



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Encontro Internacional de
Educação em Engenharia ACOFI

La economía circular y su impacto en el plan de estudio de ingeniería industrial. ¿Cambio puntual o transversal?

Luz Angélica Rodríguez Bello, Enrique Estupiñán Escalante

**Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogotá, Colombia**

Resumen

Siguiendo la tendencia global donde hay un cambio del modelo lineal en el sistema de producción consumo a un modelo circular, apalancado en la economía circular, la cual exhorta a que nos movamos de tomar- hacer- usar- disponer a un modelo donde se mantenga el valor de los productos, componentes, materiales y recursos el mayor tiempo posible en la economía y se generen la menor cantidad de residuos. Se han introducido diferentes conceptos como sostenibilidad con sus perspectivas económica, social y ambiental, índice de sostenibilidad, responsabilidad social, responsabilidad extendida del productor, política de producto integrada, logística inversa, 9R, minería urbana, servitización, las cuales hacen que cambien las áreas de negocio y por lo tanto el plan de estudio de ingeniería industrial. Siendo las áreas que más se impactan: planificación estratégica; investigación, diseño, desarrollo; gestión de mercadeo; gestión de costos; gestión de la cadena de suministro; gestión de la calidad; gestión de materiales; gestión ambiental; gestión de procesos; logística y logística Inversa y gestión de operaciones. Esto después del análisis de diferentes casos de estudio que han implementado dichos conceptos de forma exitosa, se concluye que se requieren cambios transversales desde diferentes disciplinas para responder a las tendencias globales, que se acompañen con un aprendizaje activo para garantizar un aprendizaje verdaderamente inmersivo y experiencial.

Palabras clave: economía circular; plan de estudios; aprendizaje inmersivo; aprendizaje experiencial.

Abstract

Following the global trend where there is a change from the linear model in the consumption production system to a circular model, leveraged in the circular economy. Which encourages us to move from take-make-use-dispose to a model where the value of products, components, materials and resources for as long as possible in the economy and the least amount of waste is generated. Different concepts have been introduced, such as sustainability with its economic, social and environmental perspectives, sustainability index, social responsibility, extended producer responsibility, integrated product policy, reverse logistics, 9R, urban mining, servitization. Which make the business areas change and therefore the study plan of industrial engineering. Being the areas that are most impacted: strategic planning; research, design and development; marketing management; cost management; Supply chain management; Quality management; materials management; environmental management; process management; logistics and reverse logistics and operations management. This after the analysis of different case studies that have successfully implemented these concepts, it is concluded that transversal changes are required from different disciplines to respond to global trends, which are accompanied by active learning to guarantee a truly immersive and experiential learning.

Keywords: *circular economy; curriculum; immersive learning; experiential learning*

1. Introducción

La economía circular EC es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. Es extender la vida útil de los materiales a través de un uso más prolongado y un mayor uso de materias primas secundarias, (Ellen Macarthur Foundation, 2012; OECD, 2014; EU, 2016; Geisendorf & Pietrulla, 2017; Pauliuk, S. 2018). Este proceso comienza en el diseño inteligente de productos y los procesos de producción, lo cuales pueden ayudar a ahorrar recursos, evitar la gestión ineficiente de residuos y crear nuevas oportunidades comerciales (Eurostat, 2019).

En China la EC inicia en los años 1990 a través de modelo circular y en 2008 se crea la ley de promoción de la EC que busca promover cuatro componentes: La producción circular, los sistemas circulares, la industria del reciclaje y el consumo verde (Geisendorf & Pietrulla, 2017). En Europa se formaliza más tarde, en 2014 se crea el programa "Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa" y en 2015 se realiza el plan de acción, con 54 medidas a 5 años en 5 ejes (plásticos, alimentos, materias críticas, residuos de construcción y demolición, biomasa) y en 2022 se configura un nuevo plan que busca promover la economía competitiva, climáticamente neutra, donde el consumidor este empoderado (EU, 2016), (Eurostat, 2019). En Colombia en 2019 se lanza la Estrategia Nacional de EC, la cual busca: productividad, mayor eficiencia del uso de agua, energía y materiales, recuperación de ecosistemas, uso circular del flujo de materiales y extensión de la vida útil (MADS, 2019).



La implementación de la EC trae consigo cambios en las áreas de negocio, pues las organizaciones deben planificar a largo plazo de forma estratégica, es necesario investigación, diseño, desarrollo de nuevos productos, nuevos materiales, nuevos procesos para responder a las necesidades dinámicas del cliente, por lo que la gestión de mercadeo cambia, al igual que gestión de costos para ser competitivos. Toda la cadena de valor se vuelve circular, por lo que la gestión de la cadena de suministro debe modificarse, así como la gestión de la calidad y la gestión de materiales. Todo con lleva a tener un menor impacto ambiental, por lo que la gestión ambiental es más integral e implica cambios en la gestión de procesos, logística y gestión de operaciones y logística Inversa, (Barros et al., 2021).

Entonces, si las áreas del negocio se ven impactadas, esto genera la necesidad de cambio el plan de estudio de ingeniería industrial con el propósito de garantizar el diseño y optimización de procesos, sistemas y organizaciones cada vez complejos mediante el desarrollo, la mejora y la implementación de sistemas integrados. Pero la pregunta que surge es si, ¿se requiere un cambio puntual o transversal? Y más aún donde se tienen nuevos retos en la educación y se exige un aprendizaje más activo, inmerso y experiencial.

2. Estado del arte

En recientes años, algunos cambios tecnológicos en los dispositivos de Realidad Virtual-RV han permitido que los usuarios tengan una experiencia mucho más parecida a la realidad (Renganayagalu et al., 2021). Entre los cambios notables se encuentran las gafas de realidad virtual que hacen que el usuario se concentre en los estímulos visuales y se aisle del medio circundante. Los dispositivos adiciones como audífonos, guantes, chalecos e interfaces hápticas, que pueden llegar a ser hasta un traje completo (Hector, 2021), contribuyen a transmitir interacciones físicas con el medio ambiente simulado, es por esto, por lo que a menudo se refieren a una experiencia inmersiva. En la actualidad la RV puede mezclarse con la Realidad Aumentada RA, consistente en añadir información "adicional", como un texto o una imagen superpuesta a una escena que se está observado ya sea con un dispositivo móvil o con unas gafas un poco más convencionales que las de RV. La RA ha sido usada desde hace algún tiempo para entrenamiento técnico (Behringer et al., 2004).

Estas tecnologías ahora más accesibles se han abierto paso en la educación, dado que permiten que las personas tengan acceso ilimitado a practicar técnicas o métodos que son complejos y requieren alta repetición como procedimientos quirúrgicos o prácticas odontológicas, de igual manera se ha usado para poder realizar visitas a sitios cuyo acceso sea limitado. Adicionalmente han recibido la atención relacionada con la digitalización y uso de las metodologías remotas en la educación durante la pandemia del virus SARS-CoV-2. Aunque aún se requiere diversos estudios para determinar la bondad de esta técnica, se requiere definir criterios de evaluación y medición para poder establecer comparaciones con otras técnicas usadas para el aprendizaje (Hamilton et al., 2021). En este punto la RV se percibe como una herramienta que permite generar experiencias inmersivas que posibilitan el aprendizaje y permiten crear conocimiento. De acuerdo con (Hamilton, D. et. al, 2019), en su revisión de literatura acerca de la inmersión a través de la RV, anota que la mayoría de los artículos publicados (83%) hace referencia a evidenciar un aprendizaje de tipo cognitivo, esto es conocimiento declarativo, en segundo lugar, se ubicó el procedimental con el 7%



del total de artículos. En sus conclusiones afirma que a pesar de que muchas investigaciones no reportan beneficios con el uso de VR, tampoco se reportan detrimento en el aprendizaje, adicionalmente menciona que en aquellos que se enfocaban en problemas de complejidad alta en el aprendizaje se obtuvieron buenos resultados con el uso de VR. En (Fromm et al., 2021) se propone Pensamiento de Diseño como metodología centrada en los estudiantes y concluyen que los estudiantes apreciaron este cambio de metodología y potenciaba el uso de la RV como una herramienta experiencial holística.

El aprendizaje experiencial se relaciona con la teoría relacionada con “aprender haciendo”, referido convencionalmente al trabajo de Kolb (Radianti, et. al. 2020) y se puede describir como una secuencia de etapas experienciales, a partir de una experiencia concreta, de la observación, de la reflexión y de la conceptualización abstracta para probar conceptos en situaciones nuevas. Se entiende que el aprendizaje se debe a una experiencia personal del sujeto, por lo que el docente asume el papel del facilitador del proceso.

Para desarrollar nuevas habilidades (Fromm, J. et. Al. 2021), se concibe que el conocimiento es un resultado de la comprensión y de una experiencia transformadora. Este aprendizaje se basa en seis proposiciones: 1) el conocimiento no es un resultado sino un proceso, 2) El aprendizaje siempre involucra volver a aprender, 3) El aprendizaje se nutre de las diferencias, el sujeto aprende resolviendo conflictos, desacuerdos, 4) El aprendizaje es una adaptación al medio a través de la percepción sensorial y el pensamiento. 5) El aprendizaje resulta de asimilar nuevas experiencias a los conceptos ya formados, pero estos a su vez pueden ser transformados. 6) El conocimiento es creado entonces.

3. Cronología de la sostenibilidad hasta la Economía Circular

Al realizar un análisis conceptual y cronológico de la sostenibilidad hasta llegar a la EC, muchos cambios se han dado desde los años 50 hasta ahora, como se observa en la Figura 1. Se empieza con la capacidad de carga donde se determina como gestionar los recursos de acuerdo a la demanda presente y futura garantizando su disponibilidad a través del tiempo. La ecología industrial asociada a la gestión de la industria para evitar impactos negativos al ambiente y como trabajar conjuntamente en parques ecológicos. La gestión ambiental cuyo propósito es crear sistemas de gestión al interior de las organizaciones con la intención de realizar acciones que sean más amigables con el ambiente, esto impulsado con legislación ambiental específica de cada país y con estándares de certificación como ISO que evidencien resultados de los objetivos propuestos.



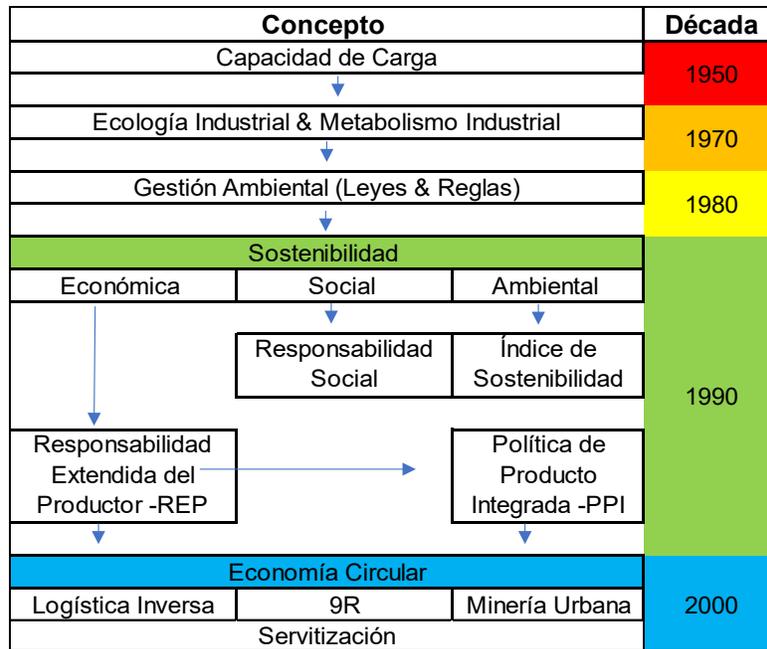


Figura 1. Análisis cronológico de la sostenibilidad hasta la EC.
Fuente: Adaptado de Xavier et al., 2019

En la década de los 90 se dio florecimiento a la sostenibilidad con sus tres pilares, económico, social y ambiental, lo cual implica generar de manera simultánea beneficios en dichos pilares. Es decir, a modo de ejemplo, al hacer aprovechamiento de una corriente de residuos como materia prima para un nuevo producto, esto permite la generación de un nuevo negocio que brinde rentabilidad económica, generación de empleo a nivel social y disminución de residuos asociado a que ahora se aprovecha, por lo tanto, una mejor gestión ambiental. Pero cada uno de esos pilares tiene instrumentos de política que han permitido su implementación global. La responsabilidad extendida del productor REP, la cual es un principio de política para promover mejoras ambientales del ciclo de vida total de los sistemas de productos (Lindhqvist, et al., 2008). Es decir, se concibió como un medio para incentivar el ecodiseño, pero las aplicaciones a nivel mundial se centraron en la recolección y el procesamiento del producto posconsumo, (Campbell-Johnston et al., 2021). La REP busca que el productor sea responsable del flujo económico y físico del producto en todo el ciclo de vida. De otro lado, a nivel social la herramienta que la soporta es la Responsabilidad Social Empresarial -RSE, la cual es el compromiso y acciones sociales que hacen las organizaciones para la comunidad. Donde los principales actores son los clientes, proveedores, colaboradores, accionistas, estado y comunidad. De otro lado, la perspectiva ambiental se apoya en índices de sostenibilidad, que no solo tiene objetivos e indicadores de bienestar ambientales, sino de bienestar social y económico (Franklin-Johnson, et al., 2016). Los cuales están alineados con los objetivos de desarrollo sostenible, los cuales son 17 objetivos globales que buscan proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todos y que está en la agenda de todos los países desde 2015 y por 15 años y además exige el trabajo colaborativo de los gobiernos, el sector privado, la sociedad y personas como nosotros. Otra herramienta ambiental es la política de producto integrada PPI, la cual pretende estimular a los diferentes actores involucrados en todas las fases del ciclo de vida del producto a conseguir la reducción del impacto medioambiental, impulsando especialmente la



producción y consumo de eco-productos o productos con bajo impacto ambiental. La cual empodera a los consumidores a tomar decisiones informadas en el momento de compra.

Desde el 2000 para acá han crecido las políticas, conceptos, herramientas e instrumentos que han impulsado la aplicación de la EC, destacándose herramientas como la logística inversa, las 9R, la minería urbana y la servitización entre otras. La logística inversa es el traslado de materiales desde el usuario o consumidor hacia el fabricante o hacia los puntos de recogida, para su reutilización, reciclado o eventualmente, su destrucción. Muchas veces para que dichos elementos se conviertan en insumos de nuevas cadenas de valor o que reciban un tratamiento específico en su disposición por ser elementos contaminantes. Las 9R, implican estrategias para uso y fabricación de productos más inteligentes, extender la vida útil del producto y sus partes y la aplicación útil de los materiales, impulsando acciones que permitan la innovación del diseño de sistema producto, la innovación en el modelo de ingresos y cambio socio-institucionales y realmente culturales que permitan el cambio de una economía lineal a una EC, esto como se especifican la definición de cada uno de las 9R en la Figura 2.

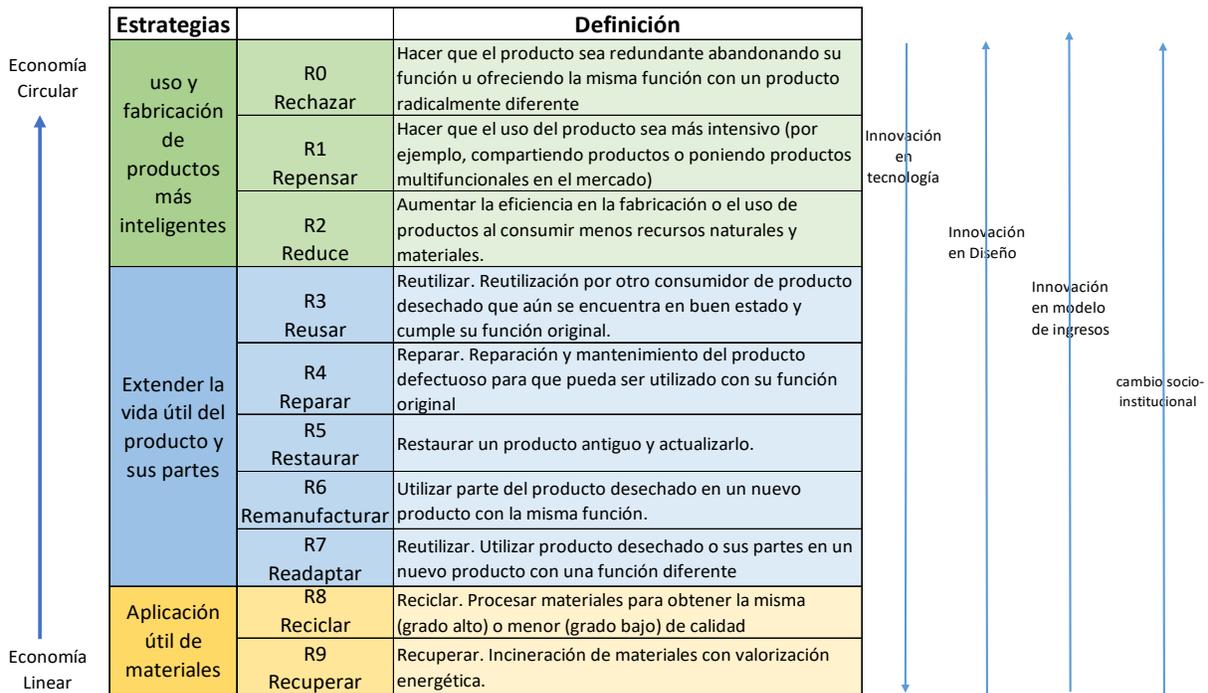


Figura 2. 9R. Fuente: Adaptado de Potting et al., 2017.

Así mismo la minería urbana ha sido una respuesta a la escasez de materiales críticos, ya que se extraen materiales de productos que han terminado su vida útil, en vez de extraerlos de la naturaleza. Implica el reciclado y la recuperación económica de materiales reciclables que tienen valor en el mercado y son alternativas para el abastecimiento de materiales de uso industrial, garantizando la seguridad de abastecimiento de materias primas a las organizaciones (Xavier et al., 2019). Por último, la servitización o sistema producto-servicio, la cual es un cambio del modelo de negocio tradicional, el cual está basado en el producto, a un modelo de venta de servicios. Es decir, ya no ofrecen un producto sino un servicio que satisfaga la necesidad del cliente. Ejemplo,



en vez de ofrecer un neumático, brindan el servicio de uso de neumáticos por kilómetros recorridos, lo que implica que la propiedad siempre es de la organización y por lo tanto la gestión de las diferentes etapas de ciclo de vida le corresponde a la organización que ofrece el servicio. Esto ha impulsado a que las empresas se sientan estimuladas a repensar y reinventar sus modelos de servicio para seguir siendo relevantes.

4. Áreas de negocio y plan de estudio impactados

Las áreas de negocio que se ven impactadas al implementar estos conceptos que se convierten en herramientas o estrategias de EC son muchas y diversas. El propósito de reconocer los cambios o influencia es para acelerarlos o propiciarlos a través del plan de estudios de ingeniería industrial y así responder a las necesidades del entorno y de las partes interesadas, específicamente de las empresas para que puedan ser más competitivas en un mercado global.

Según el análisis de casos estudiados, ver Tabla 1, muchas empresas que se han convertido en totalmente circulares, como Novelis, cuyo plan de implementación llevó 5 años e implicó una planeación estratégica rigurosa y planes específicos en diferentes áreas, dado que implica una nueva forma de cadena de suministro, garantizada por la logística inversa de sus propios productos al final de vida. Lo cual genera la necesidad de trazabilidad a través de sistemas de información robustos con una nueva gestión de costos y gestión de calidad. Esto permite obtener grandes resultados en la gestión ambiental, asegurar el suministro de materiales a largo plazo, los cuales cada vez son más escasos y críticos, dado que la oferta es inferior a la demanda global, evitando así la volatilidad de los precios y generando una empresa diferenciada en el mercado y por lo tanto más competitiva. La cual genera empleo y evita el uso de materiales naturales, por lo tanto, es más amigable con el ambiente al hacer un uso más eficiente de los recursos y generar menos residuos y emisiones, garantizando un mejor cumplimiento normativo. Entonces, las áreas de estudio impactadas son muchas en comparación a los conceptos aplicados, ya que para este caso se aplica la responsabilidad extendida del producto, la logística inversa y la minería urbana.

Tabla 1. Casos de estudio, concepto aplicados y áreas impactadas

Caso de Estudio	Conceptos Aplicados	Área de Estudio Impactada
Novelis , empresa más grande de aluminio laminado. Que trazo objetivo del 80% de materia prima será de material reciclado de 2011 a 2015. Fuente: https://www.novelis.com/	Responsabilidad Extendida del productor Logística Inversa Minería Urbana	Planeación Estratégica Gestión de Costos Gestión de la Cadena de suministro Gestión de la Calidad Gestión Ambiental Logística y Logística inversa
Mud Jeans es pionera en un modelo de arrendamiento de jeans. Recupera los jeans para reutilizarlos y reciclarlos por correo utilizando RePack. Fuente: https://mudjeans.eu/	Responsabilidad Extendida del productor Logística Inversa Servitización	Planeación Estratégica Gestión de Costos Gestión de la Cadena de suministro Gestión de la Calidad Gestión Ambiental Logística y Logística inversa
Michelin Solutions lanzó un modelo de negocio Fleet Tire Solutions. El cual es una tarifa de km recorrido vs compra de llanta	Servitización Responsabilidad Social 9R	Gestión de Calidad Gestión de Mercadeo Gestión de Procesos



<p>Fuente: https://www.michelin.com/en/activities/related-services/connected-services-and-solutions/</p>		<p>Gestión Ambiental Gestión de Operaciones</p>
<p>DSM con Niaga rediseño fabricación de alfombras considerando características del fin de su vida útil. La alfombra es 100% reciclable, sin compuestos orgánicos volátiles, ni PVC, betún y látex. Fuente: https://hollandcircularhotspot.nl/case/dsm-niaga-recyclable-carpets-technology/</p>	<p>Responsabilidad Social Índice de Sostenibilidad Responsabilidad Extendida del Productor 9R Logística Inversa</p>	<p>Gestión de Materiales Gestión de la Cadena de suministro Gestión de Costos Gestión de la Calidad Gestión Ambiental Logística y Logística inversa Gestión de Mercadeo Investigación diseño y desarrollo</p>
<p>Ecoalf Proyecto "Upcycling the Oceans". En 2016 recuperaron más de 180 toneladas de residuos del mediterráneo. Con las cuales a través de la polimerización crean filamento continuo y producen telas. Fuente: https://ecoalf.com/</p>	<p>Responsabilidad social Índice de Sostenibilidad 9R</p>	<p>Gestión de Materiales Gestión de Operaciones Gestión Ambiental Gestión de Costos</p>
<p>Iskraemeco d.d creo medidor de energía justo como respuesta a condiciones de trabajo, uso de materiales de conflicto (3TG), escasez de materiales, desechos electrónicos y eficiencia. Fuente: https://www.iskraemeco.com/en/</p>	<p>Política de Producto Integrada Responsabilidad Extendida del productor 9R Logística Inversa Minería Urbana</p>	<p>Planeación Estratégica Gestión de Costos Gestión de la Cadena de suministro Gestión de la Calidad Gestión Ambiental Logística y Logística inversa</p>
<p>Unilever. Redujo el consumo de agua por creación de fórmula concentrada que rinde 2,5 veces. Los envases plásticos serán totalmente reutilizables, reciclables o compostables para 2025. Además, el envase actual tiene 40% menos de plástico y son con 50% de PET reciclado de posconsumo. Fuente: https://www.unilever.com/</p>	<p>Responsabilidad Social Índice de Sostenibilidad Responsabilidad Extendida del Productor 9R Logística Inversa</p>	<p>Gestión de Materiales Gestión de la Cadena de suministro Gestión de Costos Gestión de la Calidad Gestión Ambiental Logística y Logística inversa Gestión de Mercadeo</p>
<p>Canon, Renault, Philips. Recuperación de partes para introducirlos a nuevos productos con la misma garantía Fuente: https://global.canon/en/ https://www.renaultgroup.com/en/ https://www.philips.com.co/a-w/about-philips/sostenibilidad.html</p>	<p>Índice de Sostenibilidad Responsabilidad Extendida del Productor 9R Logística Inversa</p>	<p>Gestión de la Calidad Gestión Ambiental Logística y Logística inversa Gestión de Mercadeo Gestión de Materiales Gestión de Costos</p>
<p>Enterra Feed Corporation Modelo de Colaboración entre involucrados estatales y privados. Investigación sobre larvas de la mosca soldado negra para convertir los productos alimenticios reciclados en ingredientes de materia prima de comida para pescado y aves de corral Fuente: https://enterra.com/</p>	<p>Responsabilidad Social Índice de Sostenibilidad 9R</p>	<p>Planeación Estratégica Gestión de Costos Gestión de la Cadena de suministro Gestión de la Calidad Gestión Ambiental Logística y Logística inversa Gestión de Operaciones</p>

Fuente: Los autores

Todos los casos presentados en la Tabla 1 contribuyen y son evidencia del impacto que tiene la implementación de las estrategias de EC y en cada uno de ellos está el enlace que permite profundizar en el mismo, si despierta interés. Destacando otro caso, DSM con Niaga, empresa que a



través de investigación diseño y desarrollo realizó rediseño o mejor dicho un ecodiseño de la alfombra, con el propósito que fuera 100% reciclable, y por lo tanto, libre de compuestos orgánicos volátiles, PVC, betún y látex. Esto a partir del estudio de características del fin de su vida útil. Por lo que las áreas que se impactaron son la gestión de materiales tanto por el desarrollo de nuevos materiales o la consecución de proveedores que desarrollaron y brindaron las materias primas de acuerdo a las nuevas especificaciones, lo implica cambios en la cadena de suministro. Una vez desarrollado el producto con las nuevas características involucra una gestión de mercado para identificar el nicho de mercado; gestión de la calidad para determinar los parámetros y requisitos del producto en las diferentes etapas y trazabilidad y logística inversa para retornar el producto a las instalaciones una vez terminada su vida útil. Lo anterior garantiza el suministro de materiales que se reciclan y la garantía de abastecimiento a largo plazo, una mejor gestión de los costos y un menor impacto ambiental por uso de subproductos, menor demanda de nuevas materias primas, menor generación de residuos peligrosos que implican procesos especiales de disposición y por lo tanto menores externalidades al ambiente. Además, mejora la reputación de la organización en el mercado y logra mayor valorización de sus acciones. Siendo el pilar de dichos cambios la innovación en el producto, el sistema producto y en toda la organización.

5. Discusión

La aplicación de los conceptos que conlleva a la EC es universal, para todo tipo de empresas, grandes, medianas, pequeñas o microempresa, nacionales o multinacionales, de manufactura o servicio, públicas o privadas. Es un llamado a la competitividad y sostenibilidad dado que deben generarse resultados paralelos a nivel económico, ambiental y social.

El cambio impacta de forma transversal a todas las áreas de negocio de la organización, por lo que la formación del ingeniero industrial debe transformarse, dinamizarse en dichas áreas, para que se propicie innovación en las organizaciones. Dado que no se impacta una sola área sino varias, por no decir que todas, entonces el cambio debe ser transversal, lo que acrecienta la necesidad de desarrollar competencias asociadas a la innovación como son el pensamiento analítico, interpretativo y crítico. Así como la capacidad de interacción, comunicación trabajo en equipo, compromiso solidario y en la responsabilidad social, apoyada en el conocimiento de la realidad y la identificación de sus problemas y soluciones. Esto basado en el liderazgo para que sea capaz de hacer realidad la transformación que se requiere a través de la presentación de modelos, simulaciones, análisis de los beneficios del cambio, para la toma de decisiones y realización de planes de trabajo. El ingeniero industrial al diseñar y mejorar sistemas integrados y cada vez más complejos tiene todas las herramientas para ser el líder de la transformación de la economía lineal a una EC.

De acuerdo con (Hamilton, D. et. al, 2019), el aprendizaje de inmersión es contribuye tanto al aprendizaje cognitivo que permitan a través del análisis y la autonomía para cotejar nueva información y nuevas experiencias con el fin de reforzar los conceptos asociados a la EC, con el propósito de identificarlo en las empresas que han implementado dichos conceptos, buscando reconocer hechos, datos, formas de aplicación de cada concepto y determinar los elementos comunes y diferenciadores de los diferentes conceptos.



El aprendizaje experiencial que permite “aprender haciendo” para probar conceptos en situaciones nuevas, (Radianti, et. al. 2020) implica seleccionar una empresa en el contexto cercano, para aplicar las estrategias de EC y estudiar el referente, los cuales podrían estar en los casos presentados, dado que dichas empresas ya han realizado la implementación, se pueden evidenciar resultados y lecciones aprendidas. Entonces el objeto es que el estudiante pueda establecer un plan de trabajo detallado de lo que debería hacer en la empresa seleccionada para la implementación de los conceptos y diferentes herramientas, determinando los resultados e indicadores de resultado en cada etapa. Y de igual forma, contemplando cuales podrían ser las posibles desviaciones y realizar diagramas de contingencias o análisis de riesgos de continuidad de negocio para contrarrestar las posibles desviaciones. Esto le permitirá recorrer las 6 proposiciones que expone (Fromm, J. et. Al. 2021), El resultado del plan de implementación y plan de contingencia debería ser presentado por el estudiante a las directivas de la empresa seleccionada, que determinarán si el plan de trabajo es aprobado para realizar un estudio más detallado a través de la práctica profesional o el trabajo dirigido para obtención de énfasis o trabajo de grado.

6. Conclusiones

Se requieren cambios transversales desde diferentes áreas del plan de estudios del ingeniero industrial para responder a las tendencias globales de la EC, que se acompañen con un aprendizaje activo para garantizar un aprendizaje verdaderamente inmersivo y experiencial. Mientras un aprendizaje privilegia lo cognitivo, el otro permite aprender haciendo, tomando referentes existentes y desarrollando planes de trabajo y contingencia para alcanzar objetivos específicos en las organizaciones seleccionadas. Lo cual dinamizara la relación universidad empresa y permitirá aportar para que las empresas sean más competitivas a nivel global.

7. Referencias

- Barros, M. V., Salvador, R., do Prado, G. F., de Francisco, A. C., & Piekarski, C. M. (2021). Circular economy as a driver to sustainable businesses. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100006. doi:10.1016/j.cesys.2020.100006
- Behringer, Reinhold & Discenzo, Fred & Chung, Derek & Carnahan, Dave & Chen, Steven & Sundareswaran, Venkataraman & Wang, Kenneth & Molineros, Jose & McGee, Joshua. (2004). Augmented Reality Supports Real-time Diagnosis and Repair of Complex Shipboard Systems. *IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems*
- Campbell-Johnston, K., Munck, M., Vermeulen, W. J. V., & Backes, C. (2021). Future perspectives on the role of extended producer responsibility within a circular economy: A Delphi study using the case of the Netherlands. *Business Strategy and the Environment*. doi:10.1002/bse.2856
- Ellen Macarthur Foundation, 2012. The Circular Economy System Diagram. Retrieved of: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/interactive-diagram>
- EU, 2016. Closing the loop. New circular economy package. Retrieved of: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI\(2016\)573899_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI(2016)573899_EN.pdf)
- Eurostat, (2019). Circular economy – Overview. Retrieved of: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy>
- Franklin-Johnson, E., Figge, F., Canning, L. 2016. Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance, *Journal of Cleaner Production*, 133, 589-598.



- Fromm, J. Radianti, J., Wehking, C., Stieglitz, S., Majchrzak, T., Brocke, J. (2021). More than experience? - On the unique opportunities of virtual reality to afford a holistic experiential learning cycle. *The Internet and Higher Education*, Volume 50, 100804, ISSN 1096-7516, <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2021.100804>.
- Geisendorf, S., Pietrulla, F., 2017. The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 2017, 1–12.
- Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E. et al. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *J. Comput. Educ.* 8, 1–32. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
- Hector H. (2021) . A fully immersive VR haptic suit is going on sale, but you won't get one soon. *Techradar*. <https://www.techradar.com/news/a-fully-immersive-vr-haptic-suit-is-going-on-sale-but-you-wont-get-one-soon>.
- Kirchherr J., Piscicelli L. (2019). Towards an Education for the Circular Economy (ECE): Five Teaching Principles and a Case Study. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 150, 104406, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104406>.
- Lindhqvist, T., Manomaivibool, P., & Tojo, N. (2008). La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano. Recuperado de <http://www.greenpeace.org/raw/content/argentina/contaminacion/basta-de-basura/la-responsabilidad-extendida-d.pdf>.
- MADS- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019. Estrategia Nacional de Economía Circular. Disponible: <http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf> 637176135049017259.pdf
- OECD, 2014. Global Forum on Environment: Promoting Sustainable Materials Management through Extended Producer Responsibility (EPR). Tokyo, Japan. Retrieved: <http://www.oecd.org/environment/waste/Global%20Forum%20Tokyo%20Issues%20Paper%2030-5-2014.pdf>
- Pauliuk, S. 2018. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 81-92
- Radianti, J., Majchrzak, T., Fromm, J. Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda, *Computers & Education*, Volume 147, 103778, ISSN 0360-1315, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
- Renganayagalu, S.k., Mallam, S.C. & Nazir, S. (2021). Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review. *Tech Know Learn* 26, 999–1041. <https://doi.org/10.1007/s10758-020-09489-9>
- Potting et al., 2017. Circular economy: measuring innovation in the product chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Disponible: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>
- Trentsios, P., Wolf, M., Frerich, S. (2020). Remote Lab meets Virtual Reality – Enabling immersive access to high tech laboratories from afar. *Procedia Manufacturing*, Volume 43, Pages 25-31, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.104>.
- Xavier, L. H., Giese, E. C., Ribeiro-Duthie, A. C., & Lins, F. A. F. (2019). Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. *Resources Policy*, 101467. doi:10.1016/j.resourpol.2019.1014



8. Sobre los autores

- **Luz Angélica Rodríguez Bello**, Ingeniera Industrial, Especialista en Informática Industrial, Especialista en Aseguramiento de la Calidad, MSc Environmental Management and Policy, PhD candidate Industrial Ecology and Sustainability. Profesora Asociada. Investigadora Asociada Colciencias. Angelica.rodriguez@escuelaing.edu.co
- **Enrique Estupiñán Escalante**, Ingeniero Electricista, Master en Control Automático, MSc Communications Technology. Profesor Asociado. Enrique.estupinan@escuelaing.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

