright y Clark<sup>63</sup> sostienen que la Ingeniería Concurrente y el uso del computador tienen un impacto positivo y directo en la capacidad de la empresa para desarrollar productos innovadores con nuevas características y mayor rendimiento. Estos esfuerzos también conducen a

---

<sup>58</sup> FIXSON. Op cit.

<sup>59</sup> KOUFTEROS, VONDEREMBSE y DOLL. Op cit.

<sup>60</sup> Ibid.

<sup>61</sup> Ibid.

<sup>62</sup> SUSMAN, G.I. Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage. *Citado por:* KOUFTEROS, VONDEREMBSE y DOLL. Op cit.

<sup>63</sup> WHEELWRIGHT, CLARK. Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality. *Citado por:* KOUFTEROS, VONDEREMBSE y DOLL. Op cit.

productos que son de alta calidad según afirma Clark y Fujimoto<sup>64</sup>. Esto lleva a mejorar la innovación de productos, aumentar la calidad y por ende se puede aumentar el precio en el mercado, lo que implica una mayor rentabilidad.

En esta era, el mercado está acostumbrado a ver nuevos productos contantemente y que probablemente tengan que pagar precios más altos si, de acuerdo con Koufteros y otros<sup>65</sup>, la calidad ha mejorado sustancialmente.

Por otro lado, los servicios técnicos (como el mantenimiento) pueden influir grandemente en los resultados económicos y ecológicos de los productos, proporcionando nuevos y mejores beneficios al usuario como menciona Aurich y otros<sup>66</sup>.

Para mover un producto desde la idea inicial hasta su llegada al cliente requiere muchas decisiones sobre el diseño y el funcionamiento de numerosos procesos en tres ámbitos: producto, proceso y cadena de suministro. Estas decisiones son de carácter estratégico, operativo y táctico. Fixson<sup>67</sup> indica que muchas de esas decisiones están restringidas o habilitadas por las características del producto, como la cantidad y tipo de procesos que deben ser utilizados para fabricarlo.

Además, Jiao y otros<sup>68</sup> revelan que la personalización en masa de productos de alto valor agregado hace posible servicios de primera calidad a través de los beneficios derivados de los productos personalizados.

---

<sup>64</sup> CLARK y FUJIMOTO. Product Development Performance. *Citado por:* KOUFTEROS, VONDEREMBSE y DOLL. Op cit.

<sup>65</sup> KOUFTEROS, VONDEREMBSE y DOLL. Op cit.

<sup>66</sup> AURICH, Jan C; FUCHS, Christian y WAGENKNECHT, Christian H. Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. En: Journal of Cleaner Production. 2006. Vol. 14, no. 17, p. 1480-1494

<sup>67</sup> FIXSON. Op cit.

<sup>68</sup> JIAO, MA y TSENG. Op cit.

Finalmente, Fixson<sup>69</sup> advierte nuevamente de la incidencia que se tiene sobre los productos, procesos, y cadena de suministro afectados por la arquitectura del producto.

---

<sup>69</sup> FIXSON. Op cit.

## 6. CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

Todos los productos que son comercializados en el mercado comparten un mismo patrón conocido como ciclo de vida del producto, que divide la existencia de éste en etapas describiendo su comportamiento a lo largo de su existencia, desde el momento previo a su concepción con el nacimiento de la idea hasta su salida. Levitt<sup>70</sup> fue el primero en hablar del ciclo de vida del producto al afirmar que estos, al igual que los seres vivos nacen, crecen, se desarrollan y mueren. Tiempo después fueron Rink y Swan<sup>71</sup> quienes empezaron a hablar de un patrón al momento de representar el ciclo de vida: una curva en forma de campana, pero en la realidad esta no era su única forma.

Conscientes de la complejidad que denota el desarrollo del producto y lo difícil de describir su ciclo en conjunto, Zhao y otros<sup>72</sup> reiteran la importancia de dividirlo y describirlo en etapas. Sin embargo, teniendo en cuenta la marcada globalización, estas etapas empiezan a tener en cuenta toda la cadena de suministro, hablando de ciclo de vida del producto a lo largo de la cadena.

Boothroyd y Alting<sup>73</sup> definen seis (6) fases en el ciclo de vida del producto: reconocimiento de la necesidad; desarrollo del diseño; producción; distribución; uso; y eliminación. Pero, Vonderembse y otros<sup>74</sup> al igual que Prahinski y

---

<sup>70</sup> LEVITT, Theodore. Exploit the Product Life Cycle. En: Harvard Business Review. 1965.

<sup>71</sup> RINK, David R. y SWAN, John E. Product life cycle research: A literature review. En: Journal of Business Research. 1979. Vol. 7, No. 3, Pag.219–242

<sup>72</sup> ZHAO, Liping; WAN, Jun; JIANG, Pingyu y QIN, Yongtao. Service Design for Product Lifecycle in Service Oriented Manufacturing. En: Lecture Notes in Computer Science, Lecture Notes in Artificial Intelligence. 2008. Vol. 5315, no. 2, p. 733-742

<sup>73</sup> BOOTHROYD, G. y ALTING, L. Design Assembly and Disassembly. *Citado por:* KUO, TsaiChi; HUANG, Samuel H. y ZHANG, HongChao. Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. En: Computers & Industrial Engineering. Diciembre, 2001. Vol. 41, no. 3, p. 241-260

<sup>74</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

Kocabasoglu<sup>75</sup> junto con Wiersema<sup>76</sup> determinan cuatro etapas: introducción, crecimiento, madurez y declive; donde cada etapa está determinada por el número de unidades de venta del producto. Por otro lado, Chen y otros<sup>77</sup> van más allá del fin de vida útil del producto e incluyen otras etapas, llegando a tener un ciclo siete (7) fases principales: investigación de mercado; diseño; fabricación; comercialización; uso; servicio post-venta y reciclaje (Ver Figura 1). Muy similar es lo que describen Rebitzer y otros<sup>78</sup>, quienes consideran que cada producto tiene una "vida", y sus fases son: diseño y desarrollo del producto; extracción de recursos; producción (de materiales, del producto mismo y suministro); uso y consumo; y recogida, separación, reutilización, reciclaje y eliminación de residuos.

Son Gehin y otros<sup>79</sup> quienes no descartan las fases clásicas del ciclo de vida del producto y afirman que estas se han ido adaptando y han dado lugar a la definición de nuevas fases teniendo en cuenta los impactos ambientales (a considerar por los diseñadores y diferenciando el producto de sus componentes): material de extracción y transformación; fabricación de componentes y ensamblaje; distribución de los componentes; elaboración del producto; distribución del producto; uso del producto; devolución del producto; y fin de vida de cada componente.

Por otro lado, Jun y otros<sup>80</sup> y Terzi y otros<sup>81</sup> determinan tres grandes fases en las que se compone el ciclo de vida del producto (Ver Figura 2):

---

<sup>75</sup> PRAHINSKI, Carol y KOCABASOGLU, Canan. Empirical research opportunities in reverse supply chains. En: Omega. Diciembre, 2006. Vol. 34, no. 6, p. 519-532

<sup>76</sup> WIERSEMA, F.D. Strategic marketing and the product life cycle. *Citado por:* WANG, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>77</sup> CHEN, CHEN y CHU. Op cit.

<sup>78</sup> REBITZER, Gerald; EKVALL, Tomas; FRISCHKNECHT, Rolf; HUNKELER, David J.; NORRIS, Gregory A.; RYDBERG, Tomas; SCHMIDT, Wulf Peter y PENNINGTON, David W. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. En: Environment International. Julio, 2004. Vol. 30, no. 5, p. 701-720

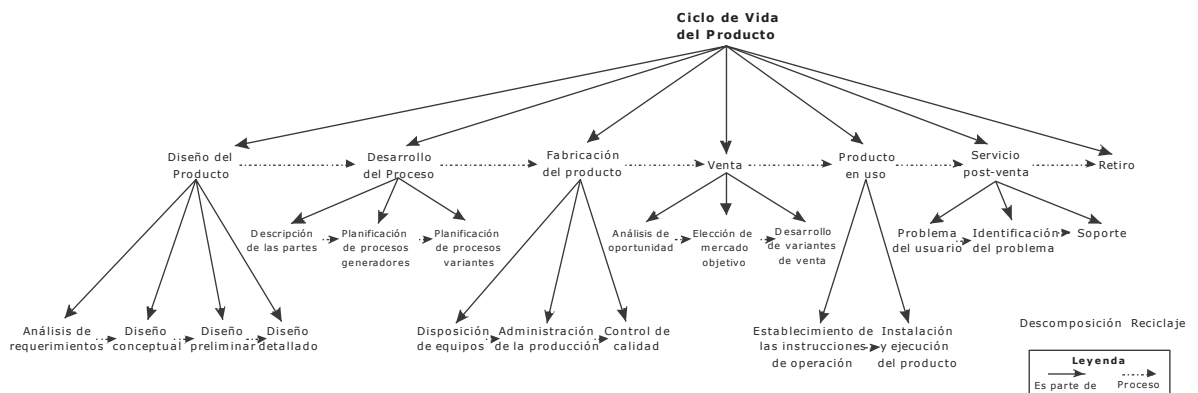
<sup>79</sup> GEHIN, ZWOLINSKI y BRISSAUD. Op cit.

<sup>80</sup> JUN, KIRITSIS y XIROUCHAKIS. Op cit.

<sup>81</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

- BOL: incluye el diseño (producto, proceso y planta) y la manufactura (producción y logística al interior de la planta). Durante esta fase, el producto se encuentra en poder de la empresa, dentro de los límites de la misma. En esta fase, generalmente el intercambio de información se realiza a través del ERP (*Enterprise Resource Planning* – Planificación de recursos de la empresa).
- MOL: contiene la logística (distribución), el uso, servicio y mantenimiento, ya sea en manos de los clientes finales y/o proveedores.
- EOL: inicia desde el momento en que el producto ya no satisface a sus usuarios y debe ser retirado (a veces por la misma empresa) para ser reciclado o eliminado. Incluye logística inversa (recolección), re-manufactura (desmontaje, acondicionamiento, montaje, etc.), reutilización, reciclado y eliminación.

**Figura 1.** Ontología del Ciclo de vida del producto



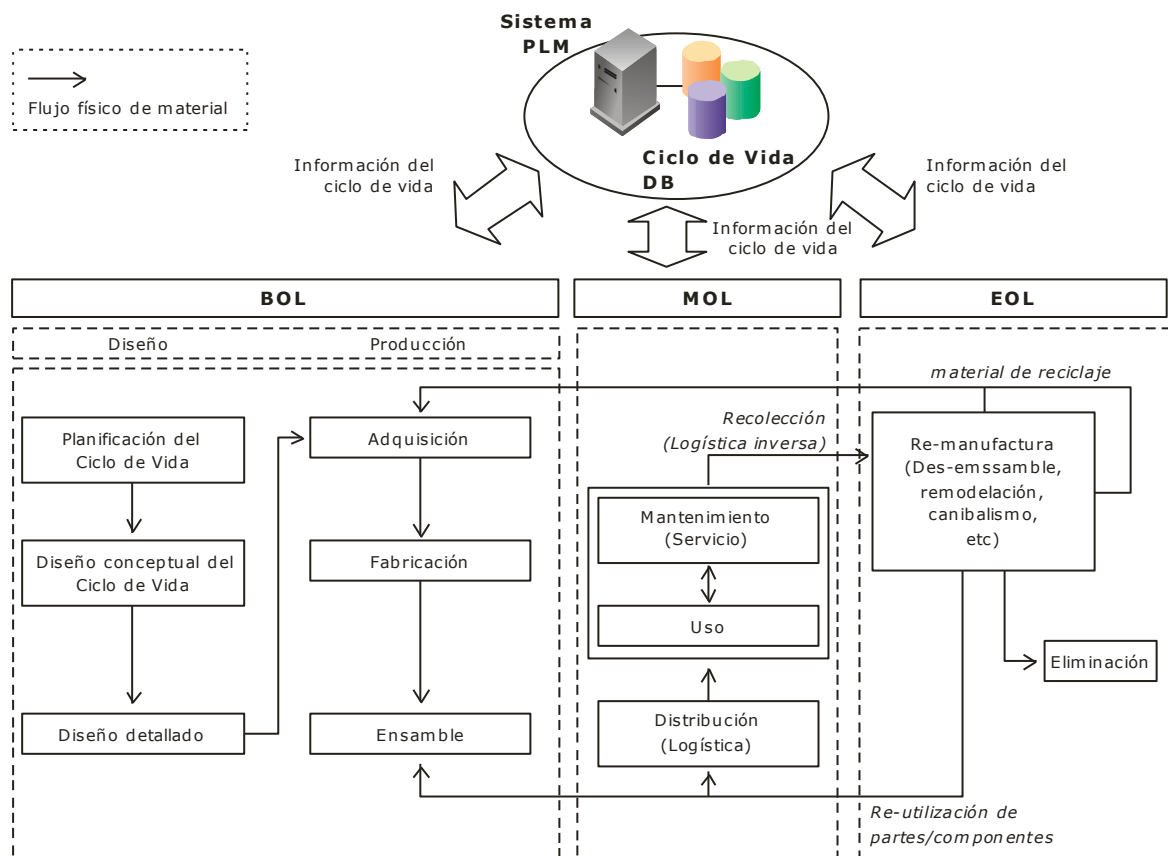
*Fuente: Chen, Chen y Chu. Development of a mechanism for ontology-based product lifecycle knowledge integration.*

Una versión del ciclo de vida del producto, plasmada por Wasson<sup>82</sup>, incorpora una etapa de turbulencia competitiva antes de la etapa de madurez. Resaltando el

<sup>82</sup> WASSON, Chester R. Dynamic Competitive Strategy and Product Life Cycles. *Citado por:* DAY, George S. The Product Life Cycle: Analysis and Applications Issues. En: Journal of Marketing. 1981. Vol. 45, no. 4, p. 60-67

aporte de Terwiesche<sup>83</sup> sobre la reducción de los ciclos de vida que ocurre en las industrias de alta tecnología, que se ven obligadas a reducir no sólo los tiempos de desarrollo (time-to-market), sino también el tiempo que se necesita para alcanzar el volumen de producción total (time-to-volume) con el fin de cumplir con sus metas financieras para el producto (tiempo a recuperación de la inversión), debido a los equipos y costos de producción iniciales cada vez más caros.

**Figura 2.** Ciclo de vida del producto entero



*Fuente: Jun, Kiritsis y Xirouchakis. Research issues on closed-loop PLM.*

<sup>83</sup> TERWIESCH, Christian y E. BOHN, Roger. Learning and process improvement during production ramp-up. En: International Journal of Production Economics. Marzo, 2001. Vol. 70, no. 1, p. 1-19

Por otro lado, Day<sup>84</sup> es consciente de la tremenda ambivalencia del concepto de ciclo de vida del producto en la comercialización. Pues por una parte, el concepto tiene un atractivo perdurable debido a la lógica intuitiva del nacimiento, crecimiento, madurez y caída (a modo de analogía biológica). Pero esta sencillez, hace que sea vulnerable a la crítica, especialmente cuando se utiliza como un modelo predictivo para anticipar cambios, sucesión de etapas o elección de estrategias a considerar en cada etapa.

Fisher<sup>85</sup>; Mason-Jones y otros<sup>86</sup>; Vonderembse y otros<sup>87</sup>; y Huang y otros<sup>88</sup> hacen una clasificación de productos de acuerdo con su naturaleza en dos grandes grupos: Estándar o Funcional e Innovador; junto con un tercer grupo (mezcla de estos dos): híbrido. En síntesis, las diferencias entre los dos principales grupos se plasman en la Tabla 1. Adicionalmente, dependiendo del tipo de producto (Funcional, Innovador o Híbrido) y la etapa del ciclo de vida en que se encuentre (introducción, crecimiento, maduración o declive), Wang y otros<sup>89</sup> aconsejan un tipo de cadena de suministro a manejar.

Sin embargo, Vonderembse y otros<sup>90</sup> aseguran que una vez el producto se ha establecido firmemente y se encuentra en la etapa de madurez, deja de ser innovador y comienza a adquirir las características de un producto estándar. En este punto, la competencia de precios es muy importante.

---

<sup>84</sup> DAY. Op cit.

<sup>85</sup> FISHER, M.L., 1997. What is the right supply chain for your product? *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>86</sup> MASON-JONES, R.; NAYLOR, B.; TOWILL, D.R. 2000. Lean, agile, or leagile? Matching your supply chain to the marketplace. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>87</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>88</sup> HUANG, S.H.; UPPAL, M.; y SHI, J. A product driven approach to manufacturing supply chain delection. *Citado por:* WANG, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>89</sup> WANG, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>90</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

**Tabla 1. Producto Estándar y Producto Innovador**

	<b>Estándar</b>	<b>Innovador</b>
<b>Costo</b>	Bajo	-No especificado-
<b>Demanda</b>	Estable y pronosticable	Incierta
<b>Características de diseño y producción</b>	Cambian lentamente con el tiempo. Tienden a ser modificaciones superficiales.	Inestables. Enfocados principalmente en la personalización masiva.
<b>Contacto con el cliente</b>	Periódico	Estrecho y continuo
<b>Relación con proveedores</b>	De largo plazo, materiales de alta calidad, entrega just-in-time, y descuentos por cantidad	-No especificado-
<b>Ciclo de Vida</b>	Largo	Corto
<b>Etapas de ubicación en el Ciclo</b>	Última parte de la etapa de crecimiento en adelante	Introducción y crecimiento

*Fuente: Autor*

De acuerdo con Fandel y Stammen<sup>91</sup> la planificación y el desarrollo de nuevos productos permiten demostrar la viabilidad técnica y económica llevadas a cabo en colaboración con clientes y proveedores. Adicionalmente, los diseñadores deben determinar la estrategia de ciclo de vida a usar para cada componente del producto y, desde el punto de vista ambiental según Gehin y otros<sup>92</sup>, es necesario no sólo tener en cuenta la fase inicial del producto sino tantas fases como este pueda tener. Por ejemplo, la estrategia de diseño centrada en la negociación de prácticas y su impacto en las características del producto durante la fase de desarrollo del mismo; o la estrategia de fin de vida del producto como una mezcla de reutilización, re-fabricación y reciclaje (todas contempladas desde la fase de diseño). Finalmente,

---

<sup>91</sup> FANDEL, Günter y STAMMEN, Markus. A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including development and recycling. En: International Journal of Production Economics. Junio, 2004. Vol. 89, no. 3, p. 293-308

<sup>92</sup> GEHIN, ZWOLINSKI y BRISSAUD. Op cit.

Terzi y otros<sup>93</sup> dejan sentada la importancia de la fase de diseño, pues es allí donde se generan la mayoría de los datos de los productos.

La gestión de la sostenibilidad del producto, de gran importancia y valor actual, no es sólo una función del diseño, sino también de la gestión de productos como lo mencionan Linton y otros<sup>94</sup>. Ellos mismos afirman que, hasta la fecha, gran parte de la investigación se ha centrado en la captura de valor que queda en los productos al final de su vida a través de la re-fabricación; lo que implica cambios en los aspectos operativos relacionados como los pronósticos, la logística, el procesamiento y otras funciones relacionadas con las operaciones. La disposición del producto al final de su vida útil se basa en gran medida sobre las medidas adoptadas en las etapas anteriores, otorgándole al diseño inicial gran influencia en el grado en que un producto puede ser reutilizado, re-fabricado, reciclado o eliminado. Aunque, en otro momento Linton y Jayaraman<sup>95</sup> advierten de la variedad de técnicas que se utilizan para extender la vida de los productos evitando el agotamiento de los recursos a través de la producción de nuevos productos.

Recientemente, la Unión Europea (UE) se ha convertido en un autor muy influyente en el tema de sostenibilidad. El Parlamento Europeo considera que este concepto es tan importante para el futuro de la UE que la legislación actual y futura debe integrar la sostenibilidad en las órdenes de ejecución.

---

<sup>93</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>94</sup> LINTON, Jonathan D.; KLASSEN, Robert D. y JAYARAMAN, Vaidyanathan. Sustainable supply chains: An introduction. En: Journal of Operations Management. Noviembre, 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1075-1082

<sup>95</sup> LINTON, J.D.; JAYARAMAN, V. A conceptual framework for product life extension. *Citado por:* LINTON, KLASSEN y JAYARAMAN. Op cit.

## 6.1. INNOVACIÓN EN EL CICLO

La innovación a lo largo del ciclo de vida se puede dar de muchas formas, la más dominante, de acuerdo con Levitt<sup>96</sup> y Adner y Levinthal<sup>97</sup>, es la innovación en productos cuyo objetivo principal es mejorar el rendimiento del producto. Innovaciones sucesivas de este tipo se traducen en "diseño dominante", logrando alcanzar la estructura óptima del producto. Este tipo de innovación a pesar de estar rodeada de incógnitas, dudas, un sin número de riesgos y un éxito en manos del nivel de innovación, de investigación y de la tecnología que contenga, acrecienta los niveles en ventas y aún más cuando se combina con innovación en procesos.

La innovación de procesos es inicialmente menor en importancia, y por si sola es considerada como una estrategia débil; Goedhuys y Veugelers<sup>98</sup> manifiestan el riesgo de su ineffectividad para lograr un alto crecimiento sostenido, si es la única innovación que se implementa.

Normalmente, primero se usa la innovación en el producto hasta que el diseño se estabiliza; a continuación se emplean métodos de producción cada vez más automatizados y la innovación en procesos para reducir los costos. En última instancia, la innovación de ambos tipos comienza a disminuir.

En la Figura 3 queda claro que la innovación de productos necesariamente precede a la innovación de procesos. Adner y Levinthal<sup>99</sup> caracterizan la primera fase con un aumento en el precio del producto, lo que refleja un enfoque en el desarrollo de productos. Mientras que la segunda fase el precio disminuye, lo que refleja el predominio del desarrollo del proceso. Presentándose finalmente una tercera fase

---

<sup>96</sup> LEVITT, Theodore. Exploit the Product Life Cycle. Harvard Business Review. 1965.

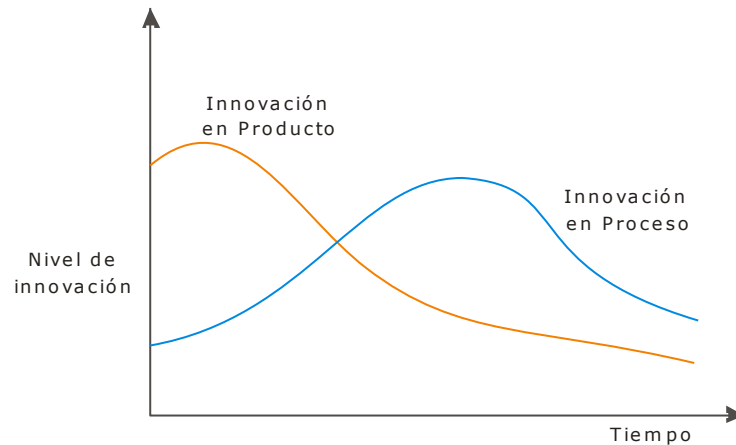
<sup>97</sup> ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>98</sup> GOEDHUYS, Micheline y VEUGELERSB, Reinhilde. Op cit.

<sup>99</sup> ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

determinada por la relativa estabilidad de precios y mejoras en el rendimiento estable.

**Figura 3.** Dinámica de la Innovación en Producto y en Proceso



*Fuente: Adner y Levinthal. Demand Heterogeneity and Technology Evolution: Implications for Product and Process Innovation.*

Si bien las mejoras de diseño son el principal motor de la aceptación en el mercado, Adner y Levinthal<sup>100</sup> encuentran en el ahorro en costos la motivación fundamental para la sustitución tecnológica y por lo tanto un enfoque inicial del esfuerzo innovador.

Klepper<sup>101</sup> sugiere que el cambio en el enfoque innovador de producto hacia el de proceso es consecuencia de las variaciones en la capacidad de las empresas en busca de una rentabilidad satisfactoria de las inversiones en innovación. De acuerdo con esta perspectiva, el valor de la innovación en procesos es proporcional al nivel de crecimiento de una empresa determinada. Por lo tanto, cuando una industria madura y las empresas se hacen más grandes, estas últimas tienen cada vez más incentivos para perseguir las innovaciones de proceso. Por su parte Adner

---

<sup>100</sup> Ibid.

<sup>101</sup> KLEPPER, S. Entry, exit, growth and innovation over the product life cycle. *Citado por: ADNER y LEVINTHAL.* Op cit.

y Levinthal<sup>102</sup> aseguran que el énfasis inicial en las innovaciones de proceso es con el fin de reducir los costos del producto lo suficiente como para penetrar en los segmentos más grandes del mercado.

Sin embargo, hay empresas que hacen un pequeño ajuste mejorando las características del producto y equilibran finamente el costo del producto. Esta práctica se opone a las innovaciones de productos, como el diseño para la fabricación que tiene como resultado menores costos de producción y mayor funcionalidad del producto.

En gran parte de las ocasiones, el precio es la principal barrera de la penetración al mercado y, en consecuencia, el proceso de desarrollo es el objetivo principal permitiendo cumplir con los requerimientos del mercado y eventualmente, de acuerdo con Adner y Levinthal<sup>103</sup>, obtener compradores no usuales.

## **6.2. METODOLOGÍAS A SEGUIR EN LAS FASES DEL CICLO**

Utterback y Abernathy<sup>104</sup>, Abernathy<sup>105</sup> y Gort y Klepper<sup>106</sup> Definen un modelo de desarrollo de los productos introducidos en condiciones poco convencionales basados en la demanda y que por ende no siguen el ciclo de vida “tradicional”. Según explican, mientras que los modelos usuales del ciclo de vida del producto disminuyen la actividad de innovación en las etapas posteriores del ciclo, el modelo expuesto sugiere la posibilidad de un alto nivel de actividad innovadora en los

---

<sup>102</sup> Ibid.

<sup>103</sup> Ibid.

<sup>104</sup> UTTERBACK, J.; ABERNATHY, W. A dynamic model of process and product innovation. *Citado por:* ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>105</sup> ABERNATHY, W. The Productivity Dilemma. *Citado por:* ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>106</sup> GORT, M.; KLEPPER, S. Time paths in the diffusion of product innovations. *Citado por:* ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

productos maduros; todo esto basados en los hallazgos empíricos de Henderson<sup>107</sup>, Christensen<sup>108</sup> y Klepper<sup>109</sup>.

Por otro lado, las recientes preocupaciones ambientales requieren que temas como el desmontaje y el reciclaje deban ser considerados durante las etapas de diseño (como se mencionó anteriormente) y sumando el esfuerzo para reducir los costos del ciclo de vida total del producto a través de la innovación del diseño (parte esencial de la industria de fabricación actual), dan como resultado las primeras investigaciones centradas en el diseño para el medio ambiente, el diseño para el reciclaje, el diseño para el ciclo de vida, entre otros. El trabajo presentado por Kuo y otros<sup>110</sup> pretende mostrar los conceptos, aplicaciones y las perspectivas de DFX (Design For "X") en la fabricación. Uno de los ejemplos encontrados es cuando el producto diseñado es extremadamente difícil de fabricar y el costo de fabricación es innecesariamente alto, allí se utilizan la ingeniería de valor y la ingeniería de producción para ayudar al diseñador a reducir el costo del producto después de que un diseño se ha completado. En la Tabla 2 se puede identificar los costos presentes en cada una de las fases del ciclo de vida del producto.

Sin embargo, Corbett y otros<sup>111</sup> encontraron algunos problemas en el sistema de fabricación tradicional con relación a la ingeniería de valor y de producción al presentarse el intento de los ingenieros de optimizar el diseño para maximizar el beneficio de llevar a cabo las funciones previstas; la modificación del diseño se hace

---

<sup>107</sup> HENDERSON, R. Of life cycles real and imaginary: The unexpectedly long old age of optical lithography. *Citado por:* ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>108</sup> CHRISTENSEN, C.M. Exploring the limits of the technology S-cure. *Citado por:* ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>109</sup> KLEPPER, S. Entry, exit, growth and innovation over the product life cycle. *Citado por:* ADNER y LEVINTHAL. Op cit.

<sup>110</sup> KUO, TsaiChi; HUANG, Samuel H. y ZHANG, HongChao. Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. En: Computers & Industrial Engineering. Diciembre, 2001. Vol. 41, no. 3, p. 241-260

<sup>111</sup> CORBETT, J.; DOONER, M.; MELEKA, J.; y PYM, C. Design for manufacture – strategies, principles and techniques. *Citado por:* KUO, HUANG y ZHANG. Op cit.

más costosa (en etapas posteriores) y retrasa el lanzamiento del nuevo producto al mercado. Mientras que el enfoque DFM (*Design for Manufacture* – Diseño para la fabricación), según Kuo y otros<sup>112</sup> integra las consideraciones de fabricación en el proceso de diseño para superar estas deficiencias. En muchas otras investigaciones posteriores se ha reconocido la importancia de tener en cuenta todos los aspectos del ciclo de vida del producto antes de tomar decisiones de diseño importantes. Esto dará lugar a diseños más óptimos pues se considera todo el ciclo de vida del producto desde su concepción hasta su eliminación.

**Tabla 2.** Costos a lo largo del ciclo de vida de un producto.

Fase del Ciclo	Costos de la empresa	Costos del usuario	Costos de la sociedad
Necesidad	Identificación del mercado		
Diseño	Desarrollo		
Producción	Materiales, energía, instalaciones, sueldos y salarios		Residuos, polución, daños a la salud
Distribución	Transporte, almacenamiento, desperdicios	Transporte, almacenamiento	Residuos, polución, empaque/embalaje, daños a la salud
Uso	Garantía	Energía, materiales, mantenimiento	Residuos, polución, daños a la salud
Disposición		Pagos por recolección y eliminación	Manejo de residuos, eliminación de desechos, daños a la salud, polución
Reciclaje		Pagos por reciclaje	Residuos, polución, daños a la salud

*Fuente: Jonave, Alting, Armilotta, Eversheim, Feldmann, Seliger y Roth. A key in product life cycle: disassembly. Citado por: Kuo, Huang y Zhang: Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives.*

Kuo y otros<sup>113</sup> advierten que aunque la aplicación de DFX puede requerir esfuerzos adicionales de forma temprana en el proceso de diseño, la integración de los productos y procesos en el diseño a través de prácticas de negocios, filosofías y herramientas de gestión de la tecnología, dan como resultado un producto más

<sup>112</sup> KUO, HUANG y ZHANG. Op cit.

<sup>113</sup> KUO, HUANG y ZHANG. Op cit.

predictivo capaz de satisfacer mejor las necesidades de los clientes, una transición más rápida y más suave a la fabricación, y una vida total de menor costo.

Por otra parte, durante el proceso de diseño se desarrollan muchas opciones de ciclo de vida y por lo tanto se necesita determinar la mejor o la menos peor para el medio ambiente. En este punto, es importante realizar el cálculo de los impactos ambientales (los datos se obtienen del ciclo de vida del producto). La evaluación ambiental, de acuerdo con Gehin y otros<sup>114</sup>, se debe hacer con indicadores cualitativos relacionados con el medio ambiente teniendo en cuenta el ciclo de vida global del producto, y debe permitir la iteración de elementos. Por ende, es importante la aplicación del PLM “completo” o “cerrado” (diferente al concepto PLM tradicional), que de acuerdo con Ming y otros<sup>115</sup>, se centra en el ciclo de vida de un producto con un mayor énfasis en el seguimiento y gestión de la información a lo largo del ciclo entero, realizando una retroalimentación de los datos en cada fase del ciclo.

Adicionalmente, Ming y otros<sup>116</sup> exponen algunas alternativas que deben implementar las empresas con el fin de obtener éxito entorno a la economía global actual, como la personalización masiva; equipos de diseño dispersos geográficamente usando herramientas virtuales y colaborativas; sistemas para la gestión de datos, información y conocimiento entre empresas a través de espacios virtuales.

---

<sup>114</sup> GEHIN, ZWOLINSKI y BRISSAUD. Op cit.

<sup>115</sup> JUN, KIRITSIS y XIROUCHAKIS. Op cit.

<sup>116</sup> MING, YAN, LU y MA. Op cit.

## 7. ACTUALIDAD EN EL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

Con la creciente flexibilidad en los sistemas modernos de fabricación y la programación de tecnologías informáticas y de comunicaciones, las empresas con medios y bajos volúmenes de producción pueden, según Jiao y otros<sup>117</sup> al igual que Ming y otros<sup>118</sup>, obtener una ventaja sobre sus competidores mediante la aplicación de la personalización en masa. Sin embargo, el número y modelo de datos que se manejan (tanto en estructura como en detalle) es tal, que Ni y otros<sup>119</sup> encuentran que generalmente un PLM sólo aborda un producto y raramente tiene en cuenta (y es capaz de soportar) una familia de productos. Nishi y otros<sup>120</sup> concuerdan en la necesidad de integrar el sistema de programación y el sistema de planificación para la optimización global de la cadena de suministro.

Por otra parte, Tiwana y Ramesh<sup>121</sup> dan por sentado la creciente importancia que han tomado los trabajadores de las organizaciones, nombrando su conocimiento y productividad como “los activos más valiosos de la organización del siglo 21”. Esto se ha visto materializado en las diferentes empresas de talla mundial, al modificar la forma de llamarlos pasando de empleados a trabajadores y finalmente a colaboradores e inclusive socios.

Debido a la adopción generalizada del internet, la comercialización de los Productos de Información (*Information Products* - IPs) ha aumentado enormemente. De acuerdo con Tiwana y Ramesh<sup>122</sup>, la naturaleza intangible de los IPs causa grandes

---

<sup>117</sup> JIAO, MA y TSENG. Op cit.

<sup>118</sup> MING, YAN, LU y MA. Op cit.

<sup>119</sup> NI, LU y YARLAGADDA. Op cit.

<sup>120</sup> NISHI, Tatsushi; KONISHI, Masami y HASEBE, Shinji. An autonomous decentralized supply chain planning system for multi-stage production processes. *En*: Journal of Intelligent Manufacturing. Junio, 2005. Vol. 16, no. 3, p. 259-275

<sup>121</sup> TIWANA y RAMESH. Op cit.

<sup>122</sup> Ibid.

desafíos a nivel competitivo en el mercado, pues debido a sus inusuales propiedades presentan altos costos fijos y costos marginales muy bajos.

Adicionalmente, los modelos de estudio que integran la logística de transporte, planeación y programación de la producción se han dividido en 3 categorías según lo exponen Nishi y otros<sup>123</sup>:

- La planificación de la producción entre varias empresas, de acuerdo con Mckay y otros<sup>124</sup>;
- La planificación de múltiples sitios de producción de una empresa, según Bok y otros<sup>125</sup>; y
- La planificación de la producción y la distribución desde la adquisición de materias primas, pasando por los centros de distribución y llegando a los clientes finales, con forme Rupp y Ristic<sup>126</sup>.

Una reciente investigación relacionada con PLM revela que el pionero de la investigación académica en el ciclo de vida del producto es un grupo de modelado en la Universidad de Tokio<sup>127</sup>, quienes se centran en los temas de ingeniería de ciclo de vida del producto, diseño de ciclo de vida basado en la simulación, planificación del ciclo de vida, optimización del ciclo de vida, reutilización, diseño ecológico, calidad del servicio, entre otros. También se encuentra el centro de investigación de diseño en la Universidad de Stanford<sup>128</sup>; el centro de innovación

---

<sup>123</sup> NISHI, KONISHI y HASEBE. Op cit.

<sup>124</sup> MCKAY, A.; PENNINGTON, D. y Barnes, C. A Web-based tool and a heuristic method for cooperation of manufacturing supply chain decisions. *Citado por*: NISHI, KONISHI y HASEBE. Op cit.

<sup>125</sup> BOK, J.K.; GROSSMANN, I.E. y Park, S. Supply chain optimization in continuous flexible process. *Citado por*: NISHI, KONISHI y HASEBE. Op cit.

<sup>126</sup> RUPP, T.M.; y RISTIC, M. Fine planning for supply chains in semiconductor manufacture. *Citado por*: NISHI, KONISHI y HASEBE. Op cit.

<sup>127</sup> PRODUCT LIFE CYCLE MODELING GROUP, University of Tokyo. *Citado por*: MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>128</sup> CENTER FOR DESIGN RESEARCH, Stanford University. *Citado por*: MING, MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

para el desarrollo de productos en el MIT<sup>129</sup>; la planificación de procesos y sistema de fabricación basado en el diseño web, de la Universidad de California en Berkeley<sup>130</sup>, el laboratorio de sistemas de realización en el Georgia Institute of Technology<sup>131</sup>, el centro de diseño de ingeniería para el proceso de diseño y gestión del conocimiento de la Universidad de Cambridge, el centro de Manufactura Avanzada<sup>132</sup> con el diseño asistido por computador al igual que el LUMS<sup>133</sup> con Fundamentos de optimización, métodos de simulación, procesos estocásticos, minería de datos, manufactura, logística y cadena de suministro en Lancaster University.

Actualmente, las industrias tienden a poner en práctica el Eco-rediseño y reducir así los impactos ambientales de un producto ya existente, pero Van Der Vorst y Maxwell<sup>134</sup> encontraron que sólo una minoría de empresas ve la necesidad de sacar un nuevo producto basado en el funcionamiento requerida, llegando a concluir que la reducción del impacto ambiental de un producto aplicando el enfoque de eco-diseño no es suficiente para la sostenibilidad. Adicionalmente, la mayoría de los métodos de diseño ecológico se centran en el funcionamiento del producto: gran parte de ellos no están integrados en el desarrollo de los productos, y mucho menos con las estrategias de la empresa y las funciones estándar de los negocios.

---

<sup>129</sup> CENTER FOR INNOVATION FOR PRODUCT DEVELOPMENT, Massachusetts Institute of Technology, MIT. *Citado por:* MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>130</sup> CYBERCUT PROJECT, University of California at Berkeley. *Citado por:* MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>131</sup> SYSTEMS REALIZATION LABORATORY, Georgia Institute of Technology. *Citado por:* MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>132</sup> ADVANCED MANUFACTURING, Lancaster University. *Citado:* 11 de marzo de 2014. En línea en: [http://www.lancaster.ac.uk/sci-tech/business/themes/advanced\\_manufacturing.php](http://www.lancaster.ac.uk/sci-tech/business/themes/advanced_manufacturing.php)

<sup>133</sup> OPERATIONAL RESEARCH AND OPERATIONS MANAGEMENT, Lancaster University. *Citado en:* 11 de marzo de 2014. En línea en: [www.lancaster.ac.uk/lums/research/research-areas/operational-research-operations-management/](http://www.lancaster.ac.uk/lums/research/research-areas/operational-research-operations-management/).

<sup>134</sup> VAN DER VORST, Rita y MAXWELL, Dorothy. Developing sustainable products and services. En: Journal of Cleaner Production. Diciembre, 2003. Vol. 11, no. 8, p. 883-895

Así mismo, la química verde aboga por la disminución del impacto ambiental de los productos químicos teniendo en cuenta los aspectos de su ciclo de vida (desde la materia prima hasta el uso del producto y el destino). Esto demuestra, según Hatti-Kaul y otros<sup>135</sup> como se han ido desarrollando nuevos ejes de investigación y desarrollo especializado en los diferentes productos que llenan el mercado. En la Figura 4 se pueden ver las diferentes mejoras que se pueden realizar en las distintas etapas en el ciclo de vida desde una perspectiva de la química verde.

Hatti-Kaul y otros<sup>136</sup> sostienen que la elección de la materia prima a menudo resulta ser un parámetro importante que influye en el rendimiento del ciclo de vida, mientras que por medio de las fases del mantenimiento se busca llegar a la mejora continua del producto a lo largo de su ciclo de vida según Takata y otros<sup>137</sup>.

En el estudio de Jiao y otros<sup>138</sup> se presenta un enfoque para integrar las cuestiones del ciclo de vida del producto en cuanto a la forma proactiva para conectar las necesidades del cliente con las capacidades de un fabricante o proveedor de servicios durante el proceso de desarrollo de productos.

Gracias al PEID (*Product Embedded Information Device* – Dispositivo de información integrado al producto) el ciclo de vida del producto en su totalidad puede ser visible y controlable mediante el seguimiento y rastreo de las actividades entorno al ciclo de vida del producto. Con esta tecnología, la información regresa a

---

<sup>135</sup> HATTI-KAUL, Rajni; TÖRNVALI, Ulrika; GUSTAFSSON, Linda M. y BÖRJESSON, Pål. Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals – a cradle-to-grave perspective. En: TRENDS in Biotechnology. Marzo, 2007. Vol. 25, no. 3, p. 119-124

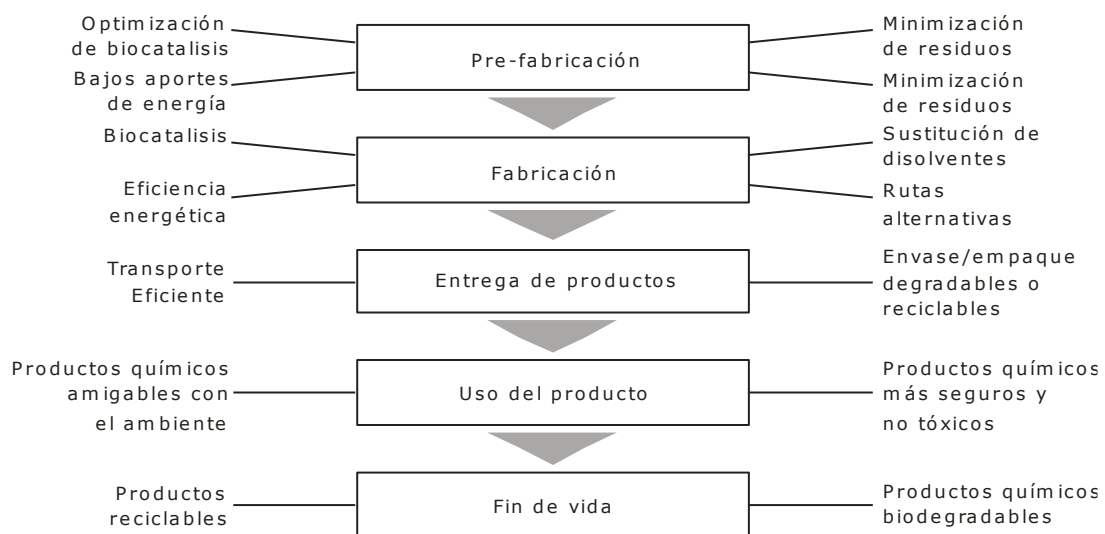
<sup>136</sup> Ibid.

<sup>137</sup> TAKATA, Shozo; KIMURA, Fumihiko; VAN HOUTEN, Fred; WESTKÄMPER, Engelbert; SHPITALNI, Moshe; CEGLAREK, Dariusz J. y LEE, Jay. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2004. Vol. 53, no. 2, p. 643-655

<sup>138</sup> JIAO, MA, y TSENG. Op cit.

los diseñadores e ingenieros de producción, y según Jun y otros<sup>139</sup>, esto permite que el flujo de información sea cerrado sobre ciclo de vida del producto entero.

**Figura 4.** La química verde y la biotecnología industrial aplicada al ciclo de vida.



*Fuente: Hatti-Kaul, Törnvall, Gustafsson y Börjesson. Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals – a cradle-to-grave perspective.*

Ni y otros<sup>140</sup> desarrollan un modelo que permite establecer la estructura del producto representada en las características comunes de una familia de productos y las características particulares del producto. Este modelo es capaz de mantener una frontera clara entre las estructuras de la familia de productos y estructuras variantes de cada producto, así como la consistencia de una estructura familiar y sus estructuras variantes. El modelo también es capaz de soportar la integración con otros procesos de negocio.

<sup>139</sup> JUN, KIRITSIS y XIROUCHAKIS. Op cit.

<sup>140</sup> NI, LU y YARLAGADDA. Op cit.

## 8. TENDENCIAS DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

Grossman<sup>141</sup> plantea como reto la caracterización de la dinámica de las cadenas de suministro y la aplicación de metodologías de control con el fin de mejorar la capacidad de respuesta a las necesidades del cliente, donde adicionalmente insiste en la idea de investigar el diseño de las cadenas de suministro con el fin de reestructurar la industria (química).

Los problemas ambientales crecen día tras día, lo que ha desencadenado una creciente preocupación por el calentamiento global y el medio ambiente en general, y la gestión del ciclo de vida del producto se convierte en un tema crucial en el logro de una sociedad sostenible. De forma que permita mantener los estándares de vida alcanzados actualmente en la sociedad, reduciendo al mínimo el consumo de materiales y energía e impactando lo menos posible al entorno.

Daughton<sup>142</sup> piensa en “*Cradle-to-cradle*” como la “próxima revolución industrial”. Uno de los principios de esta filosofía para la industria sostenible es que no beneficia sólo al medio ambiente sino también a los consumidores y a la sociedad. Mientras tanto, Van Der Vorst y Maxwell<sup>143</sup> creen que el diseño ecológico y el desarrollo de productos sostenibles ha sido la respuesta al cambio en la política ambiental; en otras palabras, sin el marco legal existente actualmente poco se hablaría con tanto ahínco del medio ambiente.

---

<sup>141</sup> GROSSMANN, Ignacio E. Challenges in the new millennium: product discovery and design, enterprise and supply chain optimization, global life cycle assessment. En: Computers and Chemical Engineering. Diciembre, 2004. Vol. 29, no. 1, p. 29-39

<sup>142</sup> DAUGHTON, Christian G. Cradle-to-Cradle Stewardship of Drugs for Minimizing Their Environmental Disposition While Promoting Human Health. En: Environmental Health Perspectives. Mayo, 2003. Vol. 111, no. 5, p. 757-774

<sup>143</sup> VAN DER VORST y MAXWELL. Op cit.

La gestión del ciclo de vida se está convirtiendo en un tema crucial para lograr la sostenibilidad. Bajo estos parámetros, Takata y otros<sup>144</sup> saben que el papel del mantenimiento debe ser redefinido como un medio esencial para la gestión del ciclo de vida. El mantenimiento es actualmente la forma más eficiente para mantener el nivel funcional de un producto por encima del nivel requerido desde el punto de vista de impacto ambiental. A diferencia de cómo se cree, las actividades de mantenimiento están estrechamente relacionadas con las etapas de diseño, producción, operación y final de la vida. Umeda y otros<sup>145</sup> agregan que para aumentar la capacidad de mantenimiento los productos deberían ser agrupados en módulos por ciclo de vida similar. Por su parte, Wang y otros<sup>146</sup> afirman que con una buena gestión de la cadena de suministro, los costos del producto se pueden reducir de manera significativa, manteniendo la calidad del producto y el servicio al cliente.

De igual forma, y aunque no sea su enfoque, el PSS (*Product-Service Systems* – Sistema Producto-Servicio) también contribuye a aminorar el impacto al medio ambiente. Este enfoque pretende reducir el volumen de productos manufacturados y aumentar los beneficios para la empresa a través de la prestación de servicios; ofreciendo, según Van Der Vorst y Maxwell<sup>147</sup>, un producto que incorpora elementos de servicio (arrendamiento de productos, actualización y mantenimiento para proporcionar la funcionalidad requerida con mayor eficacia, etc.).

Adicionalmente, es importante evaluar tanto el impacto social como el ambiental de cada etapa del producto y/o servicio; viendo las oportunidades de eliminación y/o minimización de dichos impactos, incorporando aspectos como economía, calidad,

---

<sup>144</sup> TAKATA, KIMURA, VAN HOUTEN, WESTKÄMPER, SHPITALNI, CEGLAREK y LEE. Op cit.

<sup>145</sup> UMEDA, Yasushi; FUKUSHIGE, Shinichi; TONOIKE, Keita y KONDOH, Shinsuke. Product modularity for life cycle design. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2008. Vol. 57, no. 1, p. 13-16

<sup>146</sup> WANG, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>147</sup> VAN DER VORST y MAXWELL. Op cit.

mercadeo, requerimientos del cliente, viabilidad técnica y cumplimiento guiados por los impactos ambientales y sociales.

Pero, la propuesta de un ciclo de vida del producto sostenible no sólo es atrayente ambientalmente hablando, Hu y Bidanda<sup>148</sup> han encontrado que cada vez hay más atención a la sostenibilidad debido (adicionalmente) a la competencia de costos, las limitaciones de recursos, y el corto ciclo de vida de productos de consumo.

Van Der Vorst y Maxwell<sup>149</sup> mencionan algunos beneficios que aporta la sostenibilidad a las empresas manufactureras, dentro de los que se destacan la reducción del volumen de las materias primas, la eliminación o reducción de uso de materias primas peligrosas, la reducción del uso de energía y la eliminación o reducción de generación de residuos.

Es importante destacar que el desarrollo de productos y/o servicios sustentables debe estar centrado en la cadena de suministro del producto y/o servicio y no simplemente en el entorno de una sola empresa, de esta forma se obtienen los máximos beneficios que ofrece esta técnica. (Ver Figura 5). A pesar de todos estos esfuerzos, hay que aceptar que como dicen Rebitzer y otros<sup>150</sup>: la gestión ambiental, en general, es una disciplina joven.

Por su parte, Chen y otros<sup>151</sup> plantean y presentan un nuevo mecanismo basado en el conocimiento del ciclo de vida del producto para integrar de manera efectiva el conocimiento de los productos distribuidos entre las diferentes empresas durante el ciclo de vida de un producto, de forma que facilite el intercambio del conocimiento

---

<sup>148</sup> HU y BIDANDA. Op cit.

<sup>149</sup> VAN DER VORST y MAXWELL. Op cit.

<sup>150</sup> REBITZER, EKVALL, FRISCHKNECHT, HUNKELER, NORRIS, RYDBERG, SCHMIDT y PENNINGTON. Op cit.

<sup>151</sup> CHEN, CHEN y CHU. Op cit.

del producto. Este tipo de estrategias de gestión del conocimiento de la cadena de suministro junto con su integración al ciclo de vida del producto, promueven la productividad y competitividad del producto en sí. Adicionalmente, Azapagic y Clift<sup>152</sup> expresan que las técnicas de optimización pueden satisfacer las exigencias tanto ambientales y como económicas para mejorar el rendimiento de los productos durante su ciclo de vida. Hu y Bidanda<sup>153</sup> encontraron que el proceso de decisión de Markov se está utilizando para modelar la toma secuencial de decisiones en toda la gestión del ciclo de vida del producto. Takata y otros<sup>154</sup> por su parte, hablan de la fabricación de circuito cerrado como "*la renovación de funciones mientras circula el material*". Allí se presenta el mantenimiento, la reutilización de productos, la reutilización de partes, el reciclaje y la recuperación de energía, todas importantes para la sostenibilidad tan anhelada.

**Figura 5.** Criterios para optimizar la sostenibilidad de los productos y servicios



*Fuente: Van Der Vorst y Maxwell. Developing sustainable products and services.*

<sup>152</sup> AZAPAGIC y CLIFT. Life cycle assessment and multiobjective optimisation. *Citado en:* MATOS, Stelvia y HALL, Jeremy K. Integrating sustainable development in the supply chain: The case of life cycle assessment in oil and gas and agricultural biotechnology. En: Journal of Operations Management. Noviembre, 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1083-1102

<sup>153</sup> HU y BIDANDA. Op cit.

<sup>154</sup> TAKATA, KIMURA, VAN HOUTEN, WESTKÄMPER, SHPITALNI, CEGLAREK, y LEE. Op cit.

Hu y Bidanda<sup>155</sup> encontraron que actualmente muchas investigaciones se han llevado a cabo para integrar la conciencia ambiental en el desarrollo y/o proceso del producto basado en el pensamiento de ciclo de vida con el diseño de la metodología para el medio ambiente (*Desing for Environment* – DFE). Mientras que los hallazgos de Wang y otros<sup>156</sup> van mucho más allá, pues las investigaciones se centran en el esfuerzo por la integración del diseño en la cadena de suministro eficaz, siempre impulsada por el producto, sus características y su ciclo de vida; factores claves para reducir los costos. Umeda y otros<sup>157</sup> también toman en cuenta el diseño como elemento crucial a la hora de minimizar las cargas ambientales y los costos durante todo el ciclo de vida de un producto.

Mientras tanto, Zhao y otros<sup>158</sup> hallaron una forma de obtener altos rendimientos a través de la creación de valor en el ciclo de vida del producto combinando la manufactura con los servicios. A este nuevo enfoque de fabricación se le conoce como SOM (*Service Oriented Manufacturing* – Manufactura Orientada a Servicios)

Adicionalmente, también se habla de la reutilización de diseño, donde según Iyer y otros<sup>159</sup> se obtienen beneficios como la reducción de la variabilidad, la eliminación de partes innecesarias, la eliminación de las actividades como las pruebas y la verificación y creación de prototipos y la normalización de especificaciones ingenieriles.

---

<sup>155</sup> HU y BIDANDA. Op cit.

<sup>156</sup> WANG, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>157</sup> UMEDA, Yasushi; FUKUSHIGE, Shinichi; TONOIKE, Keita y KONDOH, Shinsuke. Product modularity for life cycle design. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2008. Vol. 57, no. 1, p. 13-16

<sup>158</sup> ZHAO, WAN, JIANG y QIN. Op cit.

<sup>159</sup> IYER, Natraj; JAYANTI, Subramaniam; LOU, Kuiyang; KALYANARAMAN, Yagnanarayanan y RAMANI, Karthik. Shape-based searching for product lifecycle applications. En: Computer-Aided Design. Noviembre, 2005. Vol. 37, no. 13, p. 1435-1446

En fin de cuentas, las tendencias que están marcando la pauta en torno al Ciclo de Vida del Producto se centran en la disminución y potencial eliminación del consumo de recursos y energía, a la eliminación de los residuos sin tener en cuenta el impacto de estas actividades sobre el medio ambiente. Por lo tanto, se hace un llamado a cambiar el paradigma de la fabricación de "cómo producir productos de manera más eficiente" en "cómo evitar la producción de productos, manteniendo la satisfacción del cliente y las utilidades de las empresas."

## 9. ADMINISTRACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

La Administración del Ciclo de Vida del Producto, más conocida por sus siglas en inglés PLM, se presenta (de acuerdo con Sudarsan y otros<sup>160</sup>, Ming y otros<sup>161</sup>, Alemanni y otros<sup>162</sup>, Lee y otros<sup>163</sup>, Schuh y otros<sup>164</sup>, Terzi y otros<sup>165</sup>, Srinivasan<sup>166</sup>, Grives<sup>167</sup>, Lee y otros<sup>168</sup>, Sharma<sup>169</sup>) como un enfoque estratégico empresarial para la gestión y el uso eficaz del capital intelectual de la organización, definiéndose como la gestión integrada del ciclo de vida del producto, desde su nacimiento hasta su obsolescencia. PLM se basa en el control (creación, modificación e intercambio) de la información de los datos de los productos a lo largo de su ciclo de vida, concibiéndose como el derivado de la fabricación integrada por computador (*Computer Integrated Manufacture – CIM*) y la gestión de datos de ingeniería; una extensión del PDM y el vínculo faltante entre el CAD, la manufactura digital y la simulación. Este enfoque permite hacer los activos intelectuales (datos de los productos y los procesos) accesibles a lo largo de la cadena de valor, ayudando a las empresas a alcanzar sus objetivos de negocio (reducción de costos, mejora de la calidad y disminución de los tiempos de comercialización) mientras innovan sus productos, servicios y operaciones de negocio. PLM engloba herramientas de

---

<sup>160</sup> SUDARSAN, Rachuri; FENVES, Steven J.; SRIRAM, Ram Duvvuru y WANG, Fujun. A product information modeling framework for product lifecycle management. En: Computer-Aided Design. Noviembre, 2005. Vol. 37, no. 13, p. 1399-1411

<sup>161</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>162</sup> ALEMANNI, Marco; DESTEFANIS, F. y VEZZETTI, Enrico. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. En: International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Enero, 2011. Vol. 52, no. 1-4, p. 1-14

<sup>163</sup> LEE, SHEU y TSOU. Op cit.

<sup>164</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>165</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>166</sup> SRINIVASAN. Op cit.

<sup>167</sup> GRIEVES, M. Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. *Citado por*: TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>168</sup> LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>169</sup> SHARMA. Op cit.

diseño, sistema de almacenamiento de datos, mantenimiento del producto, reparación y retiro; adicionalmente permite la colaboración, y toma de decisiones fundamentadas, entre las partes interesadas durante el ciclo de vida del producto afectando todas las partes de una organización.

Dentro de los objetivos del PLM se encuentran:

- La perfecta integración de toda la información generada a lo largo de todas las fases del ciclo de vida de un producto para todos los miembros de una organización en todos los niveles de gestión y técnica, junto con proveedores y clientes clave, según Sudarsan y otros<sup>170</sup>
- El control de las condiciones de los productos a fin de proporcionar la funcionalidad requerida por los clientes o por la sociedad, mientras se mantiene la carga del medio ambiente a un mínimo y el mantenimiento de los beneficios empresariales apropiados, de acuerdo con Takata y otros<sup>171</sup>
- La integración de los distintos procesos y fases que intervienen en el ciclo de vida típico producto con las personas que participan en los procesos de desarrollo de productos, conforme Ming y otros<sup>172</sup>

En síntesis, PLM es un integrador de herramientas y tecnologías que agiliza el flujo de la información a través de las distintas etapas del ciclo de vida del producto, lo que permite proporcionar la información correcta, en el momento y contexto adecuados; manteniendo al producto como centro bajo la perspectiva del ciclo de vida. Sin embargo, el PLM no sólo agrupa los productos, de acuerdo con Stark<sup>173</sup>, también reúne servicios, actividades, procesos, personas, conocimientos, TIC's, datos, destrezas, técnicas, prácticas, procedimientos y normas. Saaksuori y

---

<sup>170</sup> SUDARSAN, FENVES, SRIRAM y WANG. Op cit.

<sup>171</sup> TAKATA, KIMURA, VAN HOUTEN, WESTKÄMPER, SHPITALNI, CEGLAREK y LEE. Op cit.

<sup>172</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>173</sup> STARK, J. Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realization. *Citado por:* TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

Immonen<sup>174</sup> hablan acerca de la perspectiva de PLM hacia las TIC's, mientras que Terzi y otros<sup>175</sup> ponen claro su importancia como enlace de comunicación.

En los últimos tiempos, el CAD, el PDM y el CAE (*Computer Asistent Engineer* – Ingeniería Asistida por Computador) han tenido un rápido desarrollo dando como resultado una gran cantidad de "módulos" de automatización. Iyer y otros<sup>176</sup> comentan como todos estos "paquetes" actualmente se están integrando a través de los sistemas de PLM, produciendo así un diseño completamente digital.

De acuerdo con Lee y otros<sup>177</sup>, PLM se basa en tres pilares fundamentales:

1. Un acceso universal, seguro y administrado a la información del producto.
2. Una integridad persistente en la definición del producto y la información relacionada a lo largo de la vida del producto.
3. La administración y mantenimiento de los procesos de negocio que crean, gestionan, difunden, comparten y utilizan la información del producto.

La competencia mundial es uno de los factores clave para que muchas organizaciones adopten el concepto PLM y lo implementen como un sistema. De acuerdo con Sudarsan y otros<sup>178</sup>, para que una empresa tenga éxito actualmente, el PLM no es una opción: es una necesidad ya que se compromete a proporcionar apoyo a todo el ciclo de vida del producto.

Thimm y otros<sup>179</sup> afirman que la Administración del Ciclo de Vida del Producto es un principio estratégico de negocios cuyo objetivo es mantener la información del

---

<sup>174</sup> SAAKSVUORI, A. y IMMONEN, A. *Product Lifecycle Management*. 2da Ed. Berlin-Heidelberg: Springer. *Citado por*: TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>175</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>176</sup> IYER, JAYANTI, LOU, KALYANARAMAN y RAMANI. Op cit.

<sup>177</sup> LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>178</sup> SUDARSAN, FENVES, SRIRAM y WANG. Op cit.

<sup>179</sup> THIMM, G.; LEE, S.G.; y MA, Y.-S. *Towards Unified Modelling of Product Life-cycles*. *Citado por*: NI, LU y YARLAGADDA. Op cit.

producto constante y compatible en todo el ciclo de vida del mismo, asociando los datos de las estructuras de productos creados en cada fase para satisfacer las necesidades de las etapas posteriores; así, según Schuh y otro<sup>180</sup>, se logra superar las barreras organizativas existentes y agilizar la cadena de creación de valor.

Con PLM el manejo de la información del ciclo de vida del producto se vuelve eficiente, lo que juega un papel importante en el análisis y toma de decisiones de acuerdo con Jun y otros<sup>181</sup>.

### **9.1. NECESIDAD DEL PLM**

La innovación en productos, en procesos y modelos de negocio que influyen en la creación de productos innovadores ha elevado el estatus de PLM convirtiéndolo, de acuerdo con Srinivasan<sup>182</sup>, en interés de nivel comercial para la empresa, enfatizado la integración de información y colaboración con los socios.

Schuh y otros<sup>183</sup> plantean al PLM como vital para satisfacer las necesidades actuales de la industria como los rápidos ciclos de innovación combinados con costos más bajos.

Adicionalmente, la falta de atención a los clientes en la recopilación de los requisitos, los problemas en términos de capacidad de diseño, el retraso debido a los diseños incompletos, los malentendidos en las expectativas de los clientes y los

---

<sup>180</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>181</sup> JUN, KIRITSIS y XIROUCHAKIS. Op cit.

<sup>182</sup> SRINIVASAN. Op cit.

<sup>183</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

re-procesos, entre otros, son temas que tienen solución al implementar el PLM según confirman Lee y otros<sup>184</sup>.

## 9.2. CARACTERÍSTICAS DE UN PLM

Alemanni y otros<sup>185</sup> creen que un PLM se caracteriza por su asociatividad con el CAD, de forma que permita administrar un conjunto de relaciones y proporcionar consistencia y coherencia en los datos. Sin embargo, la compleja red de relaciones existente entre ambos puede llegar a significar puntos de falla.

La gestión de la configuración del producto durante el ciclo de vida es considerada por Eigner y Stelzer<sup>186</sup> como parte integral de PLM. Adicionalmente, el seguimiento de los costos y su análisis asociado se presenta en cada fase del ciclo de vida según lo explican Xu y otros<sup>187</sup>. Por su parte Terzi y otros<sup>188</sup> junto con Lee y otros<sup>189</sup> dejan clara la importancia de la comunicación efectiva, el intercambio de los datos e información entre las diferentes fases y partes interesadas, permitiendo compartir ideas e información para el desarrollo de nuevos productos y la ejecución de procesos innovadores.

Terzi y otros<sup>190</sup> mencionan las características mínimas que generalmente componen un PLM:

---

<sup>184</sup> LEE, SHEU y TSOU. Op cit.

<sup>185</sup> ALEMANNI, DESTEFANIS y VEZZETTI. Op cit.

<sup>186</sup> EIGNER y STELZER. Produkt daten management-Systeme: ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. *Citado por:* SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>187</sup> XU, CHEN y XIE. Framework of a product lifecycle costing system. *Citado por:* SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>188</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>189</sup> LEE, SHEU y TSOU. Op cit.

<sup>190</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

- Un almacén de información donde los datos de productos se reúnen en forma estructurada.
- Un módulo de gestión de la información, responsable de la administración del sistema; la accesibilidad, seguridad e integridad de los datos; el uso conjunto de los datos; y el guardado y recuperación de los mismos. Que (según Ming y otros<sup>191</sup>) sea fácil, rápido e ilimitado geográficamente.
- Un módulo de gestión de flujo de trabajo, donde se definan los flujos de trabajo y se mantenga un historial de estos.
- Una interfaz de usuario, que apoya las actividades del usuario (consultas, informes, etc.)
- Una serie de interfaces de sistema para programas como CAD, CAE y ERP (que, de acuerdo al aporte de Ming y otros<sup>192</sup>, permitan la integración con otros sistemas empresariales).

Sin embargo, Ming y otros<sup>193</sup> mencionan la común y fallida coordinación actual entre equipos, sistemas, datos y complejos procesos de aprobación.

Finalmente, Lee y otros<sup>194</sup> mencionan 3 consideraciones principales a definir (antes de todo) en cualquier ciclo de vida del producto: la definición del producto, la definición de producción y el apoyo operativo.

### **9.3. BENEFICIOS OBTENIDOS A TRAVÉS DEL PLM**

Ming y otros<sup>195</sup> afirman que el PLM permite a las empresas manufactureras obtener ventajas competitivas mediante la creación de mejores productos en menos tiempo,

---

<sup>191</sup> MING, YAN, LU y MA. Op cit.

<sup>192</sup> Ibid.

<sup>193</sup> Ibid.

<sup>194</sup> LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

a menor costo y con menos defectos que nunca. Adicionalmente, Schuh y otros<sup>196</sup> hablan de la reducción del tiempo de lanzamiento al mercado, la mejora de la funcionalidad del producto y el aumento de la capacidad de personalización que aporta el PLM. Además, su fundamento en las tecnologías de la web reduce drásticamente los costos y mejoran la capacidad de colaboración entre las diferentes plataformas de acuerdo con Terzi y otros<sup>197</sup>.

De igual forma, Ming y otros<sup>198</sup> asocian la gestión de procesos en todo el ciclo de vida de productos a la colaboración efectiva entre los participantes de la cadena de valor del producto, esto último distingue al PLM de otros sistemas de aplicaciones empresariales (ERP, SCM - *Supply Chain Management*, CRM - *Customer Relationship Management*). De igual forma, permite a todos los actores que intervienen en el ciclo de vida del producto (gerentes, diseñadores y operadores de servicio de mantenimiento, empresas de reciclaje, etc.) realizar seguimiento, gestión y control de la información del producto en cualquier fase de su ciclo de vida (diseño, fabricación, MOL, EOL) en cualquier momento y en cualquier lugar, esto lo convierte en una herramienta que apoya la toma de decisiones como lo mencionan Terzi y otros<sup>199</sup> junto con Lee y otros<sup>200</sup>. Además de eso, permite la estructuración y mantenimiento de la lista de materiales (*Bill of Materials* – BOM) y administrar así las configuraciones y variantes de los productos según Terzi y otros<sup>201</sup>.

PLM no sólo proporciona servicio a lo largo del ciclo de vida de productos, sino que también permite la colaboración efectiva entre los participantes de la cadena de

---

<sup>195</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>196</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>197</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>198</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>199</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>200</sup> LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>201</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

valor del producto, según Ming y otros<sup>202</sup>, esto lo que diferencia de los sistemas tradicionales de aplicaciones empresariales.

PLM permite incluir a varios actores en la cadena de diseño proporcionando a diseñador, cliente, fabricante y proveedor la capacidad de trabajar en estrecha colaboración, que acuerdo con Ming y otros<sup>203</sup> permite potenciar el capital intelectual y facilitar la innovación colaborativa para el diseño de nuevos productos y eficaz y el desarrollo.

En la Tabla 3 se resumen los beneficios que aporta el PLM en algunos de los procesos de las organizaciones.

Finalmente, Sharma<sup>204</sup> advierte que la aplicación de una estrategia PLM con éxito requiere de la realineación y/o reestructuración de las estructuras organizativas internas y externas de las empresas.

**Tabla 3. Beneficios en cada proceso relacionado con PLM**

Proceso	Beneficios
Gestión de la idea	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor innovación a través de más y mejores productos<sup>205 206</sup></li> <li>- Mayor volumen de negocios con nuevos productos a través de una amplia cartera de innovación<sup>207 208</sup></li> <li>- Mejora continua de productos y procesos a través de incentivos a los empleados<sup>209</sup></li> <li>- Mayor enfoque en el cliente y un mejor acoplamiento de desarrollo entre productos y clientes a través de la integración de estos últimos en la gestión de ideas<sup>210 211 212</sup></li> </ul>

<sup>202</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>203</sup> Ibid.

<sup>204</sup> SHARMA. Op cit.

<sup>205</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Das sind die Kernfähigkeiten der Erfolgreichen, io new management.

<sup>206</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>207</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>208</sup> KILGERT y otros. Forschung und Entwicklung managen – Erfolgsfaktoren im Maschinen- und Anlagenbau.

<sup>209</sup> HÖFENER. Methode zur Bewertung des strategischen Nutzens von integriertem Produkt daten-Management (PDM).

<sup>210</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>211</sup> KILGERT y otros. Op cit.

<sup>212</sup> EVERSHEIM y otros. Profitable Growth Strategies for Machinery and Mechatronics Industry.

Proceso	Beneficios
Gestión de los requisitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción del número de iteraciones gracias a una mejor entrada<sup>213</sup></li> <li>- Reducción del número de variantes de productos que no sean necesarios mediante la evaluación sistemática<sup>214</sup></li> <li>- Mayor rapidez en la primera etapa gracias a la mejor integración de las disciplinas de mecatrónica (mecánica, electrónica, software)<sup>215</sup></li> <li>- Documentación de los cambios y sus impactos<sup>216</sup></li> <li>- Rápida documentación del producto a través de la reutilización de los documentos existentes permitiendo una mejor estructura<sup>217</sup></li> </ul>
Estructuración del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proceso más rápido de ingeniería sobre pedido (<i>Engineering-to-order</i>) mediante la reutilización eficiente de los componentes<sup>218</sup></li> <li>- Mayores márgenes por mejores oportunidades de precios<sup>219</sup></li> <li>- Menores esfuerzos en el desarrollo evitando re-desarrollo con soluciones ya existentes<sup>220 221</sup></li> <li>- Menores costos por piezas menos complejas en el programa de productos <sup>222</sup></li> <li>- Ofrecer productos y servicios en menor tiempo<sup>223 224 225</sup></li> </ul>
Planificación de programas de productos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejor enfoque de mercado a través del proceso de planificación sistemática y la alineación de productos y servicios<sup>226 227</sup></li> <li>- Variedad de productos optimizados por medio del proceso de planificación<sup>228</sup></li> <li>- Disminución de costos de desarrollo con partes a reutilizar<sup>229 230</sup></li> <li>- Identificar posibles sinergias potenciales dentro de la producción y la compra<sup>231 232</sup></li> </ul>

<sup>213</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>214</sup> SCHUH y otros. Komplexitätsmanagement Studie 2004 - Fortschritte, zukünftige Anforderungen, Handlungsbede

<sup>215</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>216</sup> Ibid.

<sup>217</sup> Ibid.

<sup>218</sup> SCHUH y otros. Op cit.

<sup>219</sup> HÖFENER. Methode zur Bewertung des strategischen Nutzens von integriertem Produktdaten-Management (PDM).

<sup>220</sup> Ibid.

<sup>221</sup> SCHUH y otros. Op cit.

<sup>222</sup> Ibid.

<sup>223</sup> DUTTA Y WOLOWICZ. An Introduction to Product Lifecycle Management (PLM). *Citado por:* LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>224</sup> CIMdata, Product lifecycle management "Empowering the future of business". *Citado por:* LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>225</sup> AMERI y DUTTA. Product Lifecycle Management Needs, Concepts and Components. *Citado por:* LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>226</sup> EVERSHEIM y otros. Profitable Growth Strategies for Machinery and Mechatronics Industry.

<sup>227</sup> SCHUH y otros. Op cit.

<sup>228</sup> Ibid.

<sup>229</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>230</sup> SCHUH y otros. Op cit.

<sup>231</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>232</sup> EVERSHEIM y otros. Op cit.

Proceso	Beneficios
Gestión del cambio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejorar el tiempo de ciclo de los cambios a través de una mejor información de disponibilidad<sup>233 234</sup></li> <li>- Más rápida reacción a los cambios de los clientes gracias a procesos sólidos<sup>235 236</sup></li> </ul>
Control de proyectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejorar el poder de decisión para los proyectos<sup>237 238</sup></li> <li>- Mejorar la productividad de los empleados en el desarrollo a través de una mejor asignación de recursos<sup>239 240</sup></li> <li>- Reducción en los esfuerzos de recopilar información gracias a la automatización<sup>241</sup></li> <li>- Aprovechar la tecnología de red centralizada<sup>242</sup></li> </ul>
Gestión del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación temprana de las desviaciones de los proyectos gracias a una mejor disponibilidad de la información<sup>243</sup></li> <li>- Mejores resultados en la planificación<sup>244 245</sup></li> </ul>
Control de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento en la satisfacción del cliente con un mejor producto y un servicio de calidad<sup>246 247</sup></li> <li>- Identificación temprana de los problemas de calidad<sup>248</sup></li> <li>- Mayores ventajas competitivas mediante la creación de mejores productos con menos defectos<sup>249</sup></li> </ul>
Mercadeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejora la tasa de éxito de los productos de reciente introducción <sup>250</sup></li> <li>- Establece una relación más completa y de colaboración con los clientes, proveedores y socios comerciales<sup>251</sup></li> </ul>
Administración	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejora la comunicación entre los departamentos <sup>252</sup></li> </ul>

*Fuente: Autor*

<sup>233</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>234</sup> HÖFENER. Op cit.

<sup>235</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>236</sup> HÖFENER. Op cit.

<sup>237</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>238</sup> KILGERT y otros. Forschung und Entwicklung managen – Erfolgsfaktoren im Maschinen- und Anlagenbau.

<sup>239</sup> SCHUH, DEGER y NONN. Op cit.

<sup>240</sup> HÖFENER. Op cit.

<sup>241</sup> Ibid.

<sup>242</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>243</sup> HÖFENER. Op cit.

<sup>244</sup> KILGERT y otros. Op cit.

<sup>245</sup> HÖFENER. Op cit.

<sup>246</sup> Ibid.

<sup>247</sup> EVERSHEIM y otros. Op cit.

<sup>248</sup> HÖFENER. Op cit.

<sup>249</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>250</sup> AMERI y DUTTA. Product Lifecycle Management Needs, Concepts and Components. *Citado por:* LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>251</sup> CIMdata. Product lifecycle management “Empowering the future of Business”. *Citado por:* LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

<sup>252</sup> AMERI y DUTTA. Op cit. *Citado por:* LEE, MA, THIMM y VERSTRAETEN. Op cit.

#### 9.4. SISTEMAS/SOFTWARE PARA ADMINISTRAR EL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

En la actualidad, el PLM se define a veces por una lista de software y, según Terzi y otros<sup>253</sup>, se interpreta como un sistema de sistemas. Por otro lado, los negocios deben aprovechar la tecnología de la información pues les permite cambiar radicalmente y alcanzan la agilidad que los CEOs (*Chief Executive Officer* – Director ejecutivo) demandan; Srinivasan<sup>254</sup> cree que esto les permite responder a las condiciones de cambiante negocio actual.

Adicionalmente, Srinivasan<sup>255</sup> afirma que la integración entre los sistemas de información empresarial y de ingeniería no debe ser demasiado profundo, sino en un nivel adecuado, de forma que permita el objetivo de la integración pero que no le impida a la empresa la adopción de nuevas tecnologías ni la aten a un proveedor específico de software.

Los software y las tecnologías asistidas por computador están proporcionando un conjunto más complejo de datos, permitiendo una mejor integración y automatización de las tareas, esto debido a que la información se hace accesible sin necesidad de reintroducir los datos manualmente. Lo anterior permite, de acuerdo con Alemanni y otros<sup>256</sup>, realizar simulaciones detalladas a partir de una única fuente de datos.

En la Figura 6 se pueden ver las diversas herramientas TIC que se emplean a lo largo del ciclo de vida del producto.

---

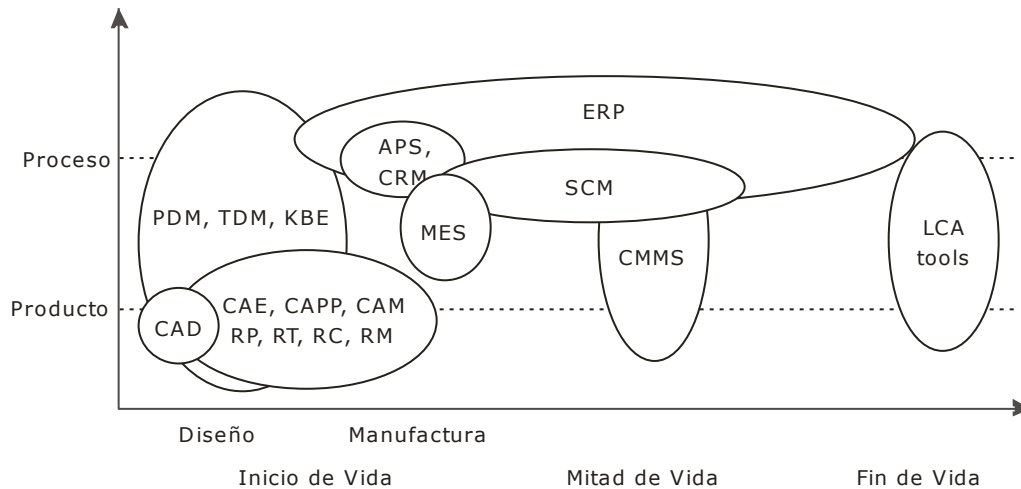
<sup>253</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>254</sup> SRINIVASAN. Op cit.

<sup>255</sup> Ibid.

<sup>256</sup> ALEMANNI, DESTEFANIS y VEZZETTI. Op cit.

**Figura 6.** Herramientas TIC en el ciclo de vida del producto



*Fuente: Terzi, Bouras, Dutta, Garetti y Kiritsis. Product lifecycle management – from its history to its new role.*

Autores como Ming y otros<sup>257</sup> y Terzi y otros<sup>258</sup> mencionan una gran variedad de software y aplicaciones PLM que han salido al mercado en los últimos tiempos.

Adicionalmente, la integración en procesos de manufactura debe hacerse según Ming y otros<sup>259</sup>, bajo un marco de planificación de procesos de fabricación integrada, donde se incluyen las actividades de planificación de procesos y la integración con otros sistemas de aplicación.

Pero el tema no es tan simple y sencillo, pues dada la necesidad de intercambiar los datos entre los diferentes actores a lo largo del ciclo, se han creado un sin número de normas para que regulen dicha operación que, de acuerdo como lo expresan Terzi y otros<sup>260</sup>, han resultado en algunos casos ser ineficientemente repetidas, creando una proliferación de normas lo que ha llegado a causar una gran confusión entre los usuarios.

<sup>257</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>258</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

<sup>259</sup> MING, YAN, WANG, LI, LU, PENG y MA. Op cit.

<sup>260</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

#### **9.4.1. Bases para el diseño de un sistema PLM.**

El papel de la estructura del producto dentro de la PLM es administrar todos los objetos relacionados con el producto y sus conexiones estructurales, lo que Schuh y otros<sup>261</sup> creen que proporciona la base necesaria para su implementación.

A través de los procesos de negocio, los datos del producto son generados paulatina y continuamente. Por tanto la descripción de los procesos de la empresa es la base para las estrategias del PLM y es considerado por Schuh y otros<sup>262</sup> como un paradigma adecuado para la propuesta de PLM. De esta forma, la identificación y el modelado de los procesos empresariales pueden ser usados como una herramienta eficaz para capturar y compartir conocimientos al interior de la organización.

En cuanto al desarrollo de un PLM, Van Der Vorst y Maxwell<sup>263</sup> afirman que este no debe ser demasiado intensivo en recursos en términos de tiempo, costo o personal (por obvias razones). Adicionalmente, las normas y prácticas deben ser definidas con el fin de crear un lenguaje común para la gestión y modelado de datos como lo reconocen Alemanni y otros<sup>264</sup>.

Por otra parte, una eficiente gestión de los requisitos exige (obviamente) la consideración de las necesidades de los interesados, que debe ser desde el inicio del desarrollo del PLM de acuerdo con Schuh y otros<sup>265</sup>. Sin embargo, para las empresas que diseñan los sistemas PLM, los requisitos del cliente no suelen ser

---

<sup>261</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>262</sup> Ibid.

<sup>263</sup> VAN DER VORST y MAXWELL. Op cit.

<sup>264</sup> ALEMANNI, DESTEFANIS y VEZZETTI. Op cit.

<sup>265</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

tratados de manera sistemática; y según lo afirman Lee y otros<sup>266</sup>, incluso si los requisitos del cliente se recogen antes de la fase de diseño, tienden a ser ignorados y finalmente desaparecen durante la fase de construcción. Acciones que contrastan con el la esencia conceptual del PLM vistas anteriormente.

#### **9.4.2. PLM genéricos**

Al igual que en todas las anteriores aplicaciones empresariales y que se hacen a un espacio en el portafolio de los sistemas de información, en el PLM se han elaborado tanto modelos generales, para implementar en todo tipo de industrias, como modelos únicos y específicos desarrollados por solicitud de las empresas. Schuh y otros<sup>267</sup> hablan acerca de esto, y afirman que los modelos generales incluyen las prácticas de negocio probadas y se pueden utilizar fácilmente como punto de partida para las iniciativas de innovación de procesos. Sin embargo, los modelos únicos no se pueden mostrar como una buena práctica para todas las empresas, obviamente por su particularidad en determinado negocio.

Adicionalmente, y de forma más específica, Schuh y otros<sup>268</sup> definen un catálogo de requerimientos para la correcta implementación de un software PLM. Este catálogo está conformado por cuatro (4) áreas (gestión de datos, generación de datos del producto, administración de procesos e integración de sistemas), que a su vez se subdividen en trece (13) grupos funcionales, donde la parte central corresponde a la función de gestión de los datos: he ahí la importancia de estos en el PLM, pues son el eje central.

---

<sup>266</sup> LEE, SHEU y TSOU. Op cit.

<sup>267</sup> SCHUH, ROZENFELD, ASSMUS y ZANCUL. Op cit.

<sup>268</sup> Ibid.

## 9.5. PLM DE CICLO COMPLETO

De acuerdo con Jun y otros<sup>269</sup>, la gestión de la información en PLM se expande más allá de los productos y abarca todo el capital intelectual, incluyendo productos, procesos y recursos. De ahí nace la idea de hablar del PLM de ciclo completo (*PLM closed-loop*), el cual se presenta como un enfoque de negocios estratégico para la gestión eficaz de las actividades del ciclo de vida, donde gracias al uso de los datos y la información del producto tomando como base teórica el concepto de PLM se puede, de acuerdo a IMS<sup>270</sup>, realizar la optimización del ciclo de vida del producto de forma dinámica con el apoyo de los PEIDs y la Gestión de datos y conocimientos del producto (*Product Data & Knowledge Management – PDKM*).

Por su parte, Jun y otros<sup>271</sup> ven en el PLM de ciclo completo la oportunidad para que las empresas puedan sobrevivir en un entorno altamente competitivo. Debido a la historia relativamente breve de PLM y las tecnologías PEID, la aplicación del concepto de ciclo completo de PLM está en sus inicios. Sin embargo, hasta donde se sabe, en la actualidad hay muchas empresas que están implementando el concepto de ciclo completo de PLM en algunas áreas con la mejora del diseño de fiabilidad, el mantenimiento predictivo y la optimización en la recuperación de producto y fin de vida (EOL), utilizando la información obtenida del ciclo de vida del producto.

Meyer y otros<sup>272</sup>, consideran que el PLM es importante para definir el nivel de inteligencia de los productos a partir de todo el ciclo de vida y no solamente en una

---

<sup>269</sup> JUN, KIRITSIS y XIROUCHAKIS. Op cit.

<sup>270</sup> INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS. CLPLM: Closed-Loop PLM for Sustainable Production & Consumption. Citado el: 22 de Febrero de 2014. En línea: <http://www.ims.org/2011/11/clplm-closed-loop-plm-for-sustainable-production-consumption/>

<sup>271</sup> JUN, KIRITSIS y XIROUCHAKIS. Op cit.

<sup>272</sup> MEYER, Gerben G.; FRÄMLING, Kary y HOLMSTRÖM, Jan. Intelligent Products: A survey. En: Computers in Industry. Abril, 2009. Vol. 60, no. 3, p. 137-148

etapa de este, y establecen que los productos inteligentes también pueden desempeñar un papel esencial en la gestión del ciclo de vida del producto por su capacidad de recoger información de uso y reaccionar en forma proactiva; por ejemplo, en la estimación de las necesidades para el mantenimiento o la reparación.

El ciclo de vida del producto ha complicado los flujos de información, según lo mencionan Jun y otros<sup>273</sup> afirmando que: para controlar y dirigir la información sobre el PML, en primer lugar, es necesario describir dichos flujos y esto puede ser una base para la integración de la información del ciclo de vida completo del producto. Así mismo, las tecnologías PEID (tales como las tecnologías de identificación de productos, tecnologías inalámbricas de sensores y tecnologías de telecomunicaciones móviles) permiten que el concepto de PLM cerrado sea aplicado de acuerdo a lo publicado por Jun y otros<sup>274</sup>.

En síntesis, el circuito cerrado del PLM proporciona oportunidades para reducir la ineficiencia y ganar competitividad.

## **9.6. NUEVAS CONTRIBUCIONES PARA EL PLM**

Dentro de los nuevos aportes al concepto de ciclo de vida del producto, se encuentran propuestas como la de Terzi y otros<sup>275</sup>, quienes exponen que los procesos de PDM pueden ser automatizados, desde las actividades más triviales hasta las más intelectuales y de valor agregado, implementado la Ingeniería basada en Conocimiento (*Knowledge Based Engineering* – KBE) derivada de las prácticas de la gestión del conocimiento (KM).

---

<sup>273</sup> JUN, KIRITSIS y XIROUCHAKIS. Op cit.

<sup>274</sup> Ibid.

<sup>275</sup> TERZI, BOURAS, DUTTA, GARETTI y KIRITSIS. Op cit.

Por su parte Lee y otros <sup>276</sup>, complementan esta idea al indicar que la implementación del QFD (*Quality Function Deployment* - Despliegue de la función calidad) basado en el modelo Fuzzy de Kano (desarrollado por Lee y otros<sup>277</sup> en donde se incorporan el Modelo Kano con la matriz QFD a través del modo Fuzzy, permitiendo ajustar los pesos de los requerimientos del cliente) puede contribuir a la creación de atractivos atributos en el PLM y a su innovación, lo que se logra de igual forma mediante el uso de nuevas tecnologías de desarrollo de sistemas, que se están empleando para desarrollar sistemas PLM que proporcionen mayor satisfacción a los clientes.

---

<sup>276</sup> LEE, SHEU y TSOU. Op cit.

<sup>277</sup> Ibid.

## 10. ANÁLISIS/EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

El Análisis del Ciclo de Vida del Producto (*Life Cycle Assessment* - LCA) de acuerdo a Burgess y Brennan<sup>278</sup>, es una metodología científica para el desarrollo de la evaluación del impacto ambiental de productos y procesos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, la cual está siendo adoptada cada vez más en el análisis del impacto ambiental. Hasta el momento, el LCA se ha aplicado principalmente a los productos; sin embargo, tal análisis incluye los procesos implicados en la fabricación de los materiales utilizados para el producto, estableciéndose entonces que si LCA es válido para un producto es claramente válido para los pasos del proceso que intervienen en su fabricación.

Tanto para la aplicación de LCA de productos o de procedimientos, es importante establecer el propósito y el público objetivo del estudio. La esencia de esta metodología debe primero ser la determinación de la mejor manera para proporcionar un servicio, seguido de los mejores productos para tal fin, y a continuación, los mejores procesos para la generación de los mismos. Se identifica, según Ortiz y otros<sup>279</sup>, que diversas herramientas de LCA se han desarrollado y puesto a disposición para su uso en la evaluación ambiental.

Para Rebitzer y otros<sup>280</sup>, el LCA es un método para ayudar a cuantificar y evaluar los posibles impactos ambientales de los bienes y servicios; mientras que de acuerdo a

---

<sup>278</sup> BURGESS, Andy A. y BRENNAN, David J. Application of life cycle assessment to chemical processes. En: Chemical Engineering Science. Mayo, 2001. Vol. 56, no. 8, p. 2589-2604

<sup>279</sup> ORTIZ, Oscar O.; CASTELLS, Francesc y SONNEMANN, Guido W. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. En: Construction and Building Materials. Enero, 2009. Vol. 23, no. 1, p. 28-39

<sup>280</sup> REBITZER, EKVALL, FRISCHKNECHT, HUNKELER, NORRIS, RYDBERG, SCHMIDT y PENNINGTON. Op cit.

Gnansounou y otros<sup>281</sup> se trata de una metodología reconocida internacionalmente para valorar el comportamiento medioambiental global de un producto y el proceso o camino a lo largo de su ciclo de vida parcial o total, teniendo en cuenta los impactos generados desde la "cuna hasta la tumba". Burgess y Brennan<sup>282</sup> relacionan igualmente el LCA como una técnica que puede ser útil para integrar las evaluaciones técnicas, económicas y del mercado en la evaluación de la tecnología de proceso, al considerar que ésta tiene el potencial de aplicación para procesar las plantas dentro de los sistemas de gestión ambiental. Finalmente, Finnveden y otros<sup>283</sup> identifican que el LCA permite incluir todos los impactos ambientales directos e indirectos asociados con el producto, proceso o actividad en la evaluación y que su alcance abarca la extracción y transformación de materias primas, la fabricación y los procesos de ensamblaje, la distribución de productos, el uso, la reutilización, el mantenimiento, el reciclaje y la disposición final.

Mientras que los enfoques típicos para la protección del medio ambiente seleccionan los procesos más eficientes y rentables antes de determinar formas de reducir el impacto ambiental, Burgess y Brennan<sup>284</sup> aclaran que las consideraciones ambientales son parte del proceso de toma de decisiones desde el principio, cuando se utiliza LCA. Además, el total de las cargas económicas y ambientales de un proceso se pueden cuantificar mediante la realización de una evaluación del ciclo de vida del producto, junto con un estudio de viabilidad técnico-económica como lo exponen Burgess y Brennan<sup>285</sup>.

---

<sup>281</sup> GNANSOUNOU, Edgard; DAURIAT, Arnaud; VILLEGAS, Juan David y PANICHELLI, Luis. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. En: Bioresource Technology. Noviembre, 2009. Vol. 100, no. 21, p. 4919-4930

<sup>282</sup> BURGESS y BRENNAN, Op cit.

<sup>283</sup> FINNVEDEN, Göran; HAUSCHILD, Michael Zwicky; EKVALL, Tomas; GUINÉE, Jeroen Bartholomeus; HEIJUNGS, Reinout; HELLWEG, Stefanie; KOEHLER, Annette y SUH, Sangwon. Recent developments in Life Cycle Assessment. En: Journal of Environmental Management. Octubre, 2009. Vol. 91, no. 1, p. 1-21

<sup>284</sup> BURGESS y BRENNAN, Op cit.

<sup>285</sup> Ibid.

Particularmente, Burgess y Brennan<sup>286</sup> mencionan que a menudo en la literatura se reconoce que un enfoque de ciclo de vida parece necesario como un paso hacia el desarrollo de prácticas sostenibles, para lo cual se considera la evaluación del ciclo de vida, identificada por Kuo y otros<sup>287</sup>, como una familia de métodos para la evaluación de materiales, servicios, productos, procesos y tecnologías en toda la vida de un producto, y cuya definición desarrollada por la Sociedad del Medio Ambiente de Toxicología y Química - SETAC<sup>288</sup> se presenta como "*un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto o actividad mediante la identificación y la cuantificación de la energía y los materiales usados y residuos que se libera al ambiente, para acceder a la repercusión de esos usos y liberaciones de energía y materiales para el medio ambiente*". Así mismo, Shonnard<sup>289</sup> resalta que los principales elementos de la evaluación ambiental incluyen el uso de energía primaria, el uso de materias primas, las emisiones a todos los medios, la toxicidad, el riesgo de seguridad y el uso de la tierra.

Para Kou y otros<sup>290</sup>, se establece entonces que, el LCA es la principal herramienta utilizada para el Diseño para el Ciclo de Vida (*Design for life cycle – DFCL*) y está basada en el análisis de los costos del PLM, fundamentados a su vez, en los costos de productos específicos que se producen en el marco del ciclo de vida. El costo del PLM se puede dividir en dos: el costo de desarrollo de productos y fabricación, y el costo de operación, mantenimiento y/o servicio. Adicionalmente, como lo señala

---

<sup>286</sup> Ibid.

<sup>287</sup> KUO, HUANG y ZHANG. Op cit.

<sup>288</sup> SETAC. A technical framework for life-cycle assessments. *Citado por:* KUO, HUANG y ZHANG. Op cit.

<sup>289</sup> SHONNARD, D.R. y otros. Industrial applications using BASF ecoefficiency analysis: perspectives on green engineering principles. *Citado por:* HATTI-KAUL, TÖRNVALI, GUSTAFSSON y BÖRJESSON. Op cit.

<sup>290</sup> KUO, HUANG y ZHANG. Op cit.

Huthwaite<sup>291</sup>, durante el desarrollo, la fabricación y el uso del producto, hay un costo incurrido en la sociedad que incluye los residuos, la contaminación y daños a la salud que también se deben considerar. En conclusión, Brown y Buranakarn<sup>292</sup> identifican la evaluación del ciclo de vida como una herramienta importante para evaluar el compromiso de los recursos, la energía y el capital humano con la degradación ambiental que resulta de opciones en cuanto a materiales y productos.

Por su parte Cherubini y otros<sup>293</sup>, determinan que el LCA es una metodología capaz de revelar las actuaciones medioambientales anteriormente expuestas y la energía, y los resultados pueden ser diversos incluso para los sistemas de bioenergía aparentemente similares. Estas diferencias se pueden asociar a varias razones, entre ellas, el tipo y la gestión de las materias primas, las tecnologías de conversión, las tecnologías de uso final, los límites del sistema y el sistema de energía de referencia con el que se compara la cadena de bioenergía.

Dentro del uso del LCA se encuentran varios estudios, señalan Cherubini y otros<sup>294</sup>, en los cuales se han examinado los efectos del ciclo de vida del producto en otros aspectos ambientales. Según Rebitzer y otros<sup>295</sup>, estos estudios se refieren al cambio climático, el agotamiento del ozono estratosférico, el ozono troposférico (smog), la eutrofización, la acidificación, el estrés toxicológico en humanos y los ecosistemas, el agotamiento de los recursos, el uso del agua, el uso del suelo, y el

---

<sup>291</sup> HUTHWAITE, B. Link between design and activity-based accounting. *Citado por:* KUO, HUANG y ZHANG. Op cit.

<sup>292</sup> BROWN, Mark T. y BURANAKARN, Vorasun. Energy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. En: Resources, Conservation and Recycling. Abril, 2003. Vol. 38, no. 1, p. 1-22

<sup>293</sup> CHERUBINI, Francesco; BIRD, Neil D.; COWIE, Annette L.; JUNGMEIER, Gerfried; SCHLAMADINGER, Bernhard y WOESS-GALLASCH, Susanne. Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. En: Resources, Conservation and Recycling. Junio, 2009. Vol. 53, no. 8, p. 434-447

<sup>294</sup> Ibid.

<sup>295</sup> REBITZER, EKVALL, FRISCHKNECHT, HUNKELER, NORRIS, RYDBERG, SCHMIDT y PENNINGTON. Op cit.

ruido, entre otros. Razón por la cual, para Brentrup y otros<sup>296</sup>, el LCA es una metodología para evaluar los impactos ambientales asociados con un producto o un proceso por la contabilidad y la evaluación de su consumo de recursos y las emisiones.

Actualmente, los análisis de los impactos ambientales son de particular interés debido a un aumento de la conciencia pública y la preocupación por los efectos ambientales, según lo expresan Brentrup y otros<sup>297</sup>. En un estudio LCA todo el sistema de producción debe ser considerado, es decir, por ejemplo para los sistemas de producción de cultivos el análisis incluye no sólo las actividades en el terreno, sino también todos los efectos relacionados con la producción de materias primas (minerales, combustibles fósiles) y de los insumos agrícolas como fertilizantes, productos fitosanitarios, maquinaria y semillas: el método LCA permite integrar los efectos ambientales que son relevantes, combinando los mejores procedimientos disponibles en la fase de evaluación de impacto. Por lo que se determina que el LCA se utiliza, de acuerdo a Hatti-Kaul,<sup>298</sup> para comparar y fijar un punto de referencia del rendimiento de un producto contra otros de la competencia, con procesos y productos alternativos, y para encontrar puntos críticos en el ciclo de vida que podrían requerir mejoras en el rendimiento.

A partir de la utilización del LCA se pueden responder preguntas sobre las consecuencias ambientales de un producto, desde la recolección de la materia prima hasta su eliminación final, recuperación o reciclaje. Según Matos y Hall<sup>299</sup>, la

---

<sup>296</sup> BRENTRUP, Frank; KÜSTERS, Jürgen; KUHLMANN, Hermann y LAMMEL, Joachim. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. En: European Journal of Agronomy. Febrero, 2004. Vol. 20, no. 3, p. 247-264

<sup>297</sup> Ibid.

<sup>298</sup> HATTI-KAUL, TÖRNVALI, GUSTAFSSON y BÖRJESSON. Op cit.

<sup>299</sup> MATOS, Stelvia y HALL, Jeremy K. Integrating sustainable development in the supply chain: The case of life cycle assessment in oil and gas and agricultural biotechnology. En: Journal of Operations Management. Noviembre, 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1083-1102

disciplina de la gestión ambiental se está convirtiendo en un papel de mandos intermedios o técnicos, mientras que las complejidades y ambigüedades del desarrollo sostenible son cada vez más el foco de atención y frustración de alto nivel de gestión operativa y estratégica, así como una rica área de investigación académica. Aunque el LCA es relativamente una nueva herramienta de análisis y los avances siguen apareciendo constantemente, según Rebitzer y otros<sup>300</sup>, hay un consenso general en las normas internacionales de la Organización Internacional de Normalización de la serie ISO 14000 sobre este tema. Bajo este compendio de normas se encuentra la ISO 14040<sup>301</sup> que, según Brentrup y otros<sup>302</sup>, divide el LCA en cuatro etapas: definición de objetivos y alcance; análisis del inventario del ciclo de vida (Life Cycle Inventory – LCI); evaluación del impacto del ciclo de vida (*Life Cycle Impact Assessment* – LCIA) e; interpretación.

Analizando específicamente las etapas del PLM se encuentra que tras la introducción de leyes que reglamentan la recogida y el reciclaje, se ha desafiado a los diseñadores, según Kaebnick y otros<sup>303</sup>, a considerar el desempeño ambiental de los productos junto con los objetivos tradicionales de diseño en las primeras etapas. Rebitzer y otros<sup>304</sup> destacan que al llevar a cabo un LCA, la fase de diseño/desarrollo se suele excluir, por suponerse con frecuencia que no contribuye de manera significativa, cuando realmente se debe tener en cuenta ya que las decisiones tomadas en esta etapa son altamente influyentes en los impactos ambientales y en las otras etapas del ciclo de vida: el diseño de un producto

---

<sup>300</sup> REBITZER, EKVALL, FRISCHKNECHT, HUNKELER, NORRISE, RYDBERG, SCHMIDT, SUH, WEIDEMA, y PENNINGTON. Life cycle assessment. Part 1. Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Citado por:* MATOS y HALL. Op cit.

<sup>301</sup> INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION - ISO. Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y Marco de referencia.

<sup>302</sup> BRENTRUP, KÜSTERS, KUHLMANN y LAMMEL. Op cit.

<sup>303</sup> KAEBERNICK, Hartmut; SUN, Mingbo y KARA, Sami. Simplified Lifecycle Assessment for the Early Design Stages of Industrial Products. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2003. Vol. 52, no. 1, p. 25-28

<sup>304</sup> REBITZER, EKVALL, FRISCHKNECHT, HUNKELER, NORRIS, RYDBERG, SCHMIDT y PENNINGTON. Op cit.

predetermina fuertemente su comportamiento en las fases posteriores. De forma que las metodologías LCA son herramientas muy útiles en las primeras etapas del diseño para la estimación de los impactos ambientales de las alternativas de productos y para la predicción de los costos o cargas ambientales para los fabricantes.

La aplicación del LCA apoya la identificación de oportunidades para la prevención de la contaminación y para reducir el consumo de recursos a través de análisis sistemáticos, optimizando aspectos como indicadores sociales, económicos y ambientales de sostenibilidad, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final de los materiales de construcción usados, como lo exponen Ortiz y otros<sup>305</sup>. Rebitzer y otros<sup>306</sup> aclaran que a menudo es necesario para los profesionales calcular e interpretar los posibles impactos ambientales. Esto se realiza por medio de LCIA: la herramienta adecuada para ayudar a determinar en qué medida un determinado producto o proceso puede estar asociado con un impacto en particular, según P&G<sup>307</sup>.

Sin embargo, para hacer el LCIA se requiere la compilación, tabulación y análisis preliminar de todos los intercambios ambientales (emisiones, consumo de recursos, etc) en todas las fases del ciclo de vida del producto incluyendo extracciones de materias primas, adquisición de energía, producción de materiales, manufactura, uso, reciclaje, disposición final, etc., llamado el Inventario del Ciclo de Vida (LCI).

---

<sup>305</sup> ORTIZ, CASTELLS y SONNEMANN. Op cit.

<sup>306</sup> REBITZER, EKVALL, FRISCHKNECHT, HUNKELER, NORRIS, RYDBERG, SCHMIDT y PENNINGTON. Op cit.

<sup>307</sup> PROCTER AND GAMBLE. Life Cycle Impact Assessment (LCIA). Citado el: 1 de mayo de 2014. En línea en: < <http://www.scienceinthebox.com/life-cycle-impact-assessment>>

Para Suh y Huppés<sup>308</sup>, el análisis del LCI se define como una fase del LCA (al igual que lo definido anteriormente por la ISO 14040) que implica la recopilación y cuantificación de las entradas y salidas para un sistema de determinado producto durante todo su PLM. A pesar que los diferentes métodos para realizar el LCI han estado disponibles, con frecuencia generan resultados significativamente diferentes, como también lo afirman Suh y Huppés<sup>309</sup>. Por otro lado, el método para la construcción de inventarios recomendado para los usuarios de LCA depende de las características específicas del caso en cuestión, sobre todo teniendo en cuenta las metas, el alcance, los recursos disponibles y el tiempo. Añadir complejidad al hibridar un sistema LCA puede llegar a ser bastante limitante; sin embargo, ésta parece ser una mejor opción para el futuro, aunque se debe contemplar que se agregan costos a algo que ya es costoso y que lleva mucho tiempo, como lo es el procedimiento del LCA completo.

Desde la perspectiva de la *United State Environmental Protection Agency*<sup>310</sup>, el LCA debe ser una metodología para evaluar la carga ambiental de los procesos y productos como bienes y servicios convirtiéndose, de acuerdo a Rebitzer y otros<sup>311</sup>, en un potente conjunto de herramientas para cuantificar, evaluar, comparar y mejorar esos bienes y servicios en términos de sus impactos ambientales potenciales.

---

<sup>308</sup> SUH, Sangwon y HUPPES, Gjalt. Methods for Life Cycle Inventory of a product. *En*: Journal of Cleaner Production. Junio, 2005. Vol. 13, no. 13, p. 687-697

<sup>309</sup> Ibid.

<sup>310</sup> UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Office of Research and Development, Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, EPA/600/R-92/245, US; 1993. WARBURG, N y otros. Environmental indicators for ICT products – a practical approach based on four steps. *Citados por*: ORTIZ, CASTELLS y SONNEMANN. Op cit.

<sup>311</sup> REBITZER, EKVAL, FRISCHKNECHT, HUNKELER, NORRIS, RYDBERG, SCHMIDT y PENNINGTON. Op cit.

## 11. CADENA DE SUMINISTRO

### 11.1. LA CADENA

De acuerdo con Simchi-Levi y otros<sup>312</sup> y con Beamon<sup>313</sup>, una cadena de suministro es un proceso integrado en una serie de negocios (englobando proveedores, fabricantes, distribuidores y minoristas) que trabajan juntos para convertir las materias primas en productos acabados específicos y entregar estos productos terminados a los minoristas o los clientes.

Linton y otros<sup>314</sup> determinan que durante las dos últimas décadas, el enfoque en la optimización de las operaciones ha cambiado de un establecimiento o una organización específica hacia la cadena de suministro.

De esta forma, Calantone y otros<sup>315</sup>; Fisher<sup>316</sup>; Reiner y Trcka<sup>317</sup>; Singhal y Singhal<sup>318</sup> le apuntan a un diseño de la cadena de suministro, en parte, en función

---

<sup>312</sup> SIMCHI-LEVI, KAMINSKY y SIMCHI-LEVI. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies *Citado por:* WANG, Juite y SHU, YunFeng. Fuzzy decision modeling for supply chain management. *En:* Fuzzy Sets and Systems. Febrero, 2005. Vol. 150, no. 1, p. 107-127

<sup>313</sup> BEAMON. Supply chain design and analysis: Models and methods. *Citado por:* WANG, Ge; HUANG, Samuel H. y DISMUKES, John P. Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology. *En:* International Journal of Production Economics. Septiembre, 2004. Vol. 91, no. 1, p. 1-15

<sup>314</sup> LINTON, Jonathan D.; KLASSEN, Robert D. y JAYARAMAN, Vaidyanathan. Sustainable supply chains: An introduction. *En:* Journal of Operations Management. Noviembre, 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1075-1082

<sup>315</sup> CALANTONE, DROGE y VICKERY. Investigating the manufacturing–market interface in new product development: Does context affect the strength of relationships? *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. *Op cit.*

<sup>316</sup> FISHER. *Op cit.*

<sup>317</sup> REINER y TRCKA. Customized supply chain design: Problems and alternatives for a production company in the food industry. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. *Op cit.*

de las características del producto y las expectativas del cliente final. Recientemente, investigadores como Childerhouse y otros<sup>319</sup>; Cooper y Ellram<sup>320</sup>; Mabert y Venkataramanan<sup>321</sup>; Narasimhan y Jayaram<sup>322</sup>; Pagh y Cooper<sup>323</sup>; Persson y Olhager<sup>324</sup>; Walker y otros<sup>325</sup> <sup>326</sup>, están estudiando los factores necesarios para diseñar y construir cadenas de suministro eficaces. Vonderembse y otros<sup>327</sup> se basan en las definiciones de los productos que ofrecen dichas investigaciones para conformar tres grandes grupos: productos estándares, innovadores e híbridos, dando como resultado tres tipos de cadenas de suministro: magra, ágil, e híbrida respectivamente. Esto permite, según Vonderembse y otros<sup>328</sup>, asegurar que el producto sea el alma de la Cadena de Suministro y por lo tanto, la adopción de un tipo de cadena de suministro en particular debe ajustarse a las necesidades del producto y sus clientes.

---

<sup>318</sup> SINGHAL y SINGHAL. Supply chains and compatibility among components in product design. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>319</sup> CHILDHOUSE, AITKEN y TOWILL. Analysis and design of focused demand chains. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>320</sup> COOPER y ELLRAM. Characteristics of supply chain management and the implications for purchasing and logistics strategy. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>321</sup> MABERT y VENKATARAMANAN. Special research focus on supply chain linkages: Challenges for design and management in the 21st century. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>322</sup> NARASIMHAN y JAYARAM. Causal linkages in supply chain management: An exploratory study of North American manufacturing firms. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit..

<sup>323</sup> PAGH y COOPER. Supply chain postponement and speculation strategies: How to choose the right strategy. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>324</sup> PERSSON y OLGAGER. Performance simulation of supply chain design.

<sup>325</sup> WALKER, JOHNSON y DAVIS. Vendormanaged inventory in the retail supply chain. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>326</sup> WALKER, DABHOLKAR y GENTRY. Postponement product customization and market-oriented supply chain management. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>327</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>328</sup> Ibid.

Ragatz y otros<sup>329</sup> estudian las cadenas de suministro magra y ágil, su integración con los proveedores y con el desarrollo de productos. De acuerdo con su investigación, las organizaciones están integrando a sus proveedores mediante la participación en el diseño de productos, lo que reduce el tiempo de desarrollo de los mismos.

Por su lado, Dowlatshahi<sup>330</sup> se centra en la participación temprana de la logística en el diseño del producto. Su trabajo explora las áreas donde la colaboración temprana y las interfaces entre la logística y las actividades de diseño podrían resultar en mejoras significativas para las empresas manufactureras.

De acuerdo con Fandel y Stammen<sup>331</sup>, durante muchos años las empresas gestionaban sus procesos logísticos en las compras, la producción y la distribución funcional y organizacional, independientes entre sí. Estos aspectos han sido desplazados en los últimos años debido al aumento de la competencia, a los avances en tecnología de la información y a la apertura de la globalización. De forma que se ha movido la competencia desde una orientación de empresa a una orientación de cadena de suministro, pues es la salida de toda la cadena por la que el cliente final opta pagar. Vonderembse y otros<sup>332</sup> agregan que el desarrollo, diseño, producción, comercialización y entrega del producto final es un esfuerzo en equipo que comienza con la extracción de las materias primas de la tierra, continúa a través del diseño, fabricación y montaje, y acaba en los mostradores del distribuidor. Pero este cambio de visión requiere ajustar los procesos de negocio al

---

<sup>329</sup> RAGATZ, HANDFIELD y SCANNELL. Research issue in supply chain design and management: A panel discussion Ibid. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>330</sup> DOWLATSHAHI. Research issues in supply chain design and management: A panel discussion. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>331</sup> FANDEL, Günter y STAMMEN, Markus. A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including development and recycling. *En:* International Journal of Production Economics. Junio, 2004. Vol. 89, no. 3, p. 293-308

<sup>332</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

interior de las empresas, hacia los clientes y hacia los proveedores, lo que permitiría según Fandel y Stammen<sup>333</sup> poner en marcha nuevas áreas de negocio.

Según Wang y Shu<sup>334</sup>, hay tres fuentes de incertidumbre que afectan a las cadenas de suministro: el desempeño de los proveedores (retrasos en las entregas); el proceso de fabricación (daño en la maquinaria, retrasos en el transporte), y la demanda de los clientes (volumen y mezcla).

En resumidas cuentas, Vonderembse y otros<sup>335</sup> mencionan reiteradamente la importancia de comprender las características del producto para el diseño de una cadena de suministro que cumpla con las expectativas del cliente. Mencionan que sus requisitos están en continua evolución y los ciclos de vida de los productos son cada vez más cortos, por lo tanto, además de ser ágiles, las cadenas de suministro deben responder al mercado. La interacción con los clientes permite a las organizaciones proporcionar mejoras en el servicio de post-venta y en los modelos, asegurando la adaptabilidad.

## **11.2. GESTIÓN DE LA CADENA**

De acuerdo con Prahinski y Kocabasaglu<sup>336</sup>, la Gestión de la Cadena de Suministro (Supply Chain Management - SCM) se puede definir como “un conjunto de enfoques utilizados para integrar eficientemente proveedores, fabricantes, almacenes y tiendas, por lo que la mercancía es producida y distribuida en las cantidades adecuadas, a los lugares adecuados y en el momento adecuado, con el

---

<sup>333</sup> FANDEL y STAMMEN. Op cit.

<sup>334</sup> WANG, Juite y SHU, YunFeng. Fuzzy decision modeling for supply chain management. En: Fuzzy Sets and Systems. Febrero, 2005. Vol. 150, no. 1, p. 107-127

<sup>335</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>336</sup> PRAHINSKI, Carol y KOCABASOGLU, Canan. Empirical research opportunities in reverse supply chains. En: Omega. Diciembre, 2006. Vol. 34, no. 6, p. 519-532

fin de reducir al mínimo los costos de todo el sistema, mientras que los requisitos de nivel de servicio satisfactorio”.

La SCM le ayuda a las empresas a competir con éxito, pues se centra en las acciones a lo largo de toda la cadena de valor según afirman Bechtel y Jayaram<sup>337</sup>; Childerhouse y otros<sup>338</sup>; Tan<sup>339</sup>; y Vonderembse<sup>340</sup>. De acuerdo con Ansari<sup>341</sup>; Childerhouse y Towill<sup>342</sup>; Choi y Hong<sup>343</sup>; Huang y otros<sup>344</sup>; Quinn<sup>345</sup>; Rich y Hines<sup>346</sup>; Thomas y Griffin<sup>347</sup>, SCM integra proveedores, fabricantes, distribuidores y clientes a través del uso de tecnología de la información para satisfacer las expectativas de los clientes con eficiencia y eficacia. Como resultado, los grupos de empresas pueden responder rápidamente y de manera unificada con productos de alta calidad, y la gran diferenciación demandada por los consumidores finales, tal y como aseguran Vonderembse y otros<sup>348</sup>.

---

<sup>337</sup> BECHTEL y JAYARAM. Supply chain management: A strategic perspective. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>338</sup> CHILDHOUSE, AITKEN y TOWILL. Analysis and design of focused demand chains. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>339</sup> TAN. A framework of supply chain management literature. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>340</sup> VONDEREMBSE. Building Supplier Relationships that Enhance Manufacturing Performance. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>341</sup> ANSARI y MODARRESS. Just-in-Time Purchasing. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>342</sup> CHILDHOUSE y TOWILL. Analysis of factors affecting real-world value stream performance. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>343</sup> CHOI y HONG. Unveiling the structure of supply network: Case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>344</sup> HUANG, LAU y MAK. The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: A review of the literature. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>345</sup> QUINN. Team up for supply chain success. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>346</sup> RICH y HINES. Supply chain management and time-based competition: The role of the supplier association. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>347</sup> THOMAS y GRIFFIN. Coordinated supply chain management. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>348</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

Sin embargo, Fandel y Stammen<sup>349</sup> afirman que estos procesos de negocios no se limitan simplemente al marco de la adquisición, producción, distribución y ventas, sino que adicionalmente se extiende a las funciones operativas de desarrollo y reciclaje, a lo que se denomina como la red de la cadena de suministro extendida. Sumándole las afirmaciones de Prahinski y Kocabasaglu<sup>350</sup>, las empresas cada vez deben hacer más frente a la devolución de productos, las normas ambientales obligatorias y el aumento de los costos asociados con la eliminación del producto. A través de la gestión efectiva de la SCM, los gerentes pueden mejorar la eficiencia de los procesos, el servicio al cliente, el diseño de la cadena de suministro, el diseño de productos, las ventas de productos en el mercado secundario y el servicio post-venta.

Sintetizando, la gestión de una cadena de suministro se hace cada vez más difícil debido al aumento las fuentes de incertidumbre, como se expuso anteriormente, y a las complejas interrelaciones entre las distintas entidades en la cadena. Wang y Shu<sup>351</sup> culpan a la creciente competencia en el mercado global de hoy, de la obligación que sienten las empresas por mejorar sus cadenas de suministro para reducir los costos de inventario y mejorar los niveles de servicio al cliente. Adicionalmente y citando a Vonderembse<sup>352</sup>, la reducción del Ciclo de Vida del Producto y el aumento de las expectativas de los clientes, también hacen difícil el manejo de la cadena de suministro, especialmente para los productos innovadores. A pesar que los productos innovadores permiten a la empresa lograr mayores márgenes de utilidad, la demanda de ellos es impredecible debido a la ausencia de datos históricos.

---

<sup>349</sup> FANDEL y STAMMEN. Op cit.

<sup>350</sup> PRAHINSKI y KOCABASAGLU. Op cit.

<sup>351</sup> WANG y SHU. Op cit.

<sup>352</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

Cabe mencionar que SCM no es una camisa de fuerza, pero se promociona como una elección estratégica de los competidores exitosos de acuerdo con Quinn<sup>353</sup>; Rich y Hines<sup>354</sup>. Adicionalmente, Vonderembse y otros<sup>355</sup> sostienen que la propiedad y/o el control de la cadena no tienen que ser directo o de una sola compañía, pero sí implica la inclusión de mecanismos que influyan en la toma de decisiones e impacten en todo el sistema.

Ganeshan y Harrison<sup>356</sup>, se refieren a temas básicos de SCM incluyendo la definición, aspectos estratégicos y operativos, y cuatro áreas de decisión clave: ubicación, producción, inventario, y distribución (transporte). De igual forma, Beamon<sup>357</sup> le apunta a los modelos determinísticos, estocásticos, económicos, y simulación, centrándose en las medidas de rendimiento de la cadena de suministro tanto cualitativas y como cuantitativas, incluyendo variables de decisión que afectan el modelo (producción, programación de la distribución, niveles de inventario, centros de distribución, relaciones con los compradores y proveedores, diferenciación de productos, etc.); así mismo, establece bases para futuras investigaciones que sirvan al diseño y análisis de las cadenas de suministro. Por otro lado, Nolan<sup>358</sup> concluye su investigación en cinco pasos que ayudan en la implementación efectiva de un sistema de SCM que las organizaciones deben adoptar estratégicamente para tener éxito.

---

<sup>353</sup> QUINN. Team up for supply chain success. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>354</sup> RICH y HINES. Supply chain management and timebased competition: The role of the supplier association. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>355</sup> VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>356</sup> GANESHAN y HARRISON. An introduction to supply chain management. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>357</sup> BEAMON, B.M. Supply chain design and analysis: Models and methods. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

<sup>358</sup> NOLAN. How to get the most from your SCM system, Bobbin. *Citado por:* VONDEREMBSE, UPPAL, HUANG y DISMUKES. Op cit.

La adición del componente *verde* (ecológico) a la gestión de la cadena de suministro, de acuerdo con Srivastava<sup>359</sup>, implica abordar la influencia y las relaciones entre la gestión de la cadena de suministro y la naturaleza (medio ambiente). Al igual que el concepto de gestión de la cadena de suministro, la meta de GrSCM (*Green Supply Chain Management* – Gestión de la Cadena de Suministro Verde) depende del objetivo del investigador.

Adicionalmente, Wilkerson<sup>360</sup> afirma que la GrSCM no es sólo acerca de ser “*amigable*” con el medio ambiente, sino se trata de un negocio bueno y ganancias más altas. De hecho, es un productor de valor comercial y no de un aumento de costos, como se cree popularmente.

Hoy por hoy, es evidente que la recuperación de los productos utilizados se ha convertido en un campo de creciente importancia. Acerca de esto, Linton y otros<sup>361</sup> encuentran una serie de documentos han sido publicados en consideraciones de diseño para las redes de recuperación de producto.

### **11.3. CADENA DE SUMINISTRO INVERSA**

Recientemente se habla mucho de la cadena de suministro inversa (*Reverse Supply Chain* – RSC); Prahinski y Kocabasog<sup>362</sup> la definen como la gestión eficaz y eficiente de las actividades necesarias para recuperar un producto de las manos del cliente y disponer de él; adicionalmente, en la Figura 7 se puede ver como develan los posibles participantes de una Cadena de Suministro Inversa.

---

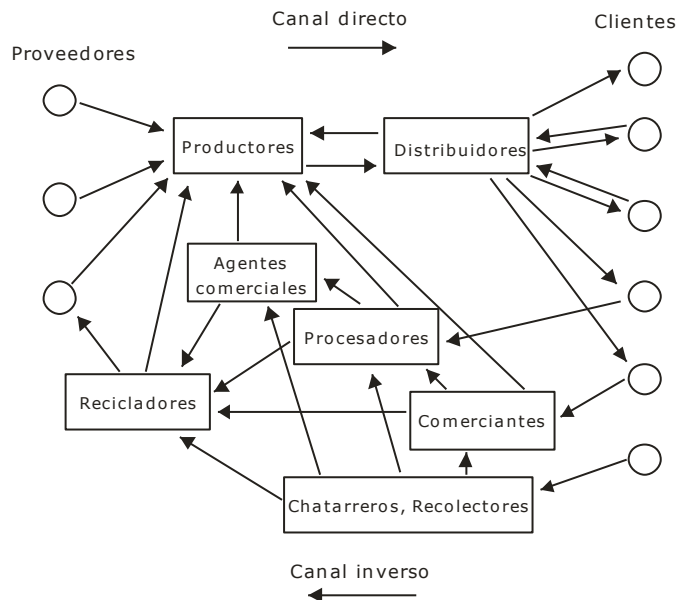
<sup>359</sup> SRIVASTAVA, Samir K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. En: International Journal of Management Reviews. Marzo, 2007. Vol. 9, no. 1, p. 53-80

<sup>360</sup> WILKERSON. Can One Green Deliver Another? *Citado por*: SRIVASTAVA. Op cit.

<sup>361</sup> LINTON, KLASSEN y JAYARAMAN. Op cit.

<sup>362</sup> PRAHINSKI y KOCABASAGLU. Op cit.

**Figura 7.** Posibles participantes en la cadena de suministro inversa.



*Fuente: Prahinski y Kocabasog. Empirical research opportunities in reverse supply chains.*

Guide Jr. y Van Wassenhove<sup>363</sup> enseñan los cinco pasos fundamentales y secuenciales de RSC: adquisición de productos, logística inversa, inspección y disposición, reacondicionamiento y distribución y ventas.

La necesidad de modelos integrales para la sostenibilidad se hace cada vez más evidentes. Para esto, Biehl y otros<sup>364</sup> plantean la idea del reciclaje de productos mediante el uso de una Cadena de Suministro Inversa.

<sup>363</sup> GUIDE JR y, VAN WASSENHOVE. The reverse supply chain. *Citado por:* PRAHINSKI y KOCABASAGLU. Op cit.

<sup>364</sup> BIEHL, PRATER y REALFF. Modeling and simulation of a reverse supply chain in an uncertain environment. *Citado por:* GROSSMANN, Ignacio E. Challenges in the new millennium: product discovery and design, enterprise and supply chain optimization, global life cycle assessment. En: Computers and Chemical Engineering. Diciembre, 2004. Vol. 29, no. 1, p. 29-39

Sin embargo, Linton y otros<sup>365</sup> expresan el aumento en el nivel de complejidad de la cadena de suministro al incluir temas como la reutilización, el reciclaje y el reacondicionamiento; al igual que un incremento en los costos, por lo menos en el corto plazo al tener en cuenta estas perspectivas.

#### **11.4. TRABAJOS REALIZADOS A PARTIR DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO**

Wang y Shu<sup>366</sup>, en su investigación, desarrollan un modelo basado en algoritmos genéticos para determinar el tamaño óptimo del pedido en todas las referencias (bajo el enfoque de revisión periódica) de forma que reduzcan al mínimo la inversión en inventario evaluando así, el rendimiento de toda la cadena de suministros. Toman como hipótesis el hecho que la aversión al riesgo en la toma de decisiones, permite aplicar la estrategia pesimista, reduciendo la pérdida de ventas de productos innovadores. Sin embargo, esto todavía necesita más investigación para validar este punto de vista.

La integración de procesos de negocio desde el pedido del primer cliente hasta la última entrega (toda la cadena de suministro) ha sido ampliamente discutida desde los puntos de vista de agilidad y eficiencia en la fabricación. Sin embargo, Nishi y otros<sup>367</sup> encontraron que recientemente al interior de la Cadena de Suministros hay mayor interés por el estudio de actividades que abarcan toda la gestión y el pronóstico de inventario, transporte, planificación de la producción, planeación y programación de la distribución, entre otros a lo largo de la cadena.

---

<sup>365</sup> LINTON, KLASSEN y JAYARAMAN. Op cit.

<sup>366</sup> WANG y SHU. Op. cit.

<sup>367</sup> NISHI, Tatsushi; KONISHI, Masami y HASEBE, Shinji. An autonomous decentralized supply chain planning system for multi-stage production processes. En: Journal of Intelligent Manufacturing. Junio, 2005. Vol. 16, no. 3, p. 259-275

## 12. CONCLUSIONES

Las empresas manufactureras del siglo 21 viven en entornos cambiantes y dinámicos, en el que las poblaciones de clientes son cada vez más heterogéneas y los ciclos de vida de los productos se están acortando constantemente; donde las tendencias en tecnología y los requisitos del cliente cambian rápidamente, lo que requiere el aumento de la flexibilidad y agilidad para reaccionar a las perturbaciones inesperadas, manteniendo la productividad y la calidad. Se pudo evidenciar, gracias a los investigadores, que los sistemas tradicionales de control de fabricación no reaccionan automáticamente a los cambios, y deben adaptarse caso por caso a las necesidades, optando por tomar medidas costosas que consumen tiempo, y que deben estar ajustando constantemente. De igual forma, existe una marcada tendencia a mejorar la planificación de productos y servicios con el correr de años.

Hasta hace muy poco, el apoyo informático para el desarrollo de productos tendía a cubrir una pequeña porción del ciclo de vida de un producto, por lo general la parte de la especificación de ingeniería del producto para su elaboración, pero el concepto PLM se compromete a proporcionar apoyo a todo el ciclo de vida del producto. Varios investigadores afirmaron que el PLM representa un poderoso enfoque para mejorar la estrategia de la compañía y alcanzar una excelente operación. Este debe definirse con base a los beneficios esperados y sus procesos relacionados, tomando la estrategia de la empresa como eje central y estar alineado con las condiciones del entorno.

La adopción de un enfoque PLM significa comprender el papel de la información en la cadena de suministro (también llamada empresa extendida) a lo largo de la cadena de creación de valor.

No obstante, hay autores como Ni y otros<sup>368</sup> junto con Schuh y otros<sup>369</sup> afirmando que los sistemas PLM son complejos (cada empresa tiene unas condiciones y restricciones específicas) y su aplicación costosa y requiere mucho tiempo para corregir los posibles fallos. Eso sin considerar que la mayoría de las organizaciones dependen de soluciones complementarias en TI (Tecnologías de la información) para apoyar las funciones de gestión de calidad, gestión ambiental e I+D, (Investigación y Desarrollo) puesto que Schuh y otros<sup>370</sup> creen que los software PLM actuales ejercen un bajo control. Aunque es gracias al Internet que se obtienen beneficios permitiendo la construcción colaborativa.

Las herramientas de tecnología de la información aumentan la capacidad de una empresa para gestionar múltiples proyectos de desarrollo de productos y para proporcionar información y orientación, de forma rápida y eficaz. Se encontró que el uso del computador tiene un efecto significativo sobre la calidad y provoca una mayor innovación de productos.

Por su parte, la ingeniería concurrente en general se muestra como un factor importante para la calidad. Los beneficios de su integración se ven reflejados con el aumento en el nivel de calidad.

En otra instancia, la integración de la ontología basada en el conocimiento del ciclo de vida del producto proporciona a los usuarios la posibilidad de compartir conocimientos sobre los productos y su ciclo de vida.

---

<sup>368</sup> NI, Qianfu; LU, WenFeng y YARLAGADDA, Prasad Ko. An Extensible Product Structure Model for Product Lifecycle Management in the Make-to-Order Environment. En: Concurrent Engineering: Research and Applications. 2008. Vol. 16, no. 4, p. 243-251

<sup>369</sup> SCHUH, Günther; ROZENFELD, Henrique; ASSMUS, Dirk y ZANCUL, Eduardo. Process oriented framework to support PLM implementation. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2-3, p. 210-218

<sup>370</sup> SCHUH, Günther; ROZENFELD, Henrique; ASSMUS, Dirk y ZANCUL, Eduardo. Process oriented framework to support PLM implementation. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2-3, p. 210-218

Se evidencian grandes avances en la implementación de la GrSCM, donde se reduce el impacto ecológico de la actividad industrial sin sacrificar calidad, costo, fiabilidad, rendimiento y eficiencia de utilización de la energía. Bajo esta misma perspectiva también se contabiliza el uso de la emergía que, según Brown y Buranakarn <sup>371</sup> , realizar algunas mediciones cuantitativas en aspectos de sostenibilidad.

Es importante destacar, que la inclusión de GrSCM requiere de un cambio de paradigma, pasando del control de final del proceso (para cumplir con las regulaciones ambientales) a no sólo reducir al mínimo los daños ecológicos, sino que también al aumento del resultado económico. Esto lanza varios retos para los profesionales, académicos e investigadores.

Adicionalmente, desde el punto de vista de la fabricación sostenible y bajo el criterio de Takata y otros<sup>372</sup>, se debe cambiar la imagen negativa del mantenimiento y redefinir su papel como método principal para la gestión del ciclo de vida cuyo objetivo es proporcionar a la sociedad las funciones requeridas a través de productos y reducir al mínimo el consumo de materiales y energía.

Mientras que la sostenibilidad constituye un marco general para la mayor parte de las investigaciones realizadas de las operaciones entorno al medio ambiente, Linton y otros<sup>373</sup> se atreven a asegurar que esta va más allá de la práctica común actual. Si

---

<sup>371</sup> BROWN, Mark T. y BURANAKARN, Vorasun. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. En: Resources, Conservation and Recycling. Abril, 2003. Vol. 38, no. 1, p. 1-22

<sup>372</sup> TAKATA, Shozo; KIMURA, Fumihiko; VAN HOUTEN, Fred; WESTKÄMPER, Engelbert; SHPITALNI, Moshe; CEGLAREK, Dariusz J. y LEE, Jay. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2004. Vol. 53, no. 2, p. 643-655

<sup>373</sup> LINTON, Jonathan D.; KLASSEN, Robert D. y JAYARAMAN, Vaidyanathan. Sustainable supply chains: An introduction. En: Journal of Operations Management. Noviembre, 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1075-1082

las cadenas de suministro se ampliarán explícitamente para incluir subproductos de sí, al considerar todo el ciclo de vida del producto, se podría optimizar el producto mismo no sólo desde el punto de vista del costo actual, sino también el punto de vista del costo total. Este último debe incluir los efectos del agotamiento de los recursos y la generación de subproductos que no son ni capturados ni utilizados como contaminantes y residuos.

Como se esperaba, muchos productos se están convirtiendo se están pasando a un diseño cada vez más modular, permitiendo la disminución del inventario de producto terminado y ofreciendo al cliente la posibilidad de jugar con las diferentes posibilidades. Por su parte, la arquitectura de producto proporciona un marco multidimensional que integra conocimientos sobre el desarrollo de nuevos productos, la gestión de las operaciones y la gestión de la cadena de suministro. Todo esto se usa para múltiples propósitos en la gestión y la investigación.

Con la aparición del PLM de circuito cerrado se nota el interés por aumentar el conocimiento y control en torno al producto. Pero, el PLM por sí solo no soluciona el problema de ineficiencia del ciclo. Para superar esta limitación, es necesario hacer un estudio a fondo sobre los problemas operativos. Esto le otorgará la capacidad de modelar y analizar todos los aspectos del ciclo de vida del producto con precisión y optimizar la toma de decisiones.

En definitiva, y como se ha establecido desde hace años, son los clientes lo más importante del asunto: clientes satisfechos son fieles clientes que aseguran un flujo de caja duradero. De acuerdo con Reichfeld y Sasser<sup>374</sup>, un aumento del 5% en la lealtad del cliente puede aumentar la ganancia de un negocio en un 100% debido al

---

<sup>374</sup> REICHFELD y SASSER. Zero defections: Quality comes to services. *Citado por*: LEE, Yu; SHEU, LiangChyau y TSOU, Yuan G. Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system. En: Computers and Industrial Engineering. Agosto, 2008. Vol. 55, no. 1, p. 48-63

hecho de que los clientes satisfechos compran los productos con más frecuencia y en mayores cantidades.

### 13. RECOMENDACIONES

De acuerdo la Ley Bibliométrica de Crecimiento Exponencial expuesta por Derek John de Solla Price en 1976, el crecimiento de la información científica ocurre a un ritmo muy superior al de otros procesos sociales, pudiendo duplicarse entre 10 y 15 años dependiendo del área del conocimiento. Paralelo a esta ley, se encuentra la Ley de Obsolescencia de la Literatura Científica que indica la pérdida de actualidad de las obras publicadas. Estas dos leyes son la base de la bibliometría, de donde se derivan una serie de indicadores para la selección de artículos. Sin embargo, la metodología usada para la selección de los artículos del presente proyecto, sólo tuvo en cuenta un de esos indicadores (Indicador de uso o número de citas), pasando por alto la Ley de Obsolescencia de forma rigurosa. Se sugiere, para próximas revisiones literarias, establecer un método más minucioso en donde se tenga en cuenta los demás indicadores bibliométricos bajo el marco de la Ley de Obsolescencia y se dé mayor relevancia a aquellas publicaciones más recientes.

Si bien es cierto que el presente y el futuro apuntan hacia la sostenibilidad y cuidado por el medio ambiente y lo social, se hace imprescindible no manejar las diferentes temáticas abordadas a lo largo de este proyecto de forma separada. Lo ideal es indagar acerca de estas siempre teniendo como eje central el PML. En ese sentido, es imperativo profundizar más en este enfoque desde una perspectiva regional (continuando con el curso original del proyecto base radicado en la Vicerrectoría de Investigación y Extensión para la creación de la nueva línea de investigación) y a partir de esto hallar aplicaciones, estrategias y metodologías que permitan a las empresas evolucionar y mantenerse a la par con el mercado, haciendo especial énfasis en las herramientas LCA y PML que ofrece la literatura científica o que puede generar en el grupo.

## BIBLIOGRAFÍA

ADNER, Ron y LEVINTHAL, Daniel A. Demand Heterogeneity and Technology Evolution: Implications for Product and Process Innovation. En: Management Science. Mayo, 2001. Vol. 47, no. 5, p. 611-628

ALEMANNI, Marco; DESTEFANIS, F. y VEZZETTI, Enrico. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. En: International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Enero, 2011. Vol. 52, no. 1-4, p. 1-14

AURICH, Jan C; FUCHS, Christian y WAGENKNECHT, Christian H. Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. En: Journal of Cleaner Production. 2006. Vol. 14, no. 17, p. 1480-1494

BRENTROP, Frank; KÜSTERS, Jürgen; KUHLMANN, Hermann y LAMMEL, Joachim. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. En: European Journal of Agronomy. Febrero, 2004. Vol. 20, no. 3, p. 247-264

BROWN, Mark T. y BURANAKARN, Vorasun. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. En: Resources, Conservation and Recycling. Abril, 2003. Vol. 38, no. 1, p. 1-22

BURGESS, Andy A. y BRENNAN, David J. Application of life cycle assessment to chemical processes. En: Chemical Engineering Science. Mayo, 2001. Vol. 56, no. 8, p. 2589-2604

CHEN, YuhJen; CHEN, YuhMin y CHU, HuiChuan. Development of a mechanism for ontology-based product lifecycle knowledge integration. En: Expert Systems with Applications. Marzo, 2009. Vol. 36, no. 2, p. 2759-2779

CHERUBINI, Francesco; BIRD, Neil D.; COWIE, Annette L.; JUNGMEIER, Gerfried; SCHLAMADINGER, Bernhard y WOESS-GALLASCH, Susanne. Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. En: Resources, Conservation and Recycling. Junio, 2009. Vol. 53, no. 8, p. 434-447

DAUGHTON, Christian G. Cradle-to-Cradle Stewardship of Drugs for Minimizing Their Environmental Disposition While Promoting Human Health. En: Environmental Health Perspectives. Mayo, 2003. Vol. 111, no. 5, p. 757-774

DAY, George S. The Product Life Cycle: Analysis and Applications Issues. En: Journal of Marketing. 1981. Vol. 45, no. 4, p. 60-67

FANDEL, Günter. y STAMMEN, Markus. A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including development and recycling. En: International Journal of Production Economics. Junio, 2004. Vol. 89, no. 3, p. 293-308

FINNVEDEN, Göran; HAUSCHILD, Michael Zwicky; EKVALL, Tomas; GUINÉE, Jeroen Bartholomeus; HEIJUNGS, Reinout; HELLWEG, Stefanie; KOEHLER, Annette y SUH, Sangwon. Recent developments in Life Cycle Assessment. En: Journal of Environmental Management. Octubre, 2009. Vol. 91, no. 1, p. 1-21

FIXSON, Sebastian K. Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions. En: Journal of Operations Management. Abril, 2005. Vol. 23, no. 3-4, p. 345-369

GEHIN, Alexis; ZWOLINSKI, Peggy y BRISSAUD, Daniel. Integrated design of product lifecycles—The fridge case study. En: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2009. Vol. 1, no. 4, p. 214-220

GNANSOUNOU, Edgard; DAURIAT, Arnaud; VILLEGAS, Juan David y PANICHELLI, Luis. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. En: Bioresource Technology. Noviembre, 2009. Vol. 100, no. 21, p. 4919-4930

GROSSMANN, Ignacio E. Challenges in the new millennium: product discovery and design, enterprise and supply chain optimization, global life cycle assessment. En: Computers and Chemical Engineering. Diciembre, 2004. Vol. 29, no. 1, p. 29-39

HATTI-KAUL, Rajni; TÖRNVALI, Ulrika; GUSTAFSSON, Linda M. y BÖRJESSON, Pål. Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals – a cradle-to-grave perspective. En: TRENDS in Biotechnology. Marzo, 2007. Vol. 25, no. 3, p. 119-124

HU, Guiping y BIDANDA, Bopaya. Modeling sustainable product lifecycle decision support systems. En: International Journal of Production Economics. Noviembre, 2009. Vol. 112, no. 1, p. 366-375

INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS. CLPLM: Closed-Loop PLM for Sustainable Production & Consumption. Citado el: 22 de Febrero de 2014. En línea: <<http://www.ims.org/2011/11/clplm-closed-loop-plm-for-sustainable-production-consumption/>>

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION - ISO. Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y Marco de referencia.

IYER, Natraj; JAYANTI, Subramaniam; LOU, Kuiyang; KALYANARAMAN, Yagnanarayanan y RAMANI, Karthik. Shape-based searching for product lifecycle applications. En: Computer-Aided Design. Noviembre, 2005. Vol. 37, no. 13, p. 1435-1446

JIAO, Jianxin; MA, QinHai y TSENG, Mitchell M. Towards high value-added products and services: mass customization and beyond. En: Technovation. Octubre, 2003. Vol. 23, no. 10, p. 809-821

JUN, HongBae; KIRITSIS, Dimitris y XIROUCHAKIS, Paul C. Research issues on closed-loop PLM. En: Computers in Industry. Diciembre, 2007. Vol. 58, no. 8-9, p. 855-868

KAEBERNICK, Hartmut; SUN, Mingbo y KARA, Sami. Simplified Lifecycle Assessment for the Early Design Stages of Industrial Products. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2003. Vol. 52, no. 1, p. 25-28

KOUFTEROS, Xenophon A.; VONDEREMBSE, Mark A. y DOLL, William J. Integrated product development practices and competitive capabilities: the effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy. En: Journal of Operations Management. Agosto, 2002. Vol. 20, no. 4, p. 331-355

KUO, TsaiChi; HUANG, Samuel H. y ZHANG, HongChao. Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. En: Computers & Industrial Engineering. Diciembre, 2001. Vol. 41, no. 3, p. 241-260

LEE, SiangGuan; MA, YongSheng; THIMM, Georg Lothar y VERSTRAETEN, J. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2-3, p. 296-303

LEE, Yu; SHEU, LiangChyau y TSOU, Yuan G. Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system. En: Computers and Industrial Engineering. Agosto, 2008. Vol. 55, no. 1, p. 48-63

LEITÃO, Paulo C. y RESTIVO, Francisco Jose. ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control. En: Computers in Industry. Febrero, 2006. Vol. 57, no. 2, p. 121-130

LEVITT, Theodore. Exploit the Product Life Cycle. En: Harvard Business Review. 1965.

LINTON, Jonathan D.; KLASSEN, Robert D. y JAYARAMAN, Vaidyanathan. Sustainable supply chains: An introduction. En: Journal of Operations Management. Noviembre, 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1075-1082

MATOS, Stelvia y HALL, Jeremy K. Integrating sustainable development in the supply chain: The case of life cycle assessment in oil and gas and agricultural biotechnology. En: Journal of Operations Management. Noviembre, 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1083-1102

MEYER, Gerben G.; FRÄMLING, Kary y HOLMSTRÖM, Jan. Intelligent Products: A survey. En: Computers in Industry. Abril, 2009. Vol. 60, no. 3, p. 137-148

MING, Xin Guo; YAN, Junqi; LU, Wen Feng y MA, Dengzhe. Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management - Status Review and Future Trend. En: Concurrent Engineering: Research and Applications. Diciembre, 2005. Vol. 13, no. 4, p. 311-319

MING, Xinguo; YAN, Jingqi; WANG, Xinghan; LI, Su; LU, WenFeng; PENG, Qingjin y MA, YongSheng. Collaborative process planning and manufacturing in product lifecycle management. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2- 3, p. 154-166

NI, Qianfu; LU, WenFeng y YARLAGADDA, Prasad Ko. An Extensible Product Structure Model for Product Lifecycle Management in the Make-to-Order Environment. En: Concurrent Engineering: Research and Applications. 2008. Vol. 16, no. 4, p. 243-251

NISHI, Tatsushi; KONISHI, Masami y HASEBE, Shinji. An autonomous decentralized supply chain planning system for multi-stage production processes. En: Journal of Intelligent Manufacturing. Junio, 2005. Vol. 16, no. 3, p. 259-275

OPERATIONAL RESEARCH AND OPERATIONS MANAGEMENT, Lancaster University. Citado el: 11 de marzo de 2014. En línea en: <[www.lancaster.ac.uk/lums/research/research-areas/operational-research-operations-management/](http://www.lancaster.ac.uk/lums/research/research-areas/operational-research-operations-management/)>

ORTIZ, Oscar O.; CASTELLS, Francesc y SONNEMANN, Guido W. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. En: Construction and Building Materials. Enero, 2009. Vol. 23, no. 1, p. 28-39

PRAHINSKI, Carol y KOCABASOGLU, Canan. Empirical research opportunities in reverse supply chains. En: Omega. Diciembre, 2006. Vol. 34, no. 6, p. 519-532

PROCTER AND GAMBLE. Life Cycle Impact Assessment (LCIA). En línea en: <<http://www.scienceinthebox.com/life-cycle-impact-assessment>> Citado el: 1 de mayo de 2014

REBITZER, Gerald; EKVALL, Tomas; FRISCHKNECHT, Rolf; HUNKELEER, David J.; NORRIS, Gregory A.; RYDBERG, Tomas; SCHMIDT, Wulf Peter y PENNINGTON, David W. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. En: Environment International. Julio, 2004. Vol. 30, no. 5, p. 701-720

RINK, David R. y SWAN, John E. Product life cycle research: A literature review. En: Journal of Business Research. 1979. Vol. 7, No. 3, Pag.219–242

SCHUH, Günther; ROZENFELD, Henrique; ASSMUS, Dirk y ZANCUL, Eduardo. Process oriented framework to support PLM implementation. En: Computers in Industry. Marzo, 2008. Vol. 59, no. 2-3, p. 210-218

SHARMA, Amit. Collaborative product innovation: integrating elements of CPI via PLM framework. En: Computer-Aided Design. Noviembre, 2005. Vol. 37, no. 13, p. 1425-1434

SHEN, Weiming; HAO, Qi; MAK, Helium; NEELAMKAVIL, Joseph D.; XIE, Helen; DICKINSON, John K.; THOMAS, Russell Cameron y XUE, Henry. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. En: Advanced Engineering Informatics. Abril, 2010. Vol. 24, no. 2, p. 196-207

SRINIVASAN, Vijay V. An integration framework for product lifecycle management. En: Computer-Aided Design. Mayo, 2011. Vol. 43, no. 5, p. 464-478

SRIVASTAVA, Samir K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. En: International Journal of Management Reviews. Marzo, 2007. Vol. 9, no. 1, p. 53-80

SUDARSAN, Rachuri; FENVES, Steven J.; SRIRAM, Ram Duvvuru y WANG, Fujun. A product information modeling framework for product lifecycle management. En: Computer-Aided Design. Noviembre, 2005. Vol. 37, no. 13, p. 1399-1411

SUH, Sangwon y HUPPES, Gjal. Methods for Life Cycle Inventory of a product. En: Journal of Cleaner Production. Junio, 2005. Vol. 13, no. 13, p. 687-697

TAKATA, Shozo; KIMURA, Fumihiko; VAN HOUTEN, Fred; WESTKÄMPER, Engelbert; SHPITALNI, Moshe; CEGLAREK, Dariusz J. y LEE, Jay. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2004. Vol. 53, no. 2, p. 643-655

TERWIESCH, Christian y E. BOHN, Roger. Learning and process improvement during production ramp-up. En: International Journal of Production Economics. Marzo, 2001. Vol. 70, no. 1, p. 1-19

TERZI, Sergio; BOURAS, Abdelaziz; DUTTA, Debashi; GARETTI, Marco y KIRITSIS, Dimitris. Product lifecycle management – from its history to its new role. En: International Journal of Product Lifecycle Management. Noviembre, 2010. Vol. 4, no. 4, p. 360-389

TIWANA, Amrit B. y RAMESH, Balasubramaniam. A design knowledge management system to support collaborative information product evolution. En: Decision Support Systems. Junio, 2001. Vol. 31, no. 2, p. 241-262

UMEDA, Yasushi; FUKUSHIGE, Shinichi; TONOIKE, Keita y KONDOH, Shinsuke. Product modularity for life cycle design. En: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2008. Vol. 57, no. 1, p. 13-16

VAN DER VORST, Rita y MAXWELL, Dorothy. Developing sustainable products and services. En: Journal of Cleaner Production. Diciembre, 2003. Vol. 11, no. 8, p. 883-895

VONDEREMBSE, Mark A; UPPAL, Mohit; HUANG, Samuel H. Y DISMUKES, John P. Designing supply chains: Towards theory development. En: International Journal of Production Economics. Abril, 2006. Vol. 100, no. 2, p. 223-238

WANG, Ge; HUANG, Samuel H. y DISMUKES, John P. Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology. En: International Journal of Production Economics. Septiembre, 2004. Vol. 91, no. 1, p. 1-15

WANG, Juite y SHU, YunFeng. Fuzzy decision modeling for supply chain management. En: Fuzzy Sets and Systems. Febrero, 2005. Vol. 150, no. 1, p. 107-127

ZHAO, Liping; WAN, Jun; JIANG, Pingyu y QIN, Yongtao. Service Design for Product Lifecycle in Service Oriented Manufacturing. En: Lecture Notes in Computer Science, Lecture Notes in Artificial Intelligence. 2008. Vol. 5315, no. 2, p. 733-742

## **ANEXO A**

# **APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO DESDE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL**

---

## **AN APPROACH TO THE STATE-OF-THE-ART REVIEW OF THE PRODUCT LIFECYCLE FROM ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE**

**TATIANA ANDREA CASTILLO JAIMES**

Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

tatiana.a.castillo@gmail.com

**CARLOS EDUARDO DÍAS BOHÓRQUEZ**

Maestría en Ingeniería Industrial

Universidad de los Andes

cediazbo@uis.edu.co

**OLGA LUCIA MANTILLA CELIS**

Maestría en Ciencias con Especialidad en Sistemas de Manufactura

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

olgaluciamantilla@gmail.com

### **RESUMEN**

Una revisión literaria permite alcanzar un conocimiento crítico y reflexivo, orientando investigaciones actuales y futuras y así trascender reflexivamente en el conocimiento acumulado para poder retransmitirlo. La presente revisión es del Ciclo de Vida del Producto (PL) desde una perspectiva ambiental; nace a raíz de la brecha de tiempo sin actualizar el conocimiento, resultando importante indagar el adelanto que se ha tenido en los últimos años, generando preguntas a más investigadores para el desarrollo de futuras pesquisas y la incubación y desarrollo de aplicaciones en el ámbito de las TIC's bajo el marco de la sostenibilidad ambiental; siendo esta última de creciente preocupación global.

**PALABRAS CLAVES:** Producto, Ciclo de Vida del Producto, Sostenibilidad ambiental, Análisis de Ciclo de Vida del Producto.

### **ABSTRAT**

A literature review allows to achieve a critical and reflective knowledge, guiding current and future research and thus to transcend accumulated knowledge for to can broadcast it. This review is about Product Lifecycle (PL) from an environmental perspective; born as a result of the time gap without updating knowledge, resulting

investigate the important progress that has been taken in recent years, generating questions to more researchers for the development of future research and incubation and development of applications in the field of ICT under the framework of environmental sustainability; latter being of growing global concern.

**KEY WORDS:** Product, Product Lifecycle, Environmental sustainability, Life cycle assessment.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy día el conocimiento avanza a pasos agigantados y en todos los campos de la ciencia, todo es debido a los constantes cambios del entorno y de la vida misma; por lo tanto, se hace imprescindible que las organizaciones que pretendan ser competitivas se alimenten constantemente de estos nuevos conocimientos, que innoven, ya sea adquiriendo nueva tecnología, rediseñando procesos o introduciendo nuevos productos al mercado y que de forma paralela cumplan con la creciente y marcada preocupación por el entorno. Actualmente, las empresas con el propósito de ser competitivas globalmente y acrecentar sus ventas en el mercado ejecutan un sinnúmero de estrategias a partir de diferentes herramientas y metodologías que surgen a la par de sus necesidades; sin embargo, este afán por ser productivas y ser las mejores, económicamente hablando, ha tenido grandes repercusiones en el medio ambiente y en la sociedad. Algunas corrientes de investigadores, se han percatado de esta situación y se han dado a la tarea de crear mecanismos que permitan a las organizaciones seguir creciendo sin afectar el medio.

## 2. JUSTIFICACIONES

En las últimas décadas, los cambios significativos en el entorno de fabricación que conjuntamente implican grandes desafíos para las empresas han sido grosso modo: un aumento de la subcontratación; inventarios sujetos a depreciación acelerada causada por las necesidades de cumplimiento (Leitão y Restivo, 2006; Ming, et al, 2005-2008; Vonderembse, et al, 2006; Chen, et al, 2009; Fixson, 2005; Terzi, et al, 2010; Jiao, et al, 2003); pasar de una economía local hacia una

economía global (más proveedores, más competidores, más regulaciones gubernamentales, según Ming, et al, 2008), con mercados que exigen productos de mayor calidad a un menor precio, altamente personalizados, complejos y dispersos geográficamente y con un ciclo de vida corto. Según Tiwana y Ramesh (2001), estos productos acompañados de industrias con un ritmo de mejoramiento acelerado, hacen que el ciclo de vida del proceso también se acorte.

La globalización y la competencia generada por esta exige a las industrias acelerar el desarrollo de productos; aumentar y mejorar la capacidad de producción, la manufactura, la capacidad de suministro y distribución, y; (en especial) aumentar los ingresos a partir de la eficiencia del ciclo de vida (Ming, et al, 2005).

Las empresas de hoy en día se enfrentan a retos provenientes de la innovación continua, la globalización y la gestión de riesgos complejos (Lee, et al, 2008). Todo esto sumado al corto ciclo de vida de los productos obliga a las empresas a competir simultáneamente en producto, proceso y cadena de suministro (Fixson, 2005). En pocas palabras, debido a la complejidad de las industrias, la integración de los sistemas se ha convertido en un pre-requisito para lograr una colaboración eficiente y eficaz (Shen, et al, 2010). Todos estos cambios aumentan la atención puesta en la cadena de suministro (Wang, et al, 2004).

Para ofrecer a los clientes un producto hecho a la medida, más rápido y más barato los fabricantes han cambiado su modo de producción a la personalización en masa (Ni, et al, 2008) aprovechando la producción en serie para lotes de tamaño pequeño. De esta forma, un producto

inicialmente consiste en una base común al que se le adhieren módulos funcionales formando una plataforma de personalización (McCarthy, et al, 2003).

Los procesos en todo el ciclo de vida del producto son de naturaleza compleja (McCarthy, et al, 2003). Como consecuencia, cuando el ciclo de vida del proceso se hace más corto, se crea el reto de desarrollar sistemas de control de fabricación con capacidades de inteligencia, adaptación rápida a los cambios del entorno y mayor robustez frente a la aparición de incertidumbres (Leitão y Restivo, 2006).

Por otro lado, la percepción de los productos sostenibles ha cambiado en los últimos años: pasando de un enfoque “de la cuna a la tumba” a uno “de la cuna a la cuna” (Gehin, et al, 2009).

El enfoque “de la cuna a la cuna” (también conocido como *Cradle-to-cradle*) proclama una nueva forma de interpretar el ecologismo. Con él se pretende dar solución de raíz a los problemas del impacto ambiental debidos al actual estilo de vida, es decir, en lugar de reducir los consumos de energía se deben tener en cuenta todas las fases de los productos involucrados desde el diseño y concepción mismo (ya sea de un producto, una estrategia o política) de manera que ni siquiera sean necesarios los gastos de energía, llegando incluso a hacer una aporte al medio. “De la cuna a la cuna” tiene como premisa el concepto que los residuos no existen, sino que son productos para otros sistemas que tienen que ser conducidos para no perderse ni ser desechados.

Adicionalmente, los patrones actuales de producción masiva de bienes baratos y el consumo excesivo de productos con una vida útil corta no se pueden mantener indefinidamente (Terzi, et al, 2010): la sostenibilidad es una responsabilidad social pero lograrla es un reto, ya que la optimización de los recursos y el mantenimiento de la calidad de los procesos y productos están fuertemente relacionados con la creación y utilización del producto mismo.

Por su parte, el análisis del ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales del producto y las herramientas de diseño para el medio ambiente normalmente se utilizan demasiado tarde (Gehin, et al, 2009), durante la fase de diseño detallado, sólo cuando un gran conjunto de datos está disponible, y cuando las modificaciones sobre el producto son difíciles de realizar sin pérdida importante de tiempo y dinero.

### 3. PRODUCTO

Altos niveles de complejidad en los productos generalmente desatan inconvenientes que resultan perjudiciales para el rápido desarrollo de los mismos, pues la complejidad implica interacciones más tormentosas en los procesos lo que aumenta el número de iteraciones (Fixson, 2005). En la actualidad el desarrollo de un producto ocurre tan frecuentemente: ampliando la oferta de nuevos productos pero contrayendo enormemente los ciclos de vida de los mismos (Koufteros, et al, 2002).

Los servicios técnicos (como el mantenimiento) pueden influir grandemente en los resultados económicos y ecológicos de los productos, (Aurich, et al, 2006) lo que proporciona nuevos y mejores beneficios al usuario.

### 4. CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

Conscientes de la complejidad que denota el desarrollo del producto y lo difícil de describir su ciclo en conjunto, se ha hecho importante dividirlo y describirlo en etapas (Fixson, 2005). Sin embargo, teniendo en cuenta la marcada globalización, estas etapas empiezan a tener en cuenta toda la cadena de suministro, hablando de ciclo de vida del producto a lo largo de la cadena.

Boothroyd y Alting (1992) definen seis (6) fases en el ciclo de vida del producto, mientras que Vonderembse, et al (2006), Prahinski y Kocabasoglu (2006) y Wiersema (1982) establecen cuatro (4) etapas agregando que cada etapa esta determinada por el número de unidades de venta del

producto. Por otro lado, Chen, et al (2009) van más allá del fin de vida útil del producto e incluyen etapas como servicio post-venta y reciclaje, llegando a tener un ciclo de siete (7) fases. Muy similar es lo que describen Rebitzer, et al (2004), quienes consideran que cada producto tiene una "vida", añadiendo la etapa de *extracción de recursos* a su modelo del ciclo.

En síntesis, no hay que descartar las fases clásicas del ciclo de vida del producto (definidas por Levit en 1965), ya que estas se han ido adaptando y han dado lugar a la definición de nuevas fases teniendo en cuenta los impactos ambientales (Gehin, et al, 2009).

La estrategia de fin de vida del producto puede llegar a concebirse como una mezcla de reutilización, re-fabricación y reciclaje (Gehin, et al, 2009), donde lo importante es que todas hayan sido contempladas desde la fase de diseño.

La gestión de la sostenibilidad del producto es de gran importancia y valor actual, pues no es sólo una función del diseño, sino también de la gestión de productos (Linton, et al, 2007). La disposición del producto al final de su vida útil se basa en gran parte sobre las medidas adoptadas en las etapas anteriores, otorgándole al diseño inicial gran influencia en el grado en que un producto puede ser reutilizado, re-fabricado, reciclado, o eliminado. Sin embargo, actualmente existe toda una variedad de técnicas que se utilizan para extender la vida de los productos evitando el agotamiento de los recursos a través de la producción de nuevos productos (Linton y Jayaraman, 2005).

Recientemente, la Unión Europea (UE) se ha convertido en un autor muy influyente en el tema de sostenibilidad. El Parlamento Europeo considera que este concepto es tan importante para el futuro de la UE que la legislación actual y futura debe integrar la sostenibilidad en las órdenes de ejecución.

Como consecuencia, las recientes preocupaciones ambientales requieren que temas como el desmontaje y el reciclaje deban ser considerados

durante las etapas de diseño (como se mencionó anteriormente); esto sumado al esfuerzo de reducir los costos del ciclo de vida total del producto a través de la innovación del diseño (parte esencial de la industria de fabricación actual), dan como resultado las primeras investigaciones centradas en el diseño para el medio ambiente, el diseño para el reciclaje, el diseño para el ciclo de vida, entre otros. El trabajo presentado por Kuo, et al (2001) pretende mostrar los conceptos, aplicaciones, y las perspectivas de DFX (Design For "X") en la fabricación.

Por otra parte, durante el proceso de diseño se desarrollan muchas opciones de ciclo de vida y por lo tanto se necesita determinar la mejor o la menos peor para el medio ambiente. En este punto, es importante realizar el cálculo de los impactos ambientales que este generaría. La evaluación ambiental se debe hacer con indicadores cualitativos relacionados con el medio ambiente teniendo en cuenta el ciclo de vida global del producto y su iteración (Gehin, et al, 2009). Por ende, es importante la aplicación de la Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM – Product Lifecycle Management) "completo" o "cerrado" (diferente al concepto PLM tradicional), pues se centra en el ciclo de vida de un producto con un mayor énfasis en el seguimiento y gestión de la información a lo largo del ciclo entero, realizando una realimentación de los datos en cada fase del ciclo (Jun, et al, 2007).

## 5. ACTUALIDAD

Hoy día, las industrias tienden a poner en práctica el Eco-rediseño y disminuir así los impactos ambientales de un producto ya existente, pero sólo una minoría de empresas ve la necesidad de sacar un nuevo producto basado en la funcionabilidad requerida (Van Der Vorst y Maxwell, 2003), concluyendo que la reducción del impacto ambiental de un producto aplicando el enfoque de eco-diseño no es suficiente para la sostenibilidad. Adicionalmente, la mayoría de los métodos de diseño ecológico se centran en el funcionamiento del producto: gran parte de ellos no están integrados en el desarrollo de los productos, y mucho menos

con las estrategias de la empresa y las funciones estándar de los negocios.

Por su parte, la química verde aboga por la disminución del impacto ambiental de los productos químicos teniendo en cuenta los aspectos de su ciclo de vida (Hatti-Kaul, et al, 2007), desde la materia prima hasta el uso del producto y el destino. Esto demuestra, como se han ido desarrollando nuevos ejes de investigación y desarrollo especializado en los diferentes productos que llenan el mercado.

La elección de la materia prima a menudo resulta ser un parámetro importante que influye en el rendimiento del ciclo de vida (Hatti-Kaul, et al, 2007), mientras que por medio de las fases del mantenimiento se busca llegar a la mejora continua del producto a lo largo de su ciclo de vida (Takata, et al, 2004), tratando de aplazar su fin de vida e impactar menos el ambiente.

## **6. TENDENCIAS DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO**

Los problemas ambientales crecen día tras día, lo que ha desencadenado una creciente preocupación por el calentamiento global y el medio ambiente en general. El PLM se convierte en un tema crucial en el logro de una sociedad sostenible, de forma que permita mantener los estándares de vida alcanzados actualmente en la sociedad, reduciendo al mínimo el consumo de materiales y energía e impactando lo menos posible al entorno.

“*Cradle-to-cradle*” es proclamada como la “próxima revolución industrial” (Daughton, 2003). Uno de los principios de esta filosofía para la industria sostenible es que no beneficia sólo al medio ambiente sino también a los consumidores y a la sociedad. Por su parte, el diseño ecológico y el desarrollo de productos sostenibles ha sido la respuesta al cambio en la política ambiental (Van Der Vorst y Maxwell, 2003), en otras palabras sin el marco legal existente actualmente poco se hablaría con tanto ahínco del medio ambiente.

Adicionalmente, el papel del mantenimiento debe ser redefinido como un medio esencial para la gestión del ciclo de vida, ya que es la forma más eficiente para mantener el nivel funcional de un producto por encima del nivel requerido desde el punto de vista de impacto ambiental (Takata, et al, 2004); a diferencia de cómo se cree, las actividades de mantenimiento están estrechamente relacionadas con las etapas de diseño, producción, operación y al final de la vida. Para aumentar la capacidad de mantenimiento los productos deben ser agrupados en módulos por ciclo de vida similar (Umeda et al, 2008). Además, con una buena gestión de la cadena de suministro, los costos del producto se pueden reducir de manera significativa, manteniendo la calidad del producto y el servicio al cliente (Wang, et al, 2004).

De igual forma, y aunque no sea su enfoque, el PSS (*Product-Service Systems* – Sistema Producto-Servicio) también contribuye a aminorar el impacto al medio ambiente. Este enfoque pretende reducir el volumen de productos manufacturados y aumentar los beneficios para la empresa a través de la prestación de servicios (Van Der Vorst y Maxwell, 2003) ofreciendo un producto que incorpora elementos de servicio.

También es importante evaluar tanto el impacto social como el ambiental de cada etapa del producto y/o servicio; viendo las oportunidades de eliminación y/o minimización de dichos impactos, incorporando aspectos como economía, calidad, mercadeo, requerimientos del cliente, viabilidad técnica y cumplimiento guiados por los impactos ambientales y sociales.

Pero, la propuesta de un ciclo de vida del producto sostenible no sólo es atrayente ambientalmente hablando; cada vez hay más atención a la sostenibilidad debido (adicionalmente) a la competencia de costos, las limitaciones de recursos y el corto ciclo de vida de productos de consumo (Hu y Bidanda, 2009).

Algunos beneficios que aporta la sostenibilidad a las empresas manufactureras son la reducción del volumen de las materias primas, la eliminación o

reducción de uso de materias primas peligrosas, la reducción del uso de energía y la eliminación o reducción de generación de residuos (Van Der Vorst y Maxwell, 2003).

Manteniendo el mismo marco global, es importante que el desarrollo de productos y/o servicios sustentables deba estar centrado en la cadena de suministro del producto y/o servicio y no simplemente en el entorno de una sola empresa, de esta forma se obtienen los máximos beneficios que ofrece esta técnica (Ver Figura 5).

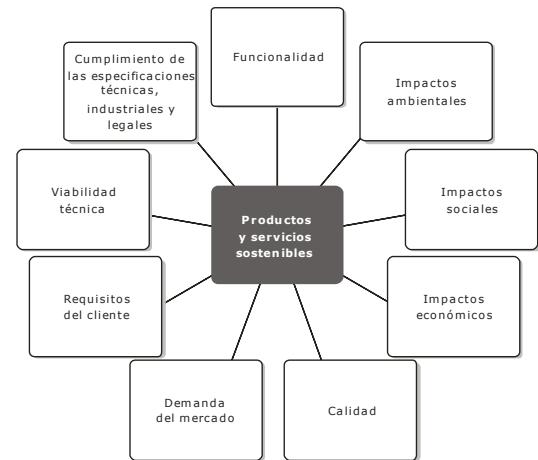
Las técnicas de optimización pueden satisfacer las exigencias tanto ambientales como económicas para mejorar el rendimiento de los productos durante su ciclo de vida (Azapagic y Clift, 1999). Entre ellos, el proceso de decisión de Markov se está utilizando para modelar la toma secuencial de decisiones en toda la gestión del ciclo de vida del producto (Hu y Bidanda, 2009). En la fabricación de circuito cerrado se presenta mantenimiento, reutilización de productos, reutilización de partes, reciclaje y recuperación de energía, como partes importantes para la sostenibilidad tan anhelada (Takata, et al, 2004).

Actualmente muchas investigaciones se han llevado a cabo para integrar la conciencia ambiental en el desarrollo y/o proceso del producto basado en el pensamiento de ciclo de vida con el diseño de la metodología para el medio ambiente (*Design for Environment* – DFE) (Hu y Bidanda, 2009). Sin embargo, las investigaciones se centran en el esfuerzo por la integración del diseño en la cadena de suministro eficaz, siempre impulsada por el producto, sus características y su ciclo de vida: factores claves para reducir los costos (Wang, et al, 2004). El diseño se define como un elemento crucial a la hora de minimizar las cargas ambientales y los costos durante todo el ciclo de vida de un producto (Umeda, et al, 2008).

A través de la creación de valor en el ciclo de vida del producto combinando la manufactura con los servicios se pueden obtener altos rendimientos (Zhao, et al, 2008). A este nuevo enfoque de fabricación se le conoce como SOM (*Service*

*Oriented Manufacturing* – Manufactura Orientada a Servicios).

A pesar de todos estos esfuerzos, hay que aceptar que la gestión ambiental, en general, es una disciplina joven (Rebitzer, et al, 2004).



**Figura 8.** Criterios para optimizar la sostenibilidad de los productos y servicios (Van Der Vorst y Maxwell, 2003)

## 7. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO (LCA)

El Análisis (o evaluación) del Ciclo de Vida del Producto (*Life Cycle Assessment* - LCA) es una metodología científica para la realización de la evaluación del impacto ambiental de productos y procesos a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, la cual está siendo adoptada cada vez más en el análisis del impacto ambiental (Burgess y Brennan, 2001). Hasta el momento, el LCA se ha aplicado principalmente a los productos; sin embargo, tal análisis incluye los procesos implicados en la fabricación de los materiales utilizados para el producto, estableciéndose entonces, que si LCA es válido para un producto, es claramente válido para los pasos del proceso que intervienen en su fabricación.

Para Rebitzer, et al (2004), el LCA es un método para ayudar a cuantificar y evaluar los posibles impactos ambientales de los bienes y servicios; mientras que de acuerdo a Gnansounou, et al

(2009), se trata de una metodología reconocida internacionalmente para valorar el comportamiento medioambiental global de un producto y proceso a lo largo de su ciclo de vida parcial o total, teniendo en cuenta los impactos generados desde la "cuna hasta la tumba". Burgess y Brennan (2001) relacionan, igualmente, el LCA como una técnica que puede ser útil para integrar las evaluaciones técnicas, económicas y del mercado en la evaluación de la tecnología de proceso, al considerar que ésta tiene el potencial de aplicación para procesar las plantas dentro de los sistemas de gestión ambiental. Finalmente, Finnveden, et al (2009), identifican que el LCA permite incluir todos los impactos ambientales directos e indirectos asociados con el producto, proceso o actividad en la evaluación y que su alcance abarca la extracción y transformación de materias primas, la fabricación y los procesos de ensamblaje, la distribución de productos, el uso, la reutilización, el mantenimiento, el reciclaje y la disposición final.

Mientras que los enfoques típicos para la protección del medio ambiente seleccionan los procesos más eficientes y rentables antes de determinar formas de reducir el impacto ambiental, las consideraciones ambientales son parte del proceso de toma de decisiones desde el principio cuando se utiliza con LCA (Burgess y Brennan, 2001). Además, el total de las cargas económicas y ambientales de un proceso se pueden cuantificar mediante la realización de una evaluación del ciclo de vida del producto, junto con un estudio de viabilidad técnico-económica (Burgess y Brennan, 2001).

Al igual que en cualquier investigación, la aplicación de LCA ya sea para productos o para procesos, es importante establecer el propósito y el público objetivo del estudio. Adicionalmente, se han identificado que diversas herramientas de LCA se han desarrollado y puesto a disposición para su uso en la evaluación ambiental (Ortiz, et al, 2009).

A partir de la utilización del LCA se pueden responder preguntas sobre las consecuencias ambientales de un producto, desde la recolección de la materia prima hasta su eliminación final, recuperación o reciclaje. La disciplina de la

gestión ambiental se está convirtiendo en un papel de mandos intermedios o técnicos (Matos y Hall, 2007), mientras que las complejidades y ambigüedades del desarrollo sostenible son cada vez más el foco de atención y frustración de alto nivel de gestión operativa y estratégica, así como una rica área de investigación académica. Aunque el LCA es relativamente una nueva herramienta de análisis y los avances siguen apareciendo constantemente, hay un consenso general en las normas internacionales de la Organización Internacional de Normalización para el marco de la serie ISO 14000 sobre este tema (Rebitzer, et al, 2004). Bajo este compendio de normas se encuentra la ISO 14040 (Gestión Ambiental) que divide el LCA en cuatro etapas: definición de objetivos y alcance; análisis del inventario del ciclo de vida (Life Cycle Inventory – LCI); evaluación del impacto del ciclo de vida (*Life Cycle Impact Assessment* – LCIA) e; interpretación (Brentrup, et al, 2004).

Desde la perspectiva de la *United State Environmental Protection Agency* (1993), la Evaluación del Ciclo de Vida debe ser una metodología para evaluar la carga ambiental de los procesos y productos como bienes y servicios convirtiéndose en un potente conjunto de herramientas para cuantificar, evaluar, comparar y mejorar esos bienes y servicios en términos de sus impactos ambientales potenciales (Rebitzer, et al, 2004).

Actualmente, los análisis de los impactos ambientales son de particular interés debido a un aumento de la conciencia pública y la preocupación por los efectos ambientales (Brentrup, et al, 2004). LCA se utiliza para comparar y fijar un punto de referencia del rendimiento de un producto contra otros de la competencia (Hatti-Kaul, 2007), con procesos y productos alternativos, y para encontrar puntos críticos en el ciclo de vida que podrían requerir mejoras en el rendimiento.

## 8. CONCLUSIONES

Las empresas manufactureras del siglo 21 viven en entornos cambiantes y dinámicos, en el que las

poblaciones de clientes son cada vez más heterogéneas y los ciclos de vida de los productos se hacen más cortos constantemente; las tendencias en tecnología y los requisitos del cliente cambian rápidamente, lo que requiere el aumento de la flexibilidad y agilidad para reaccionar a las perturbaciones inesperadas, manteniendo la productividad y la calidad.

La aplicación del LCA apoya la identificación de oportunidades para la prevención de la contaminación y para reducir el consumo de recursos a través de análisis sistemáticos, optimizando aspectos como indicadores sociales, económicos y ambientales de sostenibilidad, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final de los materiales usados.

Se evidencian grandes avances en el deseo de no impactar el medio ambiente con el nivel de consumismo que maneja actualmente la sociedad, tratando de reducir el impacto ecológico de la actividad industrial sin sacrificar calidad, costo, fiabilidad, rendimiento y eficiencia de utilización de la energía.

Es importante destacar, que la inclusión de cualquier iniciativa sostenible, ambientalmente hablando, requiere de un cambio de paradigma: dejando un lado la preocupación por sólo cumplir con las regulaciones ambientales a no sólo reducir al mínimo los daños ecológicos, sino que también al aumento del resultado económico. Esto lanza varios retos para los profesionales, académicos e investigadores.

Adicionalmente, desde el punto de vista de la fabricación se debe cambiar la imagen negativa del mantenimiento y redefinir su papel como método principal para la gestión del ciclo de vida (Takata, 2004), cuyo objetivo es proporcionar a la sociedad las funciones requeridas a través de productos y reducir al mínimo el consumo de materiales y energía.

Mientras que la sostenibilidad constituye un marco general para la mayor parte de las investigaciones

realizadas de las operaciones entorno al medio ambiente, Linton, et al (2007) se atreven a asegurar que esta va más allá de la práctica común actual. Si las cadenas de suministro se ampliaran explícitamente para incluir subproductos de sí, al considerar todo el ciclo de vida del producto, se podría optimizar el producto mismo no sólo desde el punto de vista del costo actual, sino también el punto de vista del costo total. Este último debe incluir los efectos del agotamiento de los recursos y la generación de subproductos que no son ni capturados ni utilizados como contaminantes y residuos.

## 9. REFERENCIAS

LEITÃO, P. C. y RESTIVO, F. J. ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control. *Computers in Industry*. 2006. Vol. 57, no. 2, p. 121-130

MING, X. G; YAN, J; LU, W. F. y MA, D. Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management - Status Review and Future Trend. *Concurrent Engineering: Research and Applications*. 2005. Vol. 13, no. 4, p. 311-319

MING, X.; YAN, J.; WANG, X.; LI, S.; LU, W. F.; PENG, Q. y MA, Y. S. Collaborative process planning and manufacturing in product lifecycle management. *Computers in Industry*. 2008. Vol. 59, no. 2-3, p. 154-166

VONDEREMBSE, M. A; UPPAL, M.; HUANG, S. H. y DISMUKES, J. P. Designing supply chains: Towards theory development. *International Journal of Production Economics*. 2006. Vol. 100, no. 2, p. 223-238

CHEN, Y. J; CHEN, Y. M y CHU, H. C. Development of a mechanism for ontology-based product lifecycle knowledge integration. *Expert Systems with Applications*. 2009. Vol. 36, no. 2, p. 2759-2779

FIXSON, S. K. Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain

- design decisions. *Journal of Operations Management*. 2005. Vol. 23, no. 3-4, p. 345-369
- TERZI, S.; BOURAS, A.; DUTTA, D.; GARETTI, M. y KIRITSIS, D. Product lifecycle management – from its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle Management*. 2010. Vol. 4, no. 4, p. 360-389
- JIAO, J.; MA, Q. H. y TSENG, M. M. Towards high value-added products and services: mass customization and beyond. *Technovation*. 2003. Vol. 23, no. 10, p. 809-821
- TIWANA, A. B. y RAMESH, B. A design knowledge management system to support collaborative information product evolution. *Decision Support Systems*. 2001. Vol. 31, no. 2, p. 241-262
- LEE, Y.; SHEU, L. C. y TSOU, Y. G. Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system. *Computers and Industrial Engineering*. 2008. Vol. 55, no. 1, p. 48-63
- SHEN, W.; HAO, Q.; MAK, H.; NEELAMKAVIL, J. D.; XIE, H.; DICKINSON, J. K.; THOMAS, R. C. y XUE, H. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. *Advanced Engineering Informatics*. 2010. Vol. 24, no. 2, p. 196-207
- WANG, G; HUANG, S. H. y DISMUKES, J. P. Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology. *International Journal of Production Economics*. 2004. Vol. 91, no. 1, p. 1-15
- NI, Q.; LU, W. F. y YARLAGADDA, P. K. An Extensible Product Structure Model for Product Lifecycle Management in the Make-to-Order Environment. *Concurrent Engineering: Research and Applications*. 2008. Vol. 16, no. 4, p. 243-251
- GEHIN, A.; ZWOLINSKI, Pe. y BRISSAUD, D. Integrated design of product lifecycles—The fridge case study. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2009. Vol. 1, no. 4, p. 214-220
- KOUFTEROS, X. A.; VONDEREMBSE, M. A. y DOLL, W. J. Integrated product development practices and competitive capabilities: the effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy. *Journal of Operations Management*. 2002. Vol. 20, no. 4, p. 331-355
- AURICH, J. C; FUCHS, C. y WAGENKNECHT, C. H. Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. *Journal of Cleaner Production*. 2006. Vol. 14, no. 17, p. 1480-1494
- BOOTHROYD, G. y ALTING, L. Design for Assembly and Disassembly. *Keynote Paper, Annals of the CIRP*. 1992. Vol. 41, no. 2, p. 625-636
- PRAHINSKI, C. y KOCABASOGLU, C. Empirical research opportunities in reverse supply chains. *Omega*. 2006. Vol. 34, no. 6, p. 519-532
- WIERSEMA, F.D. Strategic marketing and the product life cycle. *Working paper. Marketing Science Institute, Cambridge, MA*. 1982
- REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D. J.; NORRIS, G. A.; RYDBERG, T.; SCHMIDT, W. P. y PENNINGTON, D. W. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*. 2004. Vol. 30, no. 5, p. 701-720
- LINTON, J. D.; KLASSEN, R. D. y JAYARAMAN, V.. Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*. 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1075-1082
- LINTON, J.D.; JAYARAMAN, V. A conceptual framework for product life extension. *International Journal of Production Research*. 2005. Vol. 43, no. 9, p. 1807-1829.

- KUO, T. C.; HUANG, S. H. y ZHANG, H. C. Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. *Computers & Industrial Engineering*. 2001. Vol. 41, no. 3, p. 241-260
- JUN, H. B.; KIRITSIS, D. y XIROUCHAKIS, P. C. Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry*. 2007. Vol. 58, no. 8-9, p. 855-868
- VAN DER VORST, R. y MAXWELL, D. Developing sustainable products and services. *Journal of Cleaner Production*. 2003. Vol. 11, no. 8, p. 883-895
- HATTI-KAUL, R.; TÖRNVALI, U.; GUSTAFSSON, L. M. y BÖRJESSON, P. Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals – a cradle-to-grave perspective. *TRENDS in Biotechnology*. 2007. Vol. 25, no. 3, p. 119-124
- TAKATA, S.; KIMURA, F.; VAN HOUTEN, F.; WESTKÄMPER, E.; SHPITALNI, M.; CEGLAREK, D. J. y LEE, J. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2004. Vol. 53, no. 2, p. 643-655
- DAUGHTON, C. G. Cradle-to-Cradle Stewardship of Drugs for Minimizing Their Environmental Disposition While Promoting Human Health. *Environmental Health Perspectives*. 2003. Vol. 111, no. 5, p. 757-774
- UMEDA, Y.; FUKUSHIGE, S.; TONOIKE, K. y KONDOH, S. Product modularity for life cycle design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2008. Vol. 57, no. 1, p. 13-16
- HU, G. y BIDANDA, B. Modeling sustainable product lifecycle decision support systems. *International Journal of Production Economics*. 2009. Vol. 112, no. 1, p. 366-375
- AZAPAGIC, A.; CLIFT, R. Life cycle assessment and multiobjective optimisation. *Journal of Cleaner Production*. 1999. Vol. 7, no. 2, p. 135-143
- BURGESS, A. A. y BRENNAN, D. J. Application of life cycle assessment to chemical processes. *Chemical Engineering Science*. 2001. Vol. 56, no. 8, p. 2589-2604
- GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; VILLEGAS, J. Da. y PANICHELLI, L.. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, no. 21, p. 4919-4930
- FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. Z.; EKVAL, T.; GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A. y SUH, S. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*. 2009. Vol. 91, no. 1, p. 1-21
- ORTIZ, O. O.; CASTELLS, F. y SONNEMANN, G. W. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23, no. 1, p. 28-39
- MATOS, S. y HALL, J. K. Integrating sustainable development in the supply chain: The case of life cycle assessment in oil and gas and agricultural biotechnology. *Journal of Operations Management*. 2007. Vol. 25, no. 6, p. 1083-1102
- BRENTROP, F.; KÜSTERS, J.; KUHLMANN, H. y LAMMEL, J. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*. 2004. Vol. 20, no. 3, p. 247-264
- UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Office of Research and Development, Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, EPA/600/R-92/245, US; 1993