

Industria 4.0 y economía circular: revisión de la literatura y recomendaciones para una industria sustentable en Ecuador

Miguel Santiago Andrango Alobuela

msandrango@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador - Ecuador

Flavio Roberto Arroyo Morocho

frarroyo@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador - Ecuador

RESUMEN

La industria 4.0 y la economía circular son las dos áreas principales de la industria manufacturera actual. La adopción e implementación de la Industria 4.0 y la economía circular en todo el mundo aún se encuentran en una etapa incipiente de desarrollo. Para abordar esta brecha, el propósito de este artículo es realizar una revisión sistemática de la literatura sobre la integración de la Industria 4.0 y la economía circular. Las revisiones de artículos indicaron que hay muy pocos estudios sobre la integración de la Industria 4.0 y la economía circular. Las tecnologías de la Industria 4.0, incluida la digitalización, el monitoreo en tiempo real y las capacidades de toma de decisiones, juegan un papel importante en la implementación de la economía circular.

El estudio reveló que pocos países en desarrollo han tomado iniciativas preliminares hacia la implementación de dichas áreas. La industria ecuatoriana se encuentra en vías de desarrollo y no tiene experiencia en la implementación de tecnologías relacionadas a la industria 4.0, en cuanto a la economía circular, no se tiene normalizado a nivel de políticas públicas, aunque Ecuador en su Constitución dispone de normas y políticas que defienden a la naturaleza o Pachamama como sujeto de protección.

Palabras clave: industria 4.0; economía circular; sustentabilidad; Ecuador

Industry 4.0 and circular economy: literature review and recommendations for a sustainable industry in Ecuador

ABSTRACT

Industry 4.0 and the circular economy are the two main areas of today's manufacturing industry. The adoption and implementation of Industry 4.0 and the circular economy around the world are still in an incipient stage of development. To address this gap, the purpose of this article is to conduct a systematic review of the literature on the integration of Industry 4.0 and the circular economy. Article reviews indicated that there are very few studies on integrating Industry 4.0 and the circular economy. Industry 4.0 technologies, including digitization, real-time monitoring, and decision-making capabilities, play an important role in implementing the circular economy.

The study revealed that few developing countries have taken preliminary initiatives towards the implementation of these areas. The Ecuadorian industry is under development and does not have experience in the implementation of technologies related to industry 4.0, as for the circular economy, it is not standardized at the public policy level, although Ecuador in its Constitution has regulations and policies that defend nature or Pachamama as a subject of protection.

Keywords: industry 4.0; circular economy; sustainable; Ecuador

Artículo recibido: 15 noviembre. 2021

Aceptado para publicación: 10 diciembre 2021

Correspondencia: msandrango@uce.edu.ec

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone una visión vinculante mediante consulta bibliográfica entre la industria 4.0 con la denominada economía circular para un desarrollo sustentable de la industria ecuatoriana. A nivel mundial la industria de Japón, Corea del Sur, Alemania, Suiza y China llevan avances significativos debido a la implementación de la industria 4.0 generando un sesgo en la calidad, en la cantidad y en la eficiencia de producción de las industrias emergentes como lo es la ecuatoriana, como lo menciona Álvarez en su artículo “La implementación de la industria 4.0 a nivel mundial avanza a diferente velocidad que las industrias emergentes, la migración a la industria inteligente se realiza con las restricciones de la infraestructura existente y capacidad tecnológica instalada, de aquí parte la brecha que complica la adopción de la industria 4.0. Específicamente, en Ecuador todavía no es visible una política pública o el interés privado para dar ese salto a la nueva revolución industrial.”(Alvarez & Arroyo, 2021). A la vez que se deben repensar los paradigmas en el Ecuador, se debe considerar todos los factores a favor y en contra tal y como lo menciona Halse en su análisis, “La industria manufacturera tiene que soportar una competencia cada vez mayor que requiere la personalización de los productos, un tiempo de comercialización más corto y una transición hacia operaciones y productos más sostenibles. Aprovechando las ventajas de las nuevas tecnologías dentro del concepto de Industria 4.0 se considera un factor importante para mantener competitividad respondiendo al desafío de la sostenibilidad”.(Halse & Jæger, 2019)

El incremento del nivel de producción genera un aumento desmedido del uso de recursos ambientales y energéticos que, según Lieder, “La relación entre la industria y el medio ambiente es fundamental para desempeño industrial. Los impactos ambientales han aumentado gradualmente la presión sobre las empresas industriales.” (Lieder & Rashid, 2016). Razón por la cual, pensar en implementar la industria 4.0 en Ecuador debe venir de la mano de la economía circular, uso de energías renovables, políticas públicas que estén enfocadas en desarrollar de manera sostenible la industria local con una producción más limpia, a la vez que se sigue a la par con iniciativas internacionales como la agenda de las Naciones Unidas y sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para el 2030; Este modelo revoluciona la visión del desarrollo, alejándose del escenario actual donde, los sectores sociales, económicos y ecológicos se ven como partes separadas. Este enfoque

propone la transición hacia una economía que sirva a la sociedad, sin dejar de proteger el medio ambiente (Dantas & De-Souza, 2021).

De acuerdo con Lieder, para implementar un marco de trabajo de la economía circular, se debe evaluar “la escasez de recursos, impacto ambiental, reducción residuos sólidos, vertederos y emisiones a través de actividades como reutilización, remanufactura y / o reciclaje y finalmente beneficios económicos que aseguran la rentabilidad y una ventaja competitiva, con esto se cubren objetivos tanto a corto como a largo plazo”(Lieder & Rashid, 2016). Con las estrategias planteadas a nivel mundial, con un lineamiento claro se debe ajustar los esfuerzos al desarrollo local de la industria con una visión de sustentabilidad siguiendo el marco de referencia y las claves enfocadas a la industria indicada por Axon en su artículo “la protección del medio ambiente a través de la prevención de la contaminación, tecnologías de reducción de gases de efecto invernadero; salud y bienestar humano a través de dispositivos médicos, componentes y productos farmacéuticos; el uso eficiente de los recursos naturales mediante el uso de materias primas renovables, aplicación de catálisis y experiencia en reutilización, reciclaje y refinado de metales valiosos”(Axon & James, 2018).

2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

Para el desarrollo del presente artículo se propone obtener esta información de diversas fuentes como, por ejemplo, revistas, artículos científicos, libros, y otros trabajos académicos para identificar la relación entre la industria 4.0 (I4.0) con la economía circular (EC), con un enfoque de desarrollo sustentable de la industria ecuatoriana. Las bases de datos fueron seleccionadas para la revisión ya que incluyen una lista exhaustiva de revistas relevantes para este estudio obtenidas desde Scopus(www.scopus.com), Web of Science(www.clarivate.com), ProQuest(www.proquest.com), motor de búsqueda Google Scholar (www.scholar.google.com), los artículos citados corresponden a editoriales como Elsevier(www.sciencedirect.com), Emerald(www.emeraldinsight.com) y Springer(www.springerlink.com). En el paso siguiente, la búsqueda de artículos se asignó inductivamente a la categorización de I4.0 y EC, es decir, “Transición e integración”, “Adopción e implementación” y “Desafíos actuales”. Los artículos seleccionados también han cubierto numerosos tipos de disciplinas interrelacionadas, incluida la gestión empresarial y de la información, la gestión de operaciones y producción, la economía industrial y la gestión medioambiental.

En su estudio Gupta, identifica tres ejes como lo son la Industria 4.0, producción sustentable y economía circular para el desarrollo empresarial ético y sostenible de organizaciones manufactureras en un contexto de economía emergente. (Gupta & Kumar, 2021). Por lo que, a continuación, se introducen de manera conceptual las principales características de los tres ejes antes mencionados.

2.1 Análisis conceptual Economía Circular

Los conceptos de la EC ofrecen una solución sostenible a través de la evolución de una economía lineal (tomar-hacer-usar-desechar) a un enfoque circular (tomar-hacer-usar-reciclar) al convertir los desechos en un producto reciclado. En otras palabras, la EC es un término general que proporciona una solución para minimizar el uso de materia prima virgen. Trabaja sobre tres principios: conservación de los bienes naturales, aumentando la circularidad de los recursos y reduciendo los efectos adversos sobre el sistema y el entorno.(Sahu & Agrawal, 2021).

Bag en su análisis literario para identificar los factores que relacionan la industria 4.0 con la economía circular identifica que “La economía circular es un método económico que está siendo utilizado por varios fabricantes para transformar los modelos de economía lineal en modelos circulares de sostenibilidad. En los sistemas lineales tradicionales los productos se eliminan al final de su uso. La economía circular reemplaza este concepto de fin de vida lo que significa que el producto renacerá en el final de su vida. Los modelos comerciales de economía circular incluyen reparación y mantenimiento; reutilización y redistribución; remodelación y re-fabricación; reciclaje; reutilización. Los modelos comerciales de economía circular pueden eliminar problemas de escasez de recursos y ayuda a crear valor para la empresa.”(Bag & Yadav, 2021)

2.2 Análisis conceptual Industria 4.0

Para la I4.0, las principales tecnologías a desarrollar los son: el internet de las cosas, tecnologías de big data, industria inteligente y manufactura aditiva, sistemas robóticos. De acuerdo con Machado y de manera general “los beneficios de sostenibilidad de la Industria 4.0 se esperan con: mejorar la productividad, la flexibilidad y la eficiencia de los recursos (por ejemplo, big data para mantenimiento predictivo y reconfiguración rápida de sistemas de producción); reducción de residuos, energía consumo y sobreproducción (por ejemplo, excedente de energía renovable compartido con otras plantas); grupos de interés (por ejemplo, sistemas de producción de circuito cerrado que

conectan máquinas, sistemas de información, productos y personas en una red); oportunidades laborales relacionadas con las competencias de TI; mejora de la calidad del entorno de trabajo reduciendo los trabajos de rutina, p. ej. crear oportunidades de empleo para empleados discapacitados y ancianos.(Machado & Winroth, 2020)

El estado actual del trabajo sobre EC en el campo de I4.0 se presenta en la Tabla 1. Se observa que la mayoría de los investigadores utilizaron elementos de I4.0 y trataron de correlacionarlos con los modelos existentes. .(Sahu & Agrawal, 2021)

Tabla1. Estado actual de la EC en el campo de I4.0

Titulo original Artículo citado	Autores	Objetivo
Synchronized barriers for circular supply chains IN industry 3.5/INDUSTRY 4.0 transition for sustainable resource management	(Ozkan-Ozen & Yigit, 2020)	Identificar barreras en las cadenas de suministro circulares en la perspectiva de la industria 3.5 / 4.0
Industry 4.0 and circular economy: operational excellence for sustainable reverse supply chain performance	(Dev & Shankar, 2020)	Identificar tecnologías I4.0 integradas y RL en perspectivas EC
Industry 4.0: towards future industrial opportunities and challenges	(Zhou & Liu, 2016)	Identificar fuerzas impulsoras económicas que utilizan I4.0 y EC
Impeding challenges on Industry 4.0 in circular economy: palm oil industry in Malaysia	(Abdul-Hamid & Ali, 2020)	Identificar desafíos clave identificados de I4.0 y EC en la industria del aceite de palma
Industry 4.0 challenges to implement circular economy	(Rajput & Singh, 2019b)	Identificar habilitadores importantes identificados para conectar I4.0 y EC
A SAP-LAP linkages framework for integrating Industry 4.0 and circular economy	(Chauhan & Sharma, 2019)	Identificar principales tecnologías como IoT, CPS desempeñan un papel importante al integrar I4.0 y EC
Industrial revitalization via Industry 4.0-a comparative policy analysis among China, Germany and the USA	(Kuo & Shyu, 2019)	Realizar el análisis entre naciones para la revitalización industrial a través de I4.0
Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: a business model proposal	(Nascimento & Alencastro, 2019)	Realizar una exploración de tecnologías I4.0 vinculadas con EC para la reutilización de residuos electrónicos.
Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations	(Lopes de Sousa & Chiappetta, 2018)	Desarrollar el marco ReSOLVE para I4.0

A literature review on green supply chain management: trends and future challenges	(Tseng & Islam, 2019)	Identificar la evolución de redes transindustriales en el área de EC y I4.0
Data-driven approaches for circular economy in manufacturing for digital technologies: a review of current research and proposed framework	(Okorie & Salonitis, 2018)	Identificar los enfoques circulares identificados hacia I4.0
The paradigms of Industry 4.0 and circular economy as enabling drivers for the competitiveness of businesses and territories: the case of an Italian Ceramic tiles manufacturing Company	(Garcia-Muiña & González-Sánchez, 2018)	Identificar como se integró la sostenibilidad en I4.0 y EC y desarrolló un nuevo CBM

Fuente: *Integrating Industry 4.0 and circular economy: a review*

Zhong identificó cinco tecnologías clave de I4.0, como sistemas ciber físicos, internet de las cosas (IoT), big data, cloud computing y ciber seguridad. Estas tecnologías tienen potencial para resolver problemas de producción y consumo insostenibles a través de su transición a EC. Además, también puede admitir tecnologías disruptivas que brindan información precisa sobre el flujo de materiales, la disponibilidad de recursos, la generación de desechos y una vida útil más prolongada de los productos.(Zhong & Xu, 2017). Por lo tanto, la digitalización del proceso de producción impulsa el modelo comercial de EC al generar un sistema de circuito cerrado con una mayor utilización de recursos, optimización de inventario y apoyo a la toma de decisiones para abordar estos desafíos.(Antikainen & Uusitalo, 2018)

2.3 Análisis conceptual Producción limpia y sustentable

En cuanto a iniciativas para la preservación del medio ambiente, Ecuador es uno de los pocos países a nivel mundial que defiende en su Constitución del derecho de la naturaleza. La Constitución ecuatoriana del 2008, en su artículo 10, inciso segundo, determina que “La naturaleza será sujeto de aquellos derechos que le reconozca la Constitución”. En el artículo 71 se define a la naturaleza o Pachamama como el lugar “donde se reproduce y realiza la vida” y se le otorga tres derechos (artículos 71 y 72): 1) respeto integral de su existencia; 2) mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos; y, 3) derecho a la restauración.(Constitucion de la República del Ecuador, 2008). Dichos derechos que dispone la naturaleza en territorio ecuatoriano

deberán estar ligados a la industria con una visión de producción que tenga como prioridad la producción limpia y sustentable, uso eficiente de materiales y energía, diseño de productos amigables con el medio ambiente que vaya de la mano con el desarrollo industrial alineado a la cuarta revolución industrial, y como lo menciona Campaña se debe “Reconocer a la Naturaleza como un sujeto derechos y promover el buen vivir, se dice es cuestionar “el modelo neoliberal en relación a la organización de la economía y de la sociedad, pero en última instancia el mismo sistema capitalista”. La Naturaleza objeto ha convertido a todos los seres vivos en materia prima de diferentes procesos industriales.(Campaña, 2019). La misma entidad ha emitido un Acuerdo Ministerial, que incentiva la reducción de emisiones contaminantes, En el marco del programa Ecuador Carbono Cero, a efectos de la reducción y neutralización de emisiones de gases de efecto invernadero.(Manrique, 2021).

2.4 Principios de producción sustentable

Con el desarrollo de la industria a nivel mundial, se hace necesaria la vinculación entre la I4.0 y EC, un análisis profundo de este tema lo realiza Lopes, que plantea: “Desarrollar una hoja de ruta pionera para mejorar la aplicación de los principios de la economía circular en las organizaciones mediante enfoques de la Industria 4.0” las cuales consisten en cinco principios, el primero es decidir qué modelos son adecuados para sus procesos de producción, el segundo sería la identificación de las tecnologías y recursos de la Industria 4.0 que sean viables para ellos, considerando factores como la disponibilidad, los costos y las limitaciones técnicas, el tercero sería la adaptación de la gestión de operaciones sostenibles, decisiones de gestión para el diseño, proceso y logística de productos, el cuarto principio: ser el desarrollo de la integración entre niveles en cadenas de suministro para conectar tecnologías y recursos y compartir información relacionada con la demanda, la oferta, las entregas y el comportamiento de los clientes en tiempo real y por último el quinto principio ser debe ser la creación de indicadores de desempeño en orden de medir el progreso hacia la economía circular. (Lopes de Sousa & Chiappetta, 2018). De acuerdo con, el análisis realizado por Ortega de la implementación a industrias emergentes se menciona que “los beneficios de la implementación de modelos productivos que integren prácticas ecológicas se encuentran: (1) el crecimiento económico, producto de la reducción de costos de producción; (2) la creación de valor, resultado del impulso hacia la creación de nuevas alternativas sostenibles e innovadoras;

y (3) la innovación que surge a partir de la necesidad de crear nuevos modelos de producción que sustituyan el modelo lineal por un modelo de economía circular, que reintegren y disminuyan la cantidad de residuos generados en los procesos productivos.”(Ortega & Torres, 2020).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación se basa en una revisión sistemática de la literatura para identificar y analizar los beneficios de la integración de I4.0 y EC. La transición y la integración de I4.0 y EC pueden ayudar a los diferentes sectores industriales en la transformación de la economía lineal a la economía circular.(Sahu & Agrawal, 2021). El estudio analiza varios desafíos y oportunidades para la implementación de tecnologías I4.0 y EC en el contexto de países desarrollados y en desarrollo. Las tecnologías I4.0 se pueden utilizar para mejorar la sostenibilidad de la organización, el modelo comercial circular y el ciclo de vida del producto que respaldan el rediseño de las estrategias de los productos.(Sharma & Jabbour, 2020). En la literatura, estos conceptos se consideran individualmente, pero ninguno de ellos ha enfatizado la transición e integración de estos. La relación entre I4.0 y EC se discute en algunos estudios(Rajput & Singh, 2019a), donde se consideran los habilitadores, las barreras y los desafíos de I4.0. Sin embargo, un marco que considere el efecto combinado de I4.0 en la EC rara vez se observado. Dicha integración garantiza que “las tecnologías I4.0 se pueden utilizar para mejorar la sostenibilidad de la organización, el modelo comercial circular y el ciclo de vida del producto que respaldan el rediseño de las estrategias de los productos”.

Para crear un punto de referencia del Ecuador frente al resto de países, se presentan a continuación, indicadores que engloban la industria 4.0, economía circular y la producción limpia. Según la CEPAL, “los países en desarrollo asumen medidas “defensivas” centradas en la importación; mientras que las economías desarrolladas tienden a centrarse en regular o apoyar las actividades que fomentan el cambio a modelos comerciales verdes o circulares.” (CEPAL & Mulder, 2020) a la vez que indica que Ecuador tiene 2 iniciativas para incentivar la economía circular frente a las más de 110 que en promedio aplican los países asiáticos. Según el Foro Económico Mundial para su informe de competitividad del 2019 utiliza cuatro grupos de índices: ambiente apto para la competitividad, capital humano, mercado y ecosistemas de innovación, donde Ecuador ocupa el puesto 90 de 141, siendo el más crítico la capacidad de innovación con un 33%

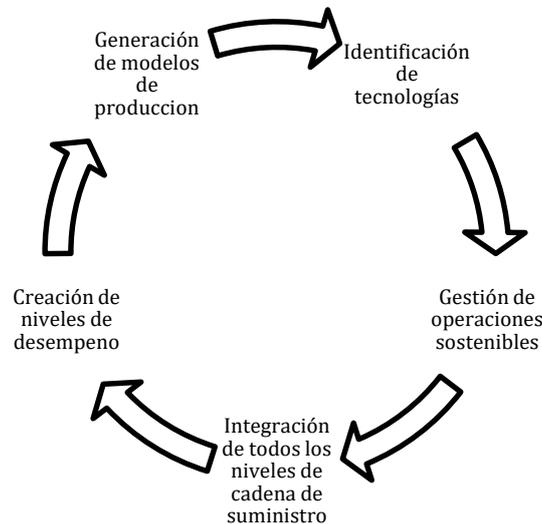
frente al país más competitivo Singapur (Schwab, 2019). Según el Banco Mundial, la Agencia Internacional de la Energía y el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía, el 16,33% de la energía que consume Ecuador es renovable, teniendo países africanos valores mayores al 90% (Banco_Mundial, 2021). De acuerdo con Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Ecuador genera el 0,19% de las emisiones globales de efecto invernadero siendo China el principal contaminador con el 23,92%. (World Resources Institute, 2012). Relacionado a la economía circular, como lo menciona Arroyo en su artículo “en el país (Ecuador) se recolectaron, durante del 2014, 11.203 toneladas diarias de residuos sólidos. Siendo la Costa, la región que mayor recolección registró con 6.229 toneladas diarias. En el sector urbano producen un promedio de 0,57 kilogramos de residuos sólidos por persona al día. En la Región Insular esta cifra sube a 0,72 kilogramos. (Arroyo 2018) frente a la producción media de 2,21 kilogramos de residuos sólidos por persona al día que se generan en Estados Unidos. (Kaza et al., 2018).

En base a los antecedentes antes mencionados, considerando que el nivel de competitividad e innovación de Ecuador son bajos, el uso de energía limpia es apenas el 16%, el aporte de contaminación, tanto en desechos sólidos y gases de efecto invernadero son bajos debido a la escasa industria, las iniciativas que se aplican son una pequeña fracción de lo que utilizan países industrializados, se ajusta dicha realidad y se presenta un modelo de gestión ajustado a la realidad de la industria ecuatoriana y además, aplicable para una industria sustentable, con referencia a lo analizado previamente en el presente documento se tiene como base tres ejes de desarrollo (Figura 1): industria 4.0, economía circular y producción limpia alineados a una hoja de ruta basada en cinco principios, (Figura 2): 1) generar modelos adecuados de producción, 2) identificar de tecnologías enfocadas a la industria 4.0, 3) gestionar operaciones sostenibles, 4) integrar todos los niveles de la cadena de suministro y 5) crear indicadores de desempeño.

Figura 1. Ejes de desarrollo de la industria sustentable



Figura 2. Hoja de ruta de aplicación de la industria sustentable.



4. CONCLUSIÓN

La investigación se basa en la revisión sistemática de la literatura para la integración e identificación de los desafíos y problemas actuales que estaban indefinidos en los estudios anteriores. El propósito de este estudio tiene que analizar la interacción entre I4.0 y EC desde la perspectiva de la sostenibilidad, es decir, ambiental, social y económica, la transición y la integración de I4.0 y EC pueden controlar el rendimiento operativo y promover una gestión de recursos más sostenible. (Ozkan-Ozen & Yigit, 2020).

El estudio explora los desafíos actuales de la implementación de I4.0 y EC que son tecnológicos, operativos, organizacionales, gerenciales y ambientales. I4.0 tiene el potencial de proporcionar soluciones sostenibles y fortalecer la EC al reducir el consumo de recursos y las emisiones de carbono.

La revisión de la literatura se presenta en forma de un marco de transición propuesto que proporcionará orientación para comprender la integración de I4.0 y EC. El estudio identifica que la integración propuesta entre las tecnologías I4.0 y EC da como resultado beneficios como el control avanzado de procesos, la gestión sostenible de recursos y un entorno de fabricación resiliente.

Se identificaron desafíos y oportunidades para la integración de la I4.0 y EC en el sector industrial del Ecuador. El uso de la tecnología digital, el desarrollo de estrategias comerciales y el desarrollo sostenible son las principales fuerzas impulsoras de I4.0 que respaldarán la implementación de la EC en el sector manufacturo del Ecuador impulsando enormemente el desarrollo económico y la competitividad en un mundo cada día más globalizado.

5. LISTA DE REFERENCIAS

- Abdul-Hamid, A. Q., & Ali, M. H. (2020). Impeding challenges on industry 4.0 in circular economy: Palm oil industry in Malaysia. *Computers and Operations Research*, 123, 105052. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105052>
- Alvarez, O., & Arroyo, F. (2021). Análisis de la Industria 4.0 como factor diferenciador del Sector Industrial del Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 3314–3324. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.533
- Antikainen, M., & Uusitalo, T. (2018). Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. *Procedia CIRP*, 73, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.027>
- Arroyo, F. (2018). La Economía Circular Como Factor De Desarrollo Sustentable Del Sector Productivo. *INNOVA Research Journal*, 3(12), 78–98.
- Axon, S., & James, D. (2018). The UN Sustainable Development Goals: How can sustainable chemistry contribute? A view from the chemical industry. En *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* (Vol. 13, pp. 140–145). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.010>
- Bag, S., & Yadav, G. (2021). Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 281(xxxx), 125233. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125233>
- Banco_Mundial. (2021). *Consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final)*.

https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.FEC.RNEW.ZS?most_recent_value_desc=true&view=chart

- Campaña, F. S. (2019). LOS DERECHOS DE LA NATURALEZA EN LA CONSTITUCIÓN ECUATORIANA DEL 2008: ALCANCE, FUNDAMENTOS Y RELACIÓN CON LOS DERECHOS HUMANOS. *REVISTA ESMAT*, 11(17), 231. <https://doi.org/10.34060/reesmat.v11i17.293>
- CEPAL, & Mulder, N. (2020). El Comercio Internacional y la Economía Circular en América Latina y el Caribe. *Cepal*, 1–76. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46618/1/S2000783_es.pdf
- Chauhan, C., & Sharma, A. (2019). A SAP-LAP linkages framework for integrating Industry 4.0 and circular economy. *Benchmarking*, 28(5), 1638–1664. <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2018-0310>
- Constitucion de la República del Ecuador. (2008). Derechos del buen vivir. *Constitución del Ecuador*, 132.
- Dantas, T. E. T., & De-Souza, E. D. (2021). How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. En *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 26, pp. 213–227). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>
- Dev, N. K., & Shankar, R. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 153(November 2019), 104583. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104583>
- Garcia-Muiña, F. E., & González-Sánchez, R. (2018). The Paradigms of Industry 4.0 and Circular Economy as Enabling Drivers for the Competitiveness of Businesses and Territories: The Case of an Italian Ceramic Tiles Manufacturing Company. *Social Sciences*, 7(12). <https://doi.org/10.3390/socsci7120255>
- Gupta, H., & Kumar, A. (2021). Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126253. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126253>
- Halse, L., & Jæger, B. (2019). Operationalizing Industry 4.0: Understanding Barriers of Industry 4.0 and Circular Economy. *IFIP Advances in Information and*

- Communication Technology*, 567, 135–142. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_16
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. En *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Kuo, C.-C., & Shyu, J. Z. (2019). Industrial revitalization via industry 4.0 – A comparative policy analysis among China, Germany and the USA. *Global Transitions*, 1, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. En *Journal of Cleaner Production* (Vol. 115, pp. 36–51). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Lopes de Sousa, A., & Chiappetta, C. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>
- Machado, C., & Winroth, M. (2020). Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1462–1484. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652777>
- Manrique, G. (2021). *Norma Técnica con Alcance Organizacional del Programa Ecuador Carbono Cero (NTO-PECC)*.
- Nascimento, D. L. M., & Alencastro, V. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607–627. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071>
- Okorie, O., & Salonitis, K. (2018). Data-Driven Approaches for Circular Economy in Manufacturing for Digital Technologies: A Review of Current Research and Proposed Framework. *Preprints*, August. <https://doi.org/10.20944/preprints201808.0159.v1>
- Ortega, T., & Torres, L. (2020). *Implementación de la economía circular en el sector industrial ubicado en la Provincia de Sabana Centro y sus alrededores*.

<https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/39723>

- Ozkan-Ozen, Y. D., & Yigit, K. (2020). SYNCHRONIZED BARRIERS FOR CIRCULAR SUPPLY CHAINS IN INDUSTRY 3.5/INDUSTRY 4.0 TRANSITION FOR SUSTAINABLE RESOURCE MANAGEMENT. *Resources, Conservation and Recycling*, 161(December 2019), 104986. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104986>
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019a). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49(November 2018), 98–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002>
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019b). Industry 4.0 – challenges to implement circular economy. En *Benchmarking* (Vol. 28, Número 5, pp. 1717–1739). <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0430>
- Sahu, A., & Agrawal, S. (2021). Integrating Industry 4.0 and circular economy: a review. En *Journal of Enterprise Information Management: Vol. ahead-of-p* (Número ahead-of-print). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/JEIM-11-2020-0465>
- Schwab, K. (2019). *Insight Report - World Economic Forum*. http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf
- Sharma, R., & Jabbour, C. J. C. (2020). Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don't. *Journal of Enterprise Information Management*, 34(1), 230–266. <https://doi.org/10.1108/JEIM-01-2020-0024>
- Tseng, M. L., & Islam, M. S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 141(October 2018), 145–162. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.009>
- World Resources Institute. (2012). *Total CO2 Emissions Worldwide*. <https://www.climatewatchdata.org/compare-all-targets?targets=>
- Zhong, R. Y., & Xu, X. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
- Zhou, K., & Liu, T. (2016). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and

Challenges. 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, *FSKD* 2015, 2147–2152.
<https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>