

03-033

STATE OF THE ART OF SUSTAINABLE LCA OF PRODUCTS WITH STEP PERSPECTIVE

de Las Heras García de Vinuesa, Ana ¹; Marcos Bárcena, Mariano ²; Aguayo González, Francisco ¹; Lama Ruíz, Juan Ramón ¹; Ávila Gutiérrez, María Jesús ¹

¹ Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla, ² Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Cádiz

In this paper, a literature review about the Sustainability Life Cycle Analysis (SLCA) Product is done seamlessly on the Social Dimension, Economy Dimension and Environment Dimension and its projection in the Standard ISO 10303. Starting on the concept of sustainability and how it influences into the SLCA of products, the study is performed articulating the state of art of synergy of both concepts and how the triple E addresses the aspects necessary for global sustainability of products in the process of design and product development. Given the amount of information generated and transmitted in the process of design and product development, ISO 13030 sets the standard STEP for the exchange of product model data. This standard is divided into different protocols as at different stages. That is why we propose to analyze the interest and establish an overview of the research and models related to the integration of SLCA and STEP.

Keywords: *SLCA; Sustainability; STEP; design and product development;*

ESTADO DEL ARTE DEL ACV SOSTENIBLE DE LOS PRODUCTOS BAJO LA PERSPECTIVA STEP

En el presente trabajo se realiza un estudio bibliográfico referido al Análisis de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida (ASCV) del producto de forma integrada en las dimensiones Social, Economía y Ambiental y de su proyección en la Norma ISO 10303. Partiendo del concepto de sostenibilidad y cómo ésta influye en el ASCV de los productos, se realiza el estudio articulando el estado del arte de la sinergia de ambos conceptos y cómo la triple E aborda los aspectos necesarios para una sostenibilidad global de productos en el proceso de diseño y desarrollo. Dada la cantidad de información que se genera e intercambia en el proceso de diseño y desarrollo de productos, la ISO 13030 establece el estándar STEP para el intercambio de datos del modelo del producto. Este estándar se articula en diferentes protocolos referidos a distintas etapas del proceso. Es por esto, que se propone analizar el interés y establecer una perspectiva de las investigaciones y modelos referentes que integre ASCV y STEP.

Palabras clave: *ASCV; Sostenibilidad; STEP; diseño y desarrollo de productos;*

Correspondencia: Ana de las Heras García de Vinuesa adelasheras@us.es anahgv@gmail.com

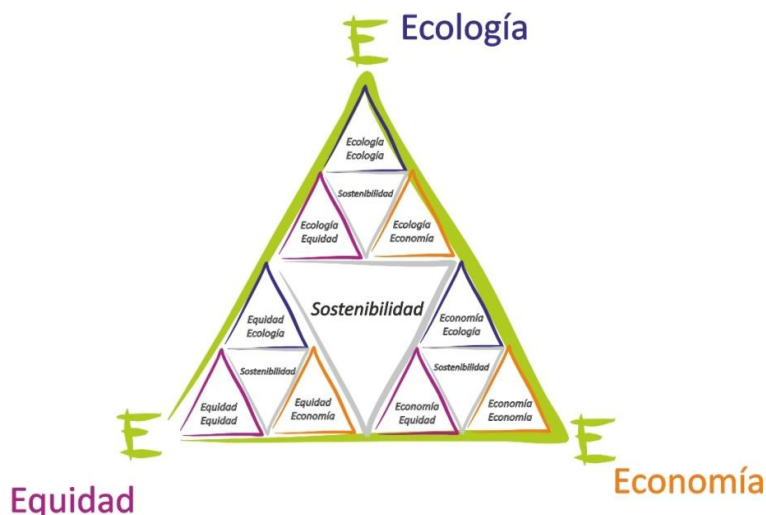
1. Introducción

La expansión industrial y la fabricación ha alterado profundamente los sistemas sociales, creando nuevos bienes, dinamizando los sistemas de fabricación y las tecnologías asociadas, diversificando los patrones de consumo, introduciendo nuevas necesidades, alterando las estructuras económicas, sociales y políticas y, fundamentalmente, acelerando el proceso de expansión económica a nivel mundial (Rodríguez 2008).

En la naturaleza se ha instaurado una dinámica de aporte de contaminantes cada vez mayor que, no es capaz de absorber lo que ha estimulado el nacimiento de la política ambiental (Eliceche, Corvalán 2007), y por lo tanto el desarrollo de metodologías de evaluación ambiental con el fin de reducir la huella ambiental del producto en todo su ciclo de vida (Jolliet et al. 2003, Jolliet et al. 2005, Telenko et al. 2008). Esta conciencia de preocupaciones ambientales ha llevado a la industria de fabricación a ser proactivo en el diseño de nuevos productos, mejorar los ya existentes y desarrollar procesos de fabricación más limpios (Harold, Ogunnaike 2005) orientado bajo el desarrollo sostenible..

La definición actual de sostenibilidad data del 1987 cuando se formalizó en el Informe Brundtland (Graedel, Allenby 2009, Bermejo 2001)) por parte de una comisión encabezada por la doctora G.H. Brundtland con participación de las distintas naciones para la ONU. “La sostenibilidad o desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones”. Este giro del desarrollo implica un cambio muy importante en cuanto a la idea de sostenibilidad ya que enfatiza en la dimensión Ecológica, introduciendo las nuevas dos dimensiones, Economía y Equidad (social) que crearán la triada más significativa y sobre la que se formulan nuevos conceptos conocida como la triple botton line donde se atiende por igual a las tres dimensiones. La representación de este concepto tiene un carácter fractalizado, focalizando la relación entre los tres conceptos en cada uno de los ejes (figura 1).

Figura 1: Gráfico de la Sostenibilidad. Triple E.



Nota: Elaboración propia.

Tras el giro del objetivo central de la sostenibilidad donde la forma de materializar el concepto versa alrededor de los tres ejes de forma equitativa, van surgiendo una serie de metodologías orientadas a la minimización de impactos sobre el medioambiente cuyo punto más representativo es el Análisis del Ciclo de Vida. Es una herramienta metodológica que

sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida).

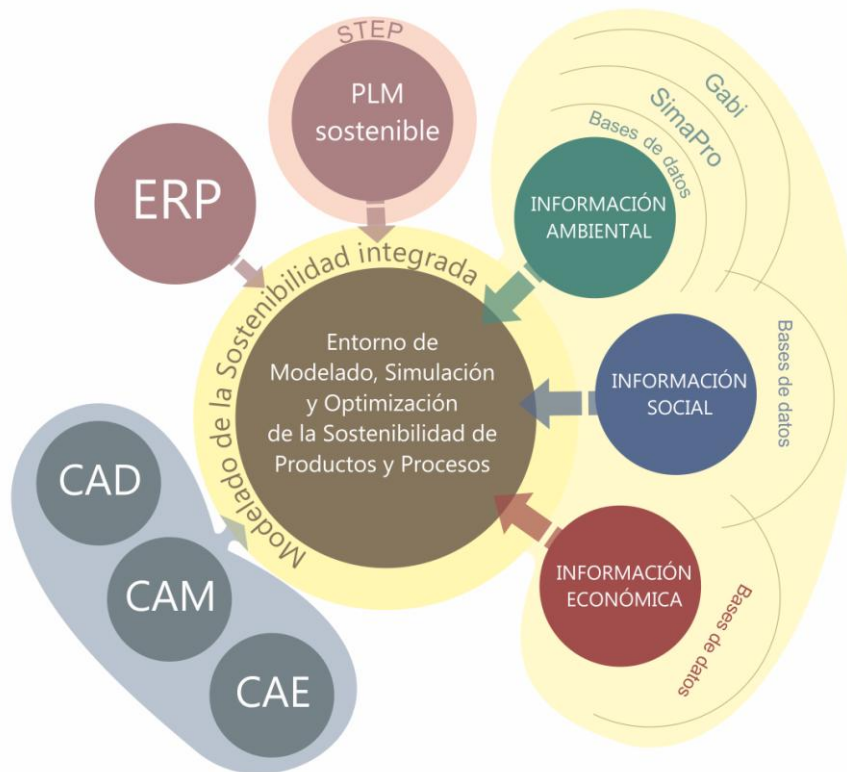
Se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos.

2. Objetivos

El objetivo principal de la presente comunicación se incardina en el contexto la creación de un *Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad en Productos y Procesos*. El objeto del modelo es formular un entorno de trabajo donde modelar la sostenibilidad integrada en los productos y procesos de fabricación teniendo como base la información arrojada por el análisis del ciclo de vida desde un enfoque integrado bajo el marco de la triple E donde se identifican los impactos de los tres ejes de la sostenibilidad.

El proceso de diseño y desarrollo de productos se lleva a cabo a través de softwares de diseño CAD/CAE/CAM. En dicho proceso existe un intercambio regulado por la normativa ISO 10303, concretamente con las AP203, 214, 224, 240 y 238 que componen el área de aplicación de protocolos de transferencia de datos en todo el proceso de diseño y manufactura de piezas, respaldado por la gestión de un sistema PLM (ingeniería concurrente) (Ye, Zhang 2013) por lo que, la unión de todos los componentes se observa la interacción entre ellos y el punto de partida para un planteamiento preliminar de modelo.

Figura 2: Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad.



Nota: Elaboración propia.

Debido a los diferentes actores que intervienen en el planteamiento del modelo, se parte del estado del arte de cada uno de ellos, es decir, un estudio bibliográfico articulando la sinergia que existe entre el ACV, la triple E, el proceso de diseño y desarrollo de productos con la aplicación de la norma ISO 10303 y aplicaciones de ACV y sostenibilidad que están incorporando los entornos de CAD/CAE/CAM.

3. Desarrollo

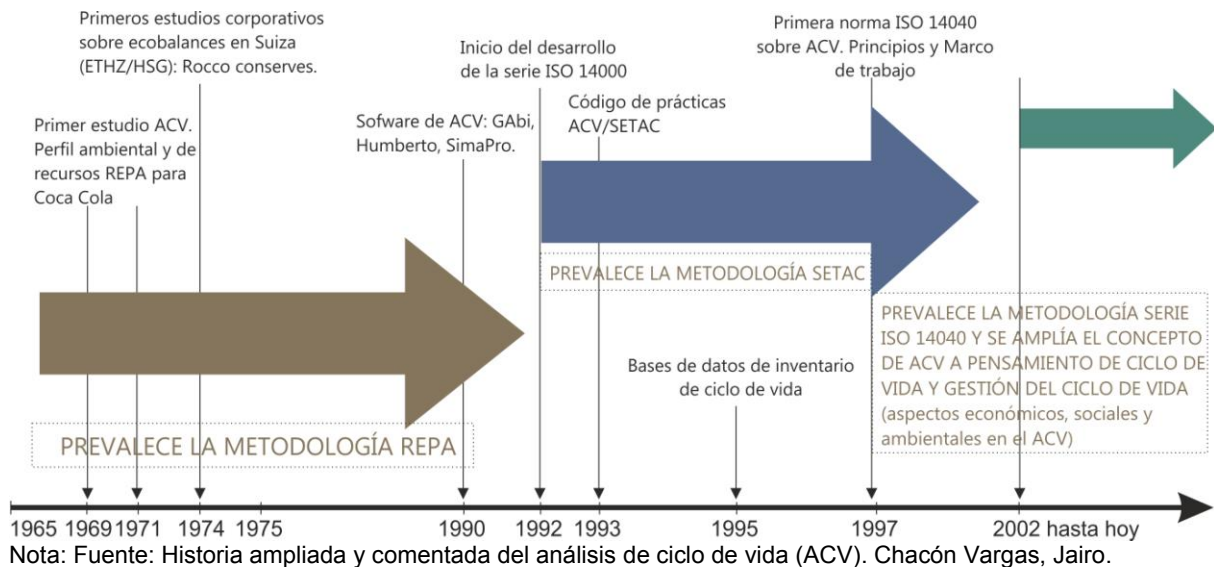
Para abarcar con mayor precisión el panorama actual de las investigaciones y los recursos disponibles en las áreas que se proponen como escenario de modelado, se dividen en dos análisis bibliográfico y técnico con lo que, poder dibujar un mapa de oportunidades de investigación donde desarrollar la propuesta preliminar de trabajo. Como primer bloque se encuentra el estado del arte del ACV y, como segundo bloque, se analizan las herramientas CAD/CAE/CAM que poseen mayor inclusión en la industria de fabricación y cómo éstas están preparadas para el intercambio de datos a nivel analítico y en aspectos de sostenibilidad, siempre bajo la perspectiva ISO 13030 para el intercambio de datos.

3.1 ACV

El concepto de ecología industrial (EI) (Seager, Theis 2002) representa una visión integrada del impacto ambiental de los sistemas industriales, donde una planta industrial no es analizada aisladamente, sino como parte de un conjunto de manera análoga a como una especie es estudiada por los ecólogos como parte de un ecosistema (Graedel, Allenby 2009). No obstante, a veces es necesario considerar el ciclo de vida completo (dimensión temporal) de un producto o una actividad, frente a una perspectiva más centrada en el control de las fuentes de emisión. Esta filosofía de ciclo de vida considera que todas las etapas involucradas en el ciclo de vida de un producto/actividad tienen una responsabilidad en las consecuencias ambientales del mismo y, por lo tanto, un papel que jugar (UNEP 2013).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) está formado por 4 fases: Definición de objetivos y alcance del estudio, Análisis de inventario, Evaluación de impacto e Interpretación de resultados (Baumann, Tillman 2004). Desde que en 1969 se publica el primer ACV de un producto con perfil ambiental y de recursos ha sufrido una transformación en cuanto a la orientación y finalidad de éste. Mientras que en su primera fase, hasta los años 90, prevalece la metodología REPA (Resources and Environmental Profile Analysis) (Ayres 2005) donde se cuantificaban los recursos y las descargas ambientales de los productos, hasta que aparecen los softwares de ACV que hoy en día se utilizan, SimaPro, Humberto, GAbi o TEAM, y que supusieron el mayor avance en este tipo de análisis gracias a la conexión con las primeras bases de datos de los impactos y sus categorías que estandarizaban y agilizaban el trabajo así como facilitaban los cálculos de todos los elementos. Tras este desarrollo, se comienza una etapa donde prevalece el "cómo hacer un ACV" gracias al desarrollo de la metodología SETAC (SETAC 1993) y por ello se inicia el desarrollo de la serie ISO 14000 que comienza con los Sistemas de Gestión Ambiental y, posteriormente saldrá a la luz la ISO 14040 de los principios y marco de trabajo del ACV.

Figura 3: ACV en el tiempo



En cuanto a las metodologías de ACV, pueden incluir modelos de puntos medios y/o de puntos finales (Hauschild et al. 2009). Los modelos de puntos medios "mindpoint" analizan los efectos intermedios al planeta, es decir, todas aquellas categorías de impacto ambiental más cercanas a la intervención ambiental pero que no analizan el daño que provocan a los "habitantes o elementos" del planeta siendo la metodología CML2001 (Guinée et al. 2009) la más representativa y utilizada en la evaluación de ciclo de vida de productos y fabricación. En cambio, los modelos de "endpoint" analizan los efectos finales que provocan sobre los habitantes/elementos del planeta la fabricación del producto. Su metodología por excelencia es Ecoindicador '99 (Goedkoop et al. 2001, Goedkoop et al. 2000). Éstos indicadores son los más utilizados en las investigaciones de ACV ya que su interpretación es muy sencilla: cuanto mayor sea el indicador, mayor es el impacto asociado. Cabe destacar la metodología RECIFE, que agrupa ambas perspectivas y cuyo estudio está extendido en muchos sectores: químico, mecánico,.. (Dreyer et al 2003).

Numerosos trabajos se apoyan en esta metodología que convierte el ACV de producto en pensamiento ampliando la perspectiva más allá de los aspectos ambientales (Heijungs 2009, Jogesen et al. 2013, Segun, Kara 2014, Alblas, Wortmann 2012, Van der Giesen et al 2013). Se trata de la conciencia donde el diseño, desarrollo y fabricación del producto adquiere la perspectiva de la sostenibilidad albergada en los tres pilares: Ecología, Economía y Equidad (Dimensión Social). La prioridad comienza a verse reflejada en que estos tres ejes deben tratarse con igual peso en los análisis ya que aportan una perspectiva global y fractalizada en cada uno de ellos (Aguayo et al. 2011). Desde el punto de vista de la dimensión ambiental del ACV lo que más predominan son metodologías de aplicación de este análisis a técnicas de mejora energética en el proceso de fabricación. Así mismo, centrados en el mecanizado existen algunos métodos desarrollados que influyen en el rediseño de los fluidos utilizados en las máquinas de corte o en el impacto y reciclaje del material utilizado para la fabricación (Despeisse et al. 2013).

En los últimos años, alrededor de la unión de éstos dos conceptos: ACV y Triple E (Sostenibilidad) surgen los primeros trabajos donde se lleva a cabo el S-ACV (Análisis Social del Ciclo de Vida) o el E-ACV (Análisis Económico del Ciclo de Vida) sin aparentemente relación, es decir, no incluyen ambos análisis integrados aunque en una lectura algo más profunda de los estudios, la salud ocupacional, la prevención de riesgos o la organización en una planta hacen que exista una relación entre ellos a través del

concepto de sistemas de sistemas integrados de gestión ISO 14001, ISO 9001, OSHA 18001. En el primero de ellos, se adquieren unas categorías de impacto relacionadas con: trabajadores, comunidad local, consumidores y cadena del valor (Macombe 2011, Jorgesen et al. 2008, Reinger et al. 2011, UNEP/SETAC 2009, UNEP/SETAC 2009). Se tienen en cuenta impactos que afectan a las personas que fabrican, consumen o distribuyen los productos. Existen varios métodos de implementación de este modelo (Weidema 2005, Norris 2014, Oki, Sasaki 2000, Santana et al. 2010) que trabajan en la relación social de los sistemas de fabricación. Catalogan los stakeholders de donde obtienen la información y los datos así como los impactos en referencia a la guía elaborada por la SETAC de 2009 pero no tienen una base de impactos tipificados y estandarizados que puedan estar conectados con un software en la misma línea que el ACV ambiental y que, por tanto, que reflejen el estado social del ACV del producto.

De la misma manera, el E-ACV adquiere categorías de impacto relacionadas con la inversión, beneficios y fabricación de los productos (Norris 2005, Weidema 2006). En cuanto a la integración de los aspectos económicos con el ambientales supone uno proceso con mayor proyección en la investigación en la actualidad ya que existen métodos de fabricación que evalúan los riesgos ambientales y económicos obteniendo resultados integrados estimando los costes de los daños ambientales asociados a la fabricación de los productos, obteniendo líneas de actuación en ambas perspectivas (De Felice et al. 2013, Earles et al. 2013, Nakamura 2007, Palousis et al. 2008, Schultmann et al. 2001, Kin et al. 2011)

3.2 Herramientas CAD/CAE/CAM. Intercambio de datos en el ciclo de vida del producto. PLM/STEP

El diseño y desarrollo de productos tiene un significado amplio y técnico: el desarrollo del producto, la relación entre el producto y su usuario, el estudio de su proceso de producción, considerando su ciclo de vida. Por consiguiente, el diseño de un producto es el resultado del análisis de todas las características de diseño que definen el producto en sí.

Hoy en día el diseño y desarrollo de nuevos productos o la modificación de los existentes se ha convertido en un elemento clave y fundamental para la mejora de la capacidad de innovación y competitividad de las empresas industriales.

Cada vez más el “diseño” de los productos es el único elemento que diferencia a un producto innovador de otro que no lo es. Hasta hace poco tiempo, el proveedor fabricaba bajo plano para sus clientes, por ejemplo en sectores tales como automoción o aeronáutica, mientras que en la actualidad, son más comunes los casos en los que el proveedor debe responsabilizarse del diseño e ingeniería de conjuntos completos y módulos que agrupan diferentes funciones.

Dado que actualmente resulta necesario ofrecer productos de mayor valor añadido, es prácticamente imprescindible adquirir, desarrollar y aplicar eficazmente tecnologías de apoyo a la función de diseño e ingeniería.

Son las herramientas CAD/CAE/CAM/PLM las que soportan todo el ciclo de vida de producto en el diseño, estructura, intercambio de datos, creación de planos. experiencias de producción, simulaciones, prototipos, render,... y todos los elementos necesarios para que una necesidad de la que parte la creación de un producto, pueda ser concebida, diseñada, desarrollada, producida, distribuida y usada con el cliente final.

Cada una de las fases de diseño y desarrollo del producto implica unas herramientas concretas que ayudan y dan soporte a las necesidades de éstas. Es, por tanto, necesario destacar los softwares más destacados y usados que en la actualidad realizan la traducción de necesidades en funciones realizables por el usuario que desarrolla o fabrica el producto.

Dependiendo el uso final del software varían su estructura y sus funciones. Para hacer más inteligible esta división, se introducen cuáles son las áreas de aplicación de los sistemas CAD:

1. AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE
2. ARTES GRÁFICAS
3. ARQUITECTURA E INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
4. CALZADO
5. DISEÑO GRÁFICO Y DIBUJO ARTÍSTICO
6. ELECTRICIDAD
7. ELECTRÓNICA
- 8. INGENIERÍA MECÁNICA Y DISEÑO INDUSTRIAL**
9. PUBLICIDAD E IMAGEN
10. REDES DE SERVICIO
11. ROBÓTICA
12. TEXTIL
13. TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA

Existen muchas áreas de aplicación de los sistemas CAD que tienen cada una de ellas softwares específicos pero, en este caso, se desarrollarán los softwares más destacados del área de ingeniería mecánica y diseño industrial o áreas relacionadas con ésta centrándose al objeto de la comunicación: Catia, SolidWorks, Creo/Proengineer, Autodesk y Solid Edge.

Unido al análisis del estado del arte actual de la inclusión de la sostenibilidad en los softwares específicos señalados, es necesario incluir el concepto de PLM. PLM (Product Life Management) supone el paso de una metodología de diseño tradicional, basado en planos realizados a mano y con una conexión con los demás departamentos mucho más compleja y con poca posibilidad de una gestión de datos del proyecto de manera global, a una metodología de trabajo basado en la ingeniería concurrente de forma que posibilita un soporte de ayuda para controlar la elevada cantidad de información y documentación generado durante el proceso de desarrollo de un producto.

Un sistema PLM (Ye, Zhang 2013) posee una arquitectura disponible para todos los miembros del grupo de diseño y desarrollo del producto, un sistema compartido donde en cualquier punto del ciclo de vida del producto puede accederse a toda la información a generada de manera que se creen un espacio de trabajo común y en donde todas las fases tengan coherencia con lo anteriormente desarrollado y donde cada documento generado se encuentre activo y accesible. Cada usuario puede acceder, compartir, registrar, copiar, recuperar, validar y guardar datos gracias a una aplicación informática. En la figura se puede observar el esquema básico en el que se apoyan los sistemas PDM/PLM pudiendo sufrir modificaciones o especificaciones concretas en cada uno de los softwares.

Por tanto, se arroja un análisis de los diferentes softwares que amplían el mapa de interacción entre los sistemas CAD/CAE, la posibilidad de cambio hacia un sistema PLM sostenible y la utilización de un canal de transmisión de datos con las APs de la normativa STEP.

Tabla 1: Tabla de softwares con herramientas, aplicación PLM y módulo Sostenibilidad

SOTFWARE	EMPRESA	USO	HERRAMIENTAS	PLM / PDM	ACV /MODULO SOSTENIBILIDAD
CATIA	Dassault-Systemes	Sector aeroespacial, transportes, diseño de piezas mecánicas, ergonomía y industria automotriz.	CATIA for Shape Desig CATIA for Mechanical Design & Engineering CATIA for Systems Engineering CATIA for Equipment Design CATIA Knowledge CATIA Analysis CATIA Ergonomics Design and Analysis CATIA Digital Process for Manufacturing	3DS Experiencie ENOVIA	EDW
SOLID WORKS	Dassault-Systemes	Diseño de piezas mecánicas (3D + gestión de planos).	SolidWorks Premium. Solid Works Enterprise PDM. SolidWorks Simulation. Solid Works Composer. SolidWorks Sustainability.	3DS Experiencie Solid Works Enterprise	Sustainability
CREO	PTC	Diseño de piezas mecánicas (3D + gestión de planos).	Creo Simulate. Creo Options Modeler. Creo Illustrate.	WindChill PLM	WindChill Product Analytics

AUTODESK	Autodesk	Diseño arquitectónico, gestión de planos, 3D para uso de render, sector industrial en general.	AutoCAD Civil 3D. Autodesk Inventor. Autodesk Alias. Autodesk Algor Simulation.	Autodesk PLM360	Módulos: Autodesk Alias. Autodesk Algor Simulation.
SOLID EDGE	Siemens PLM Software	Diseño de piezas mecánicas de maquinaria, Instalaciones industriales, Productos de consumo, Mobiliario, etc.	Solid Edge Simulation. Solid EdgeManufacturing Solid Edge SP. Solid Edge Drafting and Viewer.	Siemens PLM Teamcenter	

Nota: Elaboración propia.

Tras el análisis de los softwares de diseño y su incidencia en la sostenibilidad y el PLM, se observa que todos ellos se encuentran inmersos en un proceso de inclusión y continua mejora de su desarrollo tecnológico. Al mismo tiempo, aflora un handicap importante en el momento en el que es necesario intercambiar datos entre los softwares o incluso, intentar utilizar los datos arrojados para realizar un ACV del producto o cualquier proceso de análisis de la sostenibilidad y es que existe una falta de estandarización y uniformidad en los datos arrojados.

4. Propuesta preliminar del modelo

Pudiendo transformar las debilidades encontradas en oportunidades de investigación, se desarrolla una propuesta preliminar de modelo donde entran en juego los diferentes aspectos analizados.

Para comenzar, es necesario apuntar que se trata de un modelo que integra toda la cadena de proveedores y todo el proceso de diseño y fabricación del producto, es decir, todo su ciclo de vida (desde su concepción hasta su eliminación). Se habla de tres niveles diferentes: Macro, Messo y Micro/Nano donde se desarrollan estrategias de sostenibilidad y de integración de las tres dimensiones de la sostenibilidad en su nivel correspondiente y, con las características específicas de éstos.

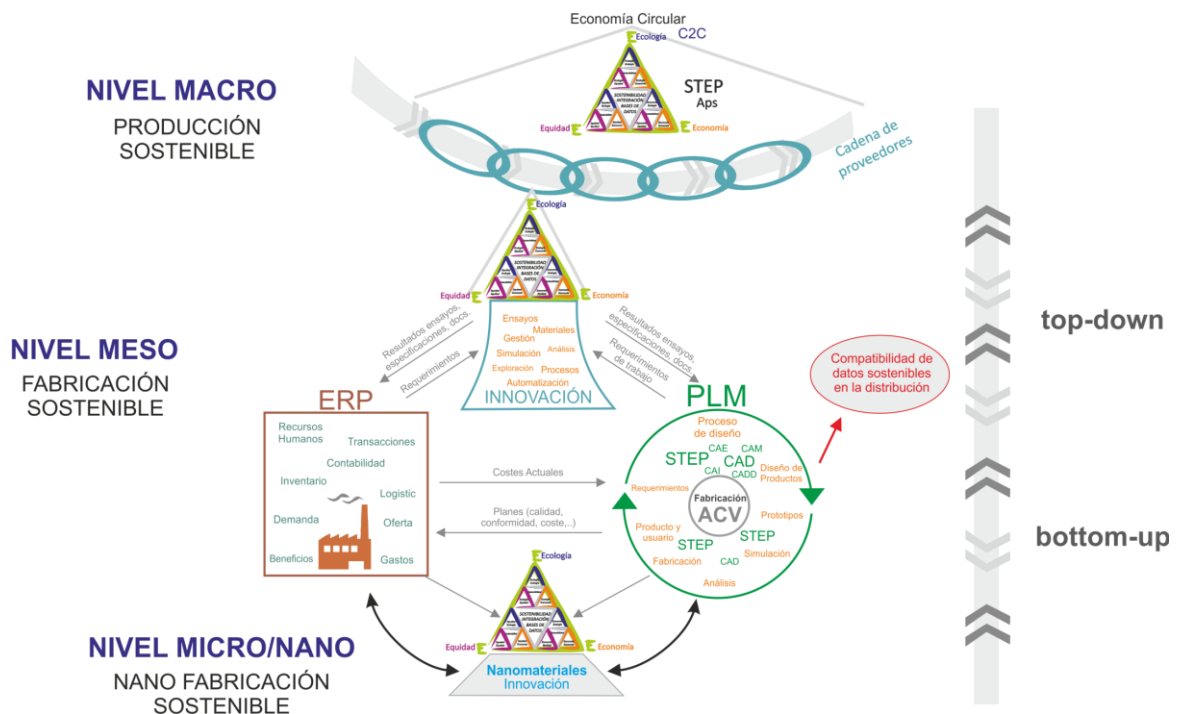
Bajo la triple E de la sostenibilidad, que es donde se arraiga la base del modelo, comienza el nivel Macro, que, partiendo del producto en general, se tiene en cuenta la transferencias de materiales y/o archivos en la distribución del producto siempre bajo el amparo de la

normativa de transferencia y normalización STEP. Para ello, se tienen en cuenta las APs específicas de cada proceso productivo. En ese nivel se habla de Producción Sostenible.

Si se continua el análisis del siguiente nivel, siempre bajo la triple E, se agrega en este punto la integración del sistema integrado de ERP-PLM sostenible donde el ACV, los sistemas CAD y la normalización de las bases de datos (y su compatibilidad) hacen que se cree en la empresa un solo núcleo sostenible, integrado por diferentes actores pero siempre normalizado y compatible. En este nivel, Meso, se habla de Fabricación Sostenible.

Como último nivel, Micro/Nano, se apuntan a las investigaciones y utilización de nanomateriales que afecten a la fabricación del producto. En el nivel anterior, meso, se hacía hincapié en la Innovación que, será en este nivel donde existe un potencial mayor, pero como durante todo el modelo se habla de una filosofía Top-Down y Bottom-Up donde la información y la transferencia de datos es un canal en ambas direcciones, el núcleo central de Innovación Sostenible afecta a todos los niveles ya que será la empresa gracias a su gestión y análisis la que extraiga y distribuya dichas propuestas.

Figura 4: Propuesta preliminar



Nota: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Como conclusiones a este trabajo, se observan la oportunidad de desarrollo de la investigación en diferentes aspectos que intensifiquen la validez de la propuesta preliminar esbozada.

La primera de las mejoras aportadas por la propuesta preliminar es la integración de las bases de datos de ACV. Dentro de las bases de datos que gestionan los datos del ACV existen bases de datos específicas para los datos Ambientales, otras de ellas que gestionan los datos Económicos y, por último, existen algunas que arrojan datos Sociales pero siempre

por separado. La Sostenibilidad es descrita como la integración de estos tres pilares en las mismas proporciones de actuación y en constante transferencia de datos entre ellos, es decir, la fractalización de las dimensiones de la sostenibilidad. Es por ello que, con el apoyo de la representación de la sostenibilidad, se plantea la potencialidad de una integración de las tres tipologías de bases de datos que cree un escenario de intercambio de datos y de normalización de datos. Así mismo, en esta integración, se ve necesario otras bases de datos adyacentes que posean especificaciones de diferentes procesos de fabricación, de técnicas de tratamiento superficiales, técnicas de mecanizado,... para una fabricación integrada y sostenible.

Partiendo de la base de la integración de las tres dimensiones de la sostenibilidad, existe un potencial de trabajo e investigación en la integración de los softwares concretos de desarrollo de ACV social, ambiental o económico softwares en uno solo o en la propuesta de la gestión de los datos que se deriven de la utilización de estos softwares de manera unificada.

En la potencialidad de esta línea de investigación habita la estandarización de los formatos de distribución gracias a la normativa STEP creando un PLM integrado y sostenible gracias al intercambio de información entre los análisis.

Derivado de dicha integración y bajo la norma de intercambio de información y archivos y los protocolos específicos de cada sector y proceso de fabricación, puede comenzar el desarrollo de unas traducciones normalizadas y estandarizadas de los resultados del análisis de los diferentes softwares, así como la adaptación en el propio desarrollo de estos a dichas unidades universales de manera que los impactos bajo cualquiera de las dimensiones de la sostenibilidad puedan ser interpretados e incluso representados para su comparación y confrontación.

6. Bibliografía

- Aguayo, F., Peralta, E., Lama, J.R., Soltero, V.M. (2011). *Ecodiseño: Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna*. RC Libros. Madrid.
- Alblas, A. & Wortmann, H. (2012). Impact of product platforms on lean production systems: evidence from industrial machinery manufacturing. *International Journal Of Technology Management*, vol 57. p.110-131.
- Bermejo, R. (2011). *Manual para la economía sostenible*. Ed. Catarata. Madrid.
- De Felice, F., Campagiorni, F. & Petrillo, A. (2013). Economic and environmental evaluation via an integrated method based on LCA and MCDA. *Proceedings of 9th International Strategic Management Conference*, 99, 1-10.
- Despeisse, M., Oates, M. R., & Ball, P.D.(2013).Sustainable manufacturing tactics and cross-functional factory modelling. *Journal of Cleaner Production*, 42, 31-41.
- Dreyer, L. C., niemann, A. L. & Hauschild, M. Z. (2003). Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99 - Does it matter which one you choose? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8, 191-200.
- Eliceche, A. M., S. M. Corvalán & P. Martínez. (2007) Environmental life cycle impact as a tool for process optimisation of a utility plant. *Comput. Chem. Eng.* 31(5-6): 648-656.
- Goedkoop, M. Hofsteletter, P., Müller-Wenk, R. (2000). The ecoindicator 98 Explained. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 3(6), 352-360.
- Goedkoop, M. Srijnsma, R. (2001). *The eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle assessment*. Amesfoot, The Netherlands. Pre-consultants..
- Graedel, T. & Allenby, E. (2009). *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*. Pearson. New York.
- Guinée, J. et al. (2009). *Handbook LCA-CML*.

- Harold, M. P. & B. A. Ogunnaike. (2005). Process engineering in the evolving chemical industry. *AIChE J.* 46(11): 2123-2127.
- Hauschild M., Goedkoop M., Guinée J.B., Heijungs R., et al (2009). Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment (LCA). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD). Background document.*
- Heijungs, R. et al. (2009). "Life cycle assesment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle anlysis". *Polymer Degradation And Stability*, 95. p.422-428.
- Jolliet, O., M. Margni, R. Charles, S. Humbert, J. Payet, G. Rebitzer & R. Rosenbaum. 2003. IMPACT (2003). A new life cycle impact assessment methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* 8(6): 324-330.
- Jolliet, O., M. Saadé & P. Crettaz. (2005). Analyse du cycle de vie, comprendre et réaliser un écobilan. *Life Cycle Assessment: understand and perform an Eco-balance..* Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Jorgesen, A. et al (2013). Analysis of the link between a definition of sustainability and the life cycle methodologies. *International Journal Of Life Cycle Assessment*, vol 18. p.1440-1449.
- Kim, Y.-D., Cha, H., Kim, K. & Shin, D. (2011). Evaluation Method of Green Construction Technologies Using Integrated LCC and LCA Analysis. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 12, 91-100.
- Macombe, Catherine. (2011). Recent developments in assessing the social impacts of the product's life cycles. Social LCA seminar, 5-6th May 2011, Montpellier, France.
- Nakamura, S. (2007). Evaluating eco-efficiency of appliances by integrated use of hybrid LCA and LCC tools. *advances in life cycle engineering for sustainable manufacturing businesses*, 445-448.
- Norris, C. B. (2014). Data for social LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 261-265.
- Norris, G. (2005) Integrating Economic Analysis into LCA. *International Journal LCA*.
- Oki, Y. & Sasaki, H. (2000). Social and environmental impacts of packaging (LCA and assessment of packaging functions). *Packaging Technology and Science*, 13, 45-53.
- Palousis, N., Luong, L. & Abhary, K. (2008). An integrated LCA/LCC framework for assessing product sustainability risk. *Risk Analysis Vi: Simulation and Hazard Mitigation*, 121-128.
- Rodríguez Jiménez, J.J. (2008). *Hacia un uso sostenible de los recursos naturales.* Universidad Internacional de Andalucía. Sevilla. ISBN: 978-84-7993-048-6.
- Santana, F. S., Barberato, C. & Saraiva, A. M. (2010). A Reference Process to Design Information Systems for Sustainable Design Based on LCA, PSS, Social and Economic Aspects. *What Kind of Information Society? Governance, Virtuality, Surveillance, Sustainability, Resilience*, 328, 269-280
- Schultmann, F., Jochum, R. & RentZ, O. (2001). A methodological approach for the economic assesment of best available techniques - Demonstrated for a case study from the steel industry. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 19-27.
- Seager, P. & Theis, T. L. (2002). A uniform definition and quantitative basis for industrial ecology. *Journal of Cleaner Production*, 10, 225-235.
- Segun, K. & Kara, S. (2014). Analysis of the impact of technology changes on the economic and environmental influence of product life-cycle design. *International Journal Of Computer Integrated Manufacturing*, vol 27. p.422-433.
- SETAC. (1993). *Guidelines for Life Cycle Assessment: A 'Code of Practice'*. P, Sesimbra, Portugal.
- Telenko, C., C. C. Seepersad & M. E. Webber. (2008). A compilation of design for environment principles and guidelines. *International Design Engineering Technical*

- Conferences & Computers an Information in Engineering Conference*, 3-6 August, New York.
- UNE-EN-ISO 14000, Directrices para la implantación de un sistema de gestión medioambiental, Asociación Española de normalización y certificación (AENOR), Madrid, 2004.
- UNEP "Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment". United Nations Environment Programme (UNEP). Division of Technology, Industry and Economics (DTIE), Paris (2013)
- UNEP/SETAC (2013) The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA). United Nations Environment Programme and SETAC.
- UNEP/SETAC. (2009). Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Accessed on December, 2014. Available at: [h:p://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf).
- Van der Giesen, R. et al. (2013). Towards application of life cycle sustainability analysis. *Metallurgical Research & Technology*, Vol 110. p.29-36..
- Weidema, B. (2005). ISO 14044 also applies to social LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 10, 381-381.
- Ye, X. & Zhang, X. (2013). "PLM for multiple lifecycle product". Master Thesis. KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo.

