

P11

SOSTENIBILIDAD 4.0: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA INTEGRADO DEL PRODUCTO INTELIGENTE CONECTADO

de las Heras García de Vinuesa, Ana; Córdoba Roldán, Antonio; Ávila Gutiérrez, María Jesús; Aguayo González, Francisco.

Grupo de Investigación TEPO22: Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación. Departamento de Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

RESUMEN

La sostenibilidad se sitúa como un aspecto central en la industria con el desarrollo de la fabricación sostenible donde la tendencia de minimizar los impactos producidos por el desarrollo de productos con el objetivo de crear un ecosistema global sostenible supone el nuevo contexto para los productos de la Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0).

La Industria 4.0 promueve la transformación de las organizaciones productivas del siglo XXI hacia nuevas concepciones de los sistemas de fabricación denominados inteligentes. El nuevo yacimiento de valor es la conectividad entre todos los agentes ciber-físicos (personas, procesos y sistemas) que crean unas nuevas redes de valor inteligentes conectadas en tiempo real, monitorizadas, controladas y organizadas dinámicamente.

Este trabajo propone un nuevo marco de trabajo basado en el paradigma de la economía circular para evaluar la sostenibilidad en tiempo real a través de un análisis del ciclo de vida integrado en las tres dimensiones (economía, ecología y equidad) donde analizar y procesar los datos recogidos en tiempo real en el ciclo de vida del producto junto con aquellos datos provenientes de las bases de datos estandarizadas y el histórico de datos generados en el ciclo de vida del producto a través de una Cloud Manufacturing Platform.

Palabras clave: *Sostenibilidad, Análisis de Ciclo de Vida, Industria 4.0, Conectividad, Plataforma de Manufactura en la Nube.*

ABSTRACT

Sustainability is placed as a central aspect in the industry with the development of sustainable manufacturing where the tendency to minimize the impacts produced by the development of products with the aim of creating a sustainable global ecosystem is the new context for the products of the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0).

Industry 4.0 promotes the transformation of the productive organizations of the 21st century towards new conceptions of manufacturing systems called intelligent. The new value deposit is the connectivity between all the cyber-physical agents (people, processes and systems) that create new smart value networks connected in real time, monitored, controlled and dynamically organized.

This work proposes a new framework based on the circular economy paradigm to evaluate sustainability in real time through an analysis of the life cycle integrated in the three dimensions (economy, ecology and equity) in which to analyze and process the data collected in real time in the life cycle of the product together with data from the standardized databases and the historical data generated in the life cycle of the product through a Cloud Manufacturing Platform.

Keywords: *Sustainability, Life Cycle Assessment, Industry 4.0, Connectivity, Cloud Manufacturing Platform.*

INTRODUCCIÓN

Desde la Revolución industrial, la industria ha evolucionado para desarrollar un sistema que pueda satisfacer la demanda social de productos, cada vez mayor, lo que ha supuesto un impacto sobre el

planeta debido a los efectos que esa producción en masa genera. El modelo de interacción de intercambio de materia entre la naturaleza y la sociedad, basado en la importancia del valor económico, ha hecho que surja una fractura metabólica (Foster, 2000).

Este cambio de pensamiento hacia los intereses económicos hace que exista un exceso de nutrientes creado por la tecno-esfera que no pueden ser asimilados por procesos naturales y, por tanto, generan un impacto que distancia el capital natural y el social (figura 1).

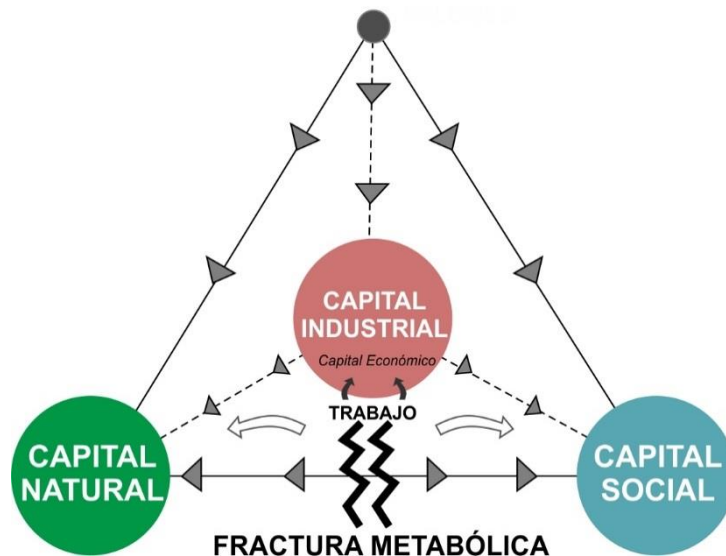


Figura 27: Fractura Metabólica.

El Informe Brundtland (ONU, 1987) marca el comienzo del desarrollo de modos de trabajo más eficientes que permitan satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones. Esta nueva perspectiva se orienta a una visión de eco-eficiencia y eco-efectividad donde reducir o eliminar la fuente de los impactos creando valor es uno de los objetivos para la investigación que serán discutidos en los apartados siguientes.

PARADIGMA SOSTENIBLE Y MARCOS DE TRABAJO

A raíz de esta nueva visión y para la consecución de este nuevo objetivo, mitigar la fractura metabólica y crear un ecosistema global sostenible, surgen una serie de paradigmas que detallan el conjunto de prácticas y saberes que definen una disciplina científica durante un período específico (Thomas, 1962). En la ciencia actual, los paradigmas son vertebrados sobre un conjunto de principios, técnicas y herramientas que estructuran los marcos de trabajo. Estos marcos de trabajo son las estructuras metodológicas y teóricas que son desarrolladas y aplicadas por la comunidad científica y, por tanto, aceptadas como patrón de trabajo.

En cuanto a los paradigmas sostenibles que existen cabe destacar:

- a) Economía Circular (Geissdoerfer, 2017)
- b) Ecología Industrial (Graedel y Allenby, 2002).
- c) Capitalismo Natural (Hawken y Lovins, 2010)
- d) Permacultura (Veteto y Lockyer, 2008)
- e) El Paso Natural (Upham, 2000)

La Economía Circular se presenta como el paradigma de referencia por considerarlo el más significativo para el desarrollo de la sostenibilidad desde la perspectiva industrial en el contexto de proyectos de ingeniería, en atención a su carácter operacional y ecosistémico (Geissdoerfer, 2017; Witjes y Lozano, 2016) [4,9]. En la Economía Circular se aúnan los aspectos ambientales y económicos con un

nuevo modelo de sociedad que utiliza y optimiza stocks y flujos de materiales, energía y residuos y su objetivo es la eficiencia del uso de los recursos.

La figura 2 muestra la propuesta de articulación de la sostenibilidad desde el paradigma de la economía circular en un marco de trabajo sinérgico de ACV y C2C en el contexto de los sistemas ciberfísicos y la digitalización de la industria 4.0.

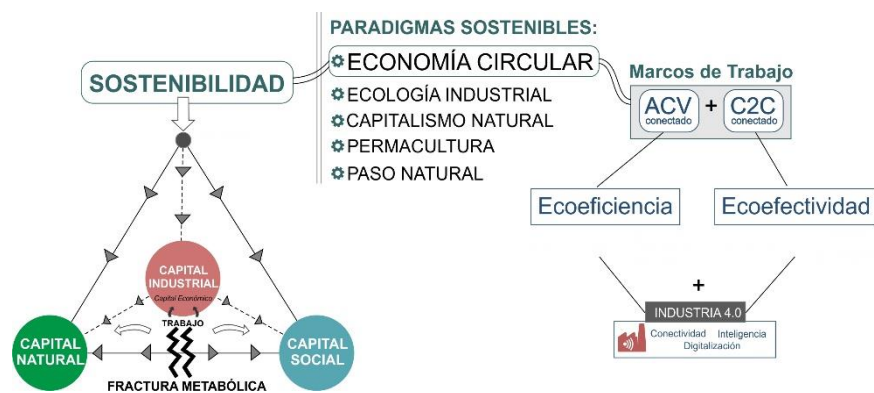


Figura 2: Propuesta marco de trabajo nuevo modelo.

ACV CONECTADO

La eco-eficiencia es parte de la estrategia industrial actual extendida a todas las etapas del ciclo de vida de productos y procesos de fabricación y desarrolla una supervisión exhaustiva de los resultados obtenidos en la fabricación con el objeto de comprobar cómo responden los productos y evaluar sus impactos. El ACV (AENOR, 2006) es el método estándar para la evaluación del comportamiento sostenible de los sistemas (efectos de los impactos) en su dimensión ambiental (UNE-EN ISO 14040 y 14044).

La propuesta de inclusión de la industria 4.0 en el ACV implica:

- La incorporación de la gestión, análisis y procesamiento de datos en tiempo real de todo el ciclo de vida del producto que permita establecer unos modelos basados en Big Data para predecir, mitigar y corregir impactos negativos y ampliar el alcance.
- La incorporación de sensores e inteligencia a lo largo del ciclo de vida del producto ciberfísico hace que se obtengan datos en tiempo real del producto permitiendo la contextualización de la evaluación de los impactos. Gracias al uso de las *Cloud Manufacturing Platform*, se crean nuevas bases de datos de contaminantes, complementarias a las estandarizadas (Ecoinvent, BUWAL,...), alcanzando un nivel mayor de análisis en el contexto de la empresa que posibilita la búsqueda concreta de la causa de los impactos con el objetivo de desarrollar de criterios de actuación particulares para paliar los efectos negativos sobre el medioambiente.
- Supone una mayor objetividad por su adaptación al medio y a la realidad propia de la empresa para el análisis del inventario.
- Permite el desarrollo de una metodología integradora donde se analice la sostenibilidad del producto y proceso de fabricación desde la triple E: impactos ambientales, impactos económicos e impactos sociales (De las Heras et al. 2015).

La figura 3 muestra la inclusión de la digitalización como driver de innovación en la metodología del ACV.

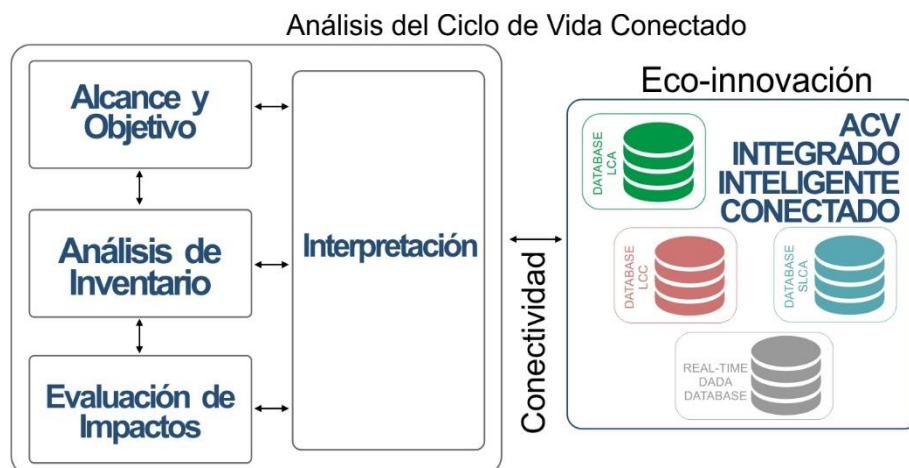


Figura 3: ACV conectado.

C2C CONECTADO

Por su parte, la eco-efectividad surge para aportar soluciones más allá de la eficiencia de los procesos productivos, el objetivo se centra en cerrar el ciclo de vida del producto (sin reducción de calidad) eliminando los efectos (residuos) desde las causas. "De la Cuna a la Cuna" (C2C) (Braungart y McDonough, 2007) incluye producción en lazo cerrado, tecnologías limpias y la revitalización de los sistemas, en definitiva, convertir la tecnosfera en un ecosistema a semejanza de los naturales que reintegre al ser humano en la biosfera con la estrategia orientada a las causas de los impactos. La naturaleza se presenta como maestra, modelo y mentora.

La propuesta de incorporación de la digitalización y la conectividad a C2C implica:

- Conocimiento de la cantidad de energía utilizada en tiempo real.
- Mejora continua y calidad en la sostenibilidad debido a los procesos monitorizados y sensorizados.
- Obtención de información de las causas de los impactos definiéndose como una herramienta necesaria en la toma de decisiones posteriores a la evaluación.
- Fomento de eco-innovaciones eco-efectivas bioinspiradas en los ciclos cerrados de la naturaleza en cualquier punto del análisis de los procesos.
- Fomento no solo la minimización de los impactos sino su completa eliminación siguiendo el concepto de Biomimetismo.
- Favorecer la robustez y la resiliencia desde la conectividad.

La figura 4 muestra la inclusión de la digitalización como driver de innovación dentro del marco de trabajo C2C de forma fractalizada. La 3E proporciona una fractalización del análisis de los procesos en unidades más pequeñas y manejables. Éstas pueden ser reproducidas con el nivel de análisis requerido en cada proceso. Éstos están caracterizados por las entradas, salidas, recursos y control, de forma que modelen la información de cada uno en base a los 4 criterios de C2C.

Así mismo, el nivel de análisis puede ser *bottom-up* y *top-down*, de forma que los datos que se manejan en tiempo real se almacenen, procesen y analicen en una CDMngP con el objetivo de desarrollar un ciclo de vida de producto en ciclo cerrado según el paradigma sostenible bajo la economía circular

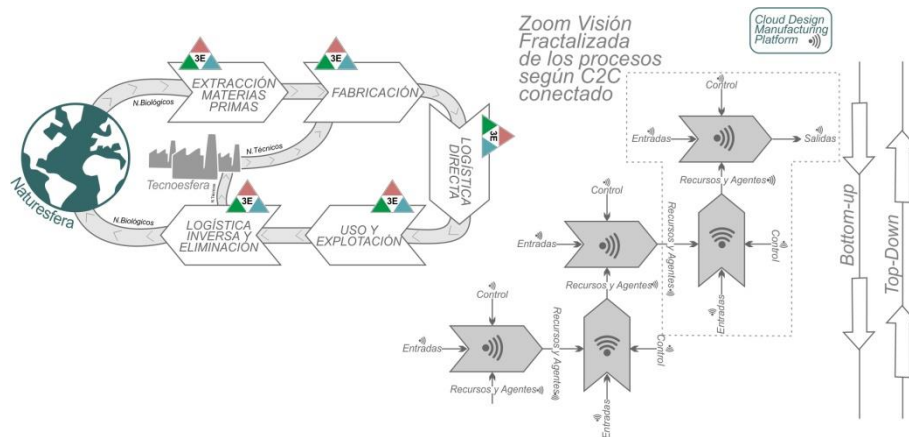


Figura 4: C2C conectado.

CONCLUSIONES

Este nuevo marco de trabajo supone una evolución en cuanto al alcance de ACV y C2C convencional. Gracias al potencial de nuevas posibilidades ligadas a la conectividad e inteligencia que aporta la industria 4.0 y la aparición de los facilitadores digitales, se ofrece una estructura de proceso de diseño y desarrollo de smart connected product que incorpora funciones reales o funciones virtuales del producto. Esto supone la posibilidad de incorporar nueva información del producto y gestionar los datos sostenibles dentro de un modelo de datos de producto bajo la ISO 10303 (STEP) en un P&PLM.

Derivado de esta nueva perspectiva, se encuentra en desarrollo el modelo de evaluación de la sostenibilidad de productos y procesos de fabricación: el Modelo ADeNómico. Se trata de una investigación conjunta por parte del grupo de investigación TEP022 con el grupo de investigación TEP027 de la Universidad de Cádiz donde materializar un entorno de modelado, simulación y optimización para la evaluación de la sostenibilidad 4.0 orientado a analizar los efectos y las causas de los impactos durante el proceso de diseño y desarrollo del producto, de forma que la sensorización de la Industria 4.0 se lleve a cabo en el producto y en procesos de fabricación.

Este escenario supone una mejora hacia la sostenibilidad 4.0 y proporcionará nueva información y datos acerca del impacto de las actividades industriales, favoreciendo la fabricación limpia y las estrategias de la Economía Circular para el cierre de ciclos en las factorías inteligentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la colaboración al grupo de investigación TEP027 Ingeniería y tecnologías de materiales y fabricación de la Universidad de Cádiz, por la oportunidad de comenzar esta investigación conjunta incluyendo la posibilidad de trabajo de campo gracias a los equipos de la Escuela Superior de Ingeniería del Campus de Puerto Real.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR, 2006. *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. UNE-EN ISO 14040:2006. Madrid:AENOR.
- Braungart, M; McDonough, W; Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, p. 1337-1348. DOI10.1016/j.jclepro.2006.08.003
- De las Heras García de Vinuesa, A; Marcos Bárcena, M; Aguayo González, F; Córdoba Roldán, A. (2015). *Incorporación de la sostenibilidad y ACV en datos de producto bajo estándar ISO 10303 y PLM*. Actas 19th International Congress on Project Management and Engineering, (Granada, 15-17 de Julio de 2015), p. 1003-1016.

- Foster, J. B. (2000). *Marx's Ecology: Materialism and Nature*. 1a ed. Londres: Monthly Review Press. ISBN 9781583670125
- Geissdoerfer, M; Savaget, P; Bocken, N.M.P. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 143, p. 757-768. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.12.048
- Graedel, T; Allenby, B. (2002). *Industrial Ecology*. 1a ed. Estados Unidos: Prentice Hall. ISBN 9780130467133
- Hawken, P; Lovins, A.B. (2010). *Natural Capitalism: The Next Industrial Revolution*. 10a ed. Estados Unidos: Little, Brown & Company. ISBN 978-1844071708
- ONU. (1987). *Por common Future: Brundtland Report*. Oxford University Press.
- Thomas, K. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. 1a ed. México: Fondo de Cultura Económica. ISBN 9788437505794
- Upham, P. (2000). An assessment of The Natural Step theory of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, vol. 8, p. 445-454. DOI:10.1016/S0959-6526(00)00012-3
- Veteto, J.R, Lockyer J. (2008) Environmental Anthropology Engaging Permaculture: Moving Theory and Practice Toward Sustainability. *Culture & Agriculture*. vol. 30, p. 47-58. DOI:10.1111/j.1556-486X.2008.00007.x
- Witjes S, Lozano R. (2016). Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling*. vol. 112, p. 37-44. DOI:10.1016/j.resconrec.2016.04.015