



## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR 4.0

Xiomara Daniela Velásquez Monroy

[xiomara.velasquez@ica.gov.co](mailto:xiomara.velasquez@ica.gov.co)

Dirección Técnica de Asuntos Internacionales

Instituto Colombiano Agropecuario, ICA

La Economía Circular (EC) representa una alternativa a los modelos económicos actuales destinados a la extracción, uso y disposición de recursos a través de enfoques de ciclo cerrado, regenerativos y compartidos para maximizar la eficiencia. La EC puede entenderse como un modelo económico en el que se planifica la adquisición de recursos, se diseña y se gestiona el proceso de producción, almacenamiento y distribución (flujo logístico directo) y, el proceso de planificación, implementación y control de los flujos de materiales y productos devueltos desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar su valor y/o de eliminarlos de forma adecuada (flujo logístico inverso). Al ser una economía industrial restaurativa y regenerativa, la EC tiene como objeto preservar la usabilidad y el valor de los productos terminados, componentes y materias primas en todo momento; transforma el proceso de la cadena de valor lineal hacia adelante (tomar, fabricar y desechar) en la cadena de suministro mediante la introducción de procesos de recuperación, remarketing, reutilización, refabricación y reciclaje, convirtiéndose así en una opción prometedora para concebir el desarrollo sostenible. Esto, con el objeto de maximizar el funcionamiento del ecosistema.

El actual proceso de producción de Economía Lineal (EL) basado en el modelo “Tomar-Hacer-Desechar” consume y extingue de manera irreversible los recursos naturales, lo que ha llevado a las empresas y organizaciones a adoptar compromisos estratégicos de sustentabilidad y repensar sus modelos de negocios lineales. Se debe maximizar el uso de recursos a través de la reutilización de materiales, lo que implica establecer una Cadena de Suministro Sostenible (CSS), como modelo económico basado en los principios de regeneración y restauración, la EC es una alternativa viable para concebir el desarrollo sostenible. La necesidad de reutilizar residuos y productos contribuye al desarrollo del concepto de EC.

De hecho, la EC, es conocida como economía libre de residuos, pues permite conservar el valor añadido de los productos durante el mayor tiempo posible y ayuda a minimizar la cantidad de residuos. Cuando el ciclo de vida del producto llega a su fin, los recursos en la cadena de valor se conservan, lo que les permite ser reutilizados muchas veces de forma productiva, creando así otro valor. La transición a una EC requiere tanto la introducción de cambios en las empresas y organizaciones en todas las etapas de la cadena de suministro como la orientación hacia un nuevo comportamiento del consumidor. Por tanto, poner en práctica la EC requiere de la implementación de modelos de negocio circulares y sostenibles. Estos modelos incorporan elementos que cierran, estrechan, ralentizan e intensifican los ciclos de los recursos naturales, haciendo que se minimice la entrada de recursos y la salida de residuos y emisiones fuera del sistema organizacional y, en consecuencia, mejore el desempeño logístico-sostenible. En este escenario, las tecnologías disruptivas de la Industria 4.0 (I4.0) ofrecen inmensas oportunidades para la implementación de una producción más sostenible. La I4.0 abarca varias tecnologías, procedimientos y sistemas digitales para hacer que el proceso de producción sea más personalizado y autónomo y lograr un mejor rendimiento operativo; juega un papel importante en las cadenas globales de valor y en la transformación de los procesos de producción integrados en estas.

La I4.0 tiene la capacidad de generar productos, servicios y procesos inteligentes utilizando tecnologías digitales como Internet de las Cosas (IoT), sistemas ciberfísicos, fabricación en la nube, Big Data y Blockchain, entre otros. El IoT representa la conexión virtual entre varios dispositivos electrónicos, sistemas y plataformas, permitiendo la recolección de datos más asertiva; los dispositivos pueden recopilar, transmitir y recibir datos.

La tecnología Internet de las Cosas (IoT), permite a las empresas ser más eficientes en el consumo de materiales, obteniendo reducciones principalmente porque ha permitido tener un mayor control sobre las operaciones de producción, reduciendo así el porcentaje de productos defectuosos y alargando la vida útil de los recursos productivos. En este sentido, Internet de las Cosas (IoT), ayuda a mejorar el rendimiento de nuevos productos porque permite la interconectividad entre diferentes dispositivos, brindando soluciones de servicio novedosas. Dos tecnologías importantes que potencian la red Internet de las Cosas (IoT), es la identificación por radiofrecuencia (RFID) y las redes



de sensores inalámbricos (WSN). IoT se ha utilizado ampliamente en la industria manufacturera y en otros campos diferentes, como las ciudades inteligentes y la atención médica. Como Internet de las Cosas (IoT) permite el intercambio de información entre varios dispositivos, genera una gran cantidad de datos que se conoce como Big Data. El concepto de Big Data es el uso de cantidades masivas de datos para respaldar diferentes tipos de toma de decisiones. El análisis de Big Data puede generar varios beneficios a las organizaciones. En India, por ejemplo, una empresa está aplicando el análisis de Big Data para impulsar la calidad y disminuir los costos en el proceso de fabricación, y también mejorar el nivel de satisfacción del cliente. En efecto, Big Data promueve la simbiosis industrial, pues los datos operativos corporativos al divulgarse a lo largo de la cadena de suministro, con datos adecuados en un sistema altamente integrado, puede mitigar las interrupciones.

Así, los sistemas ciberfísicos integran las máquinas e instalaciones físicas al mundo cibernético de las aplicaciones de Internet, mientras que la fabricación en la nube se refiere a una red virtual avanzada respaldada por la computación en la nube y tecnologías orientadas a servicios, que transforma los recursos de fabricación en servicios que se puede acceder a pedido en tiempo real. La inteligencia cibernética puede abordar de manera efectiva muchos de los desafíos de las operaciones de remanufactura a través de la fabricación inteligente, utilizando datos de ciclo de vida inteligente y servicios inteligentes. De igual manera, la clasificación de desechos por medio de la tecnología disruptiva I4.0 de robótica se ha implementado para materiales de desecho seleccionados. Siendo necesario considerar la detección de material a través de sensores y un conjunto de datos con información específica del material. Además, existen casos en los que los robots permiten que los procesos productivos locales sean competitivos porque se reduce el costo de la mano de obra directa.

En efecto, las tecnologías disruptivas de la I4.0 permiten monitorear cada proceso o producto en tiempo real, brindando una mejor comprensión de los impactos ambientales y ayudando, a rastrear la huella de carbono de los productos, monitorear y administrar las emisiones de gases y contaminantes del aire, brindando información para la toma de decisiones más precisas e inmediatas; permite gestionar y alinear procesos dentro de una empresa y a lo largo de toda la cadena de suministro. Con el enfoque integrado y conectado proporcionado por las tecnologías de la I4.0, es posible mejorar la eficiencia, la eficacia y la flexibilidad de las operaciones, incluidos los aspectos de sostenibilidad; ofrecen inmenso potencial para una producción más sostenible, y así contribuir al desarrollo de una EC en el contexto de la cadena de suministro; brinda aspectos favorables para reforzar estrategias circulares como la remanufactura, el reciclaje, la capacidad de mantener y extender el ciclo de vida y el valor de los productos; contribuye a la sostenibilidad a través del Internet de las Cosas (IoT) al recuperar información en tiempo real, ayudar a mejorar la recopilación de datos y compartir el consumo de recursos y el desperdicio de materiales; brinda la base para identificar fallas y errores para optimizar las devoluciones y desechos y, controlar el desempeño operativo de la CSS. Mediante el uso de Internet de las Cosas (IoT) y Big Data es posible mejorar el diseño del producto, alargando su vida útil y cerrando el ciclo; mejorando las actividades de marketing atrayendo a los segmentos de clientes objetivo, logrando así una mayor difusión de las prácticas de EC; permite el seguimiento del flujo logístico directo e inverso de los productos; refuerza la prestación de soporte técnico y permite el mantenimiento preventivo y predictivo, alargando la vida útil del producto; optimiza el uso del producto, aumenta así la eficiencia de los recursos; mejora la actualización de productos, y mejorar la ejecución de actividades de refabricación y reciclaje.

Por tanto, el diseño circular de la CSS se puede adaptar en función de los datos proporcionados a través de la tecnología de computación en la nube y de Internet de las Cosas (IoT), lo que contribuye a la toma de decisiones de gestión de operaciones sostenibles y a la creación de nuevos modelos de negocio a través de la integración de cadenas de valor y la recopilación y el intercambio de datos. En consecuencia, la toma de decisiones de gestión de operaciones sostenibles contribuyen a implementar los principios de la EC con la I4.0. Big Data tiene gran potencial para proporcionar evaluaciones de impacto ambiental mucho más precisas para la EC, brindan una mejor comprensión de los impactos ambientales de los socios de la cadena de suministro y pueden usarse para monitorear las emisiones de gases y los contaminantes del aire; estos datos deben compartirse y transferirse a través de todos los niveles de la cadena de suministro, lo que puede ser facilitado Internet de las Cosas (IoT) y Blockchain.

En cuanto a la tecnología disruptiva Blockchain, es una base de datos distribuida de registros de eventos que han sido ejecutados digitalmente y compartidos entre los agentes participantes de Blockchain; tiene las características de siendo



distribuido, en línea y público. Así, los datos se guardan de forma compartida y segura en una red “Peer-to-Peer”. La cadena de bloques ha demostrado su potencial para transformar diferentes negocios y organizaciones, especialmente cuando se integra con otras tecnologías como Internet de las Cosas (IoT) y Big Data. Así, se está utilizando la tecnología Blockchain para promover la resiliencia, la escalabilidad, la seguridad y la autonomía. Además, la cadena de bloques es capaz de almacenar de manera confiable la comunicación de sensores y dispositivos inteligentes dentro de la red de Internet de las Cosas (IoT). De igual forma, la tecnología Blockchain ayuda a rastrear los productos y su huella de carbono. La trazabilidad que permite la cadena de bloques ayuda a rastrear productos deficientes y desechos de producción e identificar transacciones adicionales para ellos, lo que hace posible disminuir el consumo de recursos y también reducir las emisiones de gases efecto invernadero.

En cuanto a la huella de carbono de los productos, la trazabilidad de la cadena de bloques facilita la determinación del monto del impuesto al carbono que debe pagar una organización. Al ayudar a mapear y aplicar estrategias bajas en carbono, incluido el diseño, la producción y el transporte de productos a lo largo de la cadena de suministro, la tecnología Blockchain ayuda a reducir las emisiones de carbono en todo el ciclo de vida de los productos. Otra aplicación de Blockchain está relacionada con el comercio de activos de carbono. Un ejemplo es la plataforma basada en Blockchain de activos verdes desarrollada por IBM y Energy Blockchain Labs Inc; ayuda a las empresas a rastrear y medir su huella de carbono, cumplir con las cuotas de reducción de emisiones de carbono y facilitar el desarrollo y el comercio de activos de carbono. Además, la transparencia proporcionada por la tecnología Blockchain ayuda a evitar el fraude en los esquemas de comercio de emisiones, y mejora significativamente la medida de cumplimiento del esquema de comercio de emisiones. Blockchain permite el seguimiento y la comparación de los impactos de los programas de reciclaje, lo que ayuda en las prácticas de circuito cerrado en una EC; un sistema de producción de circuito cerrado se ocupa de reducir el consumo de materiales, reutilizar los productos y servicios, y reciclar los productos de desecho. Las tecnologías de cadena de bloques ayudan a mitigar el cambio climático a través de evaluaciones del ciclo de vida del producto para una EC.

De igual manera, Internet de las Cosas (IoT) y los sensores avanzados de los sistemas físicos cibernéticos también ayudan a mitigar el cambio climático. Por ejemplo, se ha desarrollado un modelo para la recuperación y reducción económica de carbono a través de la conexión de proveedores y la selección de piezas de desmontaje; para optimizar la recolección de residuos y la recuperación de valor en áreas urbanas planificadas por la EC, diseñadas como ciudades inteligentes. En los procesos de fabricación y las instalaciones de las empresas, la conectividad habilitada por Internet de las Cosas (IoT) ayuda a monitorear y optimizar el ahorro de materiales, de energía, agua y demás consumo de recursos. Además, el uso de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) puede promover la simbiosis industrial a través del aumento de las tasas de uso compartido y reutilización de componentes, también permite la recolección de desechos o el flujo logístico inverso de materiales y productos. Esto, con el objeto de reciclar materiales. Estas aplicaciones de las Cosas (IoT) en un entorno industrial ayudan a evitar el agotamiento de los recursos naturales y reducen la contaminación del medio ambiente.

Finalmente, los beneficios potenciales de integrar información y tecnologías disruptivas de la I4.0 sobre la composición de las materias primas incluyen una mayor comprensión de los riesgos del producto y del negocio, la posibilidad de realizar evaluaciones del ciclo de vida en tiempo real y, por tanto, mejora los procesos de evaluación y mejora continua en el diseño del producto. De esta manera, tecnologías disruptivas de la I4.0, como los sistemas de información ayudan a implementar la EC, ya que brindan la base para impulsar la transición de una economía lineal a una EC, lo que permite la creación de nuevos modelos de negocios circulares; el punto de conexión entre EC (sistema de producción restaurativo que tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor) y la I4.0 implica decisiones de gestión de operaciones sostenibles como la gestión sostenible de la cadena de suministro, desde la recuperación de información en tiempo real, ayudando a mejorar la recopilación de datos y compartiendo el consumo de recursos y evitando el desperdicio de materiales, hasta la identificación de fallas y errores para optimizar y controlar el rendimiento operativo de la cadena de suministro. Por tanto, la I4.0 contribuye a mejorar el desempeño de la empresa e implementar prácticas de producción sostenibles, mejorando en consecuencia la integración y coordinación de la empresa en la cadena de suministro. Así, los beneficios involucran no solo aspectos ambientales sino también económicos y sociales. Por tanto, las tecnologías relacionadas con la I4.0 tienen un papel fundamental para abordar los problemas del cambio climático, contribuyendo al camino **Hacia Una Economía Circular**.



## Cibergrafía

- Amine Belhadi, Sachin S. Kamble, Charbel Jose Chiappetta Jabbour, Venkatesh Mani, Syed Abdul Rehman Khan & Fatima Ezahra Touriki. (2022). A Self-Assessment Tool for Evaluating the Integration of Circular Economy and Industry 4.0 Principles in Closed-Loop Supply Chains, *International Journal of Production Economics*, Volume 245, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108372>
- Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, Charbel Jose Chiappetta Jabbour, Tsan-Ming Choi, & Hengky Latan. (2022). 'Better together': Evidence on The Joint Adoption of Circular Economy and Industry 4.0 Technologies, *International Journal of Production Economics*, Volume 252, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108581>
- Anouar Hallioui, Brahim Herrou, Ricardo S. Santos, Polinpapilinho F. Katina & Ona Egbue. (2022). Systems-Based Approach to Contemporary Business Management: An Enabler of Business Sustainability in A Context of Industry 4.0, Circular Economy, Competitiveness and Diverse Stakeholders, *Journal of Cleaner Production*, Volume 373, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133819>
- Emilia Taddei, Claudio Sassanelli, Paolo Rosa & Sergio Terzi. (2022). Circular Supply Chains in The Era of Industry 4.0: A Systematic Literature Review, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 170, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108268>
- K. Aravindaraj & P. Rajan Chinna. (2022). A Systematic Literature Review of Integration of Industry 4.0 And Warehouse Management to Achieve Sustainable Development Goals (SDGs), *Cleaner Logistics and Supply Chain*, Volume 5, <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100072>
- Yuk Ming Tang, Ka Yin Chau, Arooj Fatima & Muhammad Waqas. (2022). Industry 4.0 Technology and Circular Economy Practices: Business Management Strategies for Environmental Sustainability. *Environ Sci Pollut Res* 29, 49752–49769 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19081-6>