

SSIJ-Vol.3. N1. 058

Modelo integral para la transición de la economía lineal hacia la economía circular en industrias del Parque Industrial Latinoamericano de Warnes, Bolivia

Comprehensive model for the transition from the linear economy to the circular economy in industries of the Latin American Industrial Park of Warnes, Bolivia

Autores:

Yan Carla Antelo Vaca Diez
Universidad Autónoma Gabriel René Moreno
Santa Cruz – Bolivia
ycvacadiez@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-2594-9098>

Autor de correspondencia: Yan Carla Antelo Vaca Diez, ycvacadiez@gmail.com

Enviado: 27-04-2026
Aceptado: 10-09-2026

Revisado: 13-07-2026
Publicado: 11-09-2026

Cómo citar este artículo:

Vaca Diez, Y. C. A. (2026). Modelo integral para la transición de la economía lineal hacia la economía circular en industrias del Parque Industrial Latinoamericano de Warnes, Bolivia. *Sage Sphere International Journal*, 3(1), 1-21. <https://doi.org/10.63688/e8da4m34>

© 2026; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea correctamente citada.



RESUMEN

La transición hacia la economía circular exige herramientas que permitan evaluar de manera integrada las capacidades técnicas, económicas, ambientales e institucionales de las organizaciones. El objetivo de este estudio fue desarrollar y aplicar un modelo integral para evaluar la transición de la economía lineal hacia la economía circular en industrias del Parque Industrial Latinoamericano, ubicado en Warnes, Bolivia. Se empleó un enfoque aplicado, descriptivo y propositivo, con diseño no experimental y transversal. La población estuvo conformada por 140 empresas y se trabajó con una muestra no probabilística por conveniencia de 30 organizaciones. La información se recopiló mediante una encuesta estructurada de 42 preguntas y se integró mediante el Modelo Integral de Transición hacia la Economía Circular (MITEC). Los resultados mostraron que el 56,66 % de las empresas se concentró en los niveles lineal inicial y en transición, mientras que el 43,34 % alcanzó niveles avanzado o de liderazgo circular. Aunque el 96,67 % contó con planes formales de gestión de residuos, solo el 23,33 % declaró implementar prácticas de economía circular. Asimismo, el 100 % manifestó interés en participar en sistemas de simbiosis industrial. Se concluye que la transición presenta avances heterogéneos y requiere fortalecer la planificación estratégica, la cooperación interempresarial, la eficiencia energética y la innovación tecnológica.

Palabras clave: economía circular; transición industrial; simbiosis industrial; indicadores de circularidad; parques industriales.

ABSTRACT

The transition to the circular economy requires tools that allow for an integrated assessment of the technical, economic, environmental, and institutional capacities of organizations. The objective of this study was to develop and apply a comprehensive model to evaluate the transition from the linear economy to the circular economy in industries in the Latin American Industrial Park, located in Warnes, Bolivia. An applied, descriptive, and proactive approach was used, with a non-experimental and cross-sectional design. The population was made up of 140 companies and a non-probabilistic convenience sample of 30 organizations was used. The information was collected through a structured survey of 42 questions and integrated through the Comprehensive Transition Model to the Circular Economy (MITEC). The results showed that 56.66% of the companies focused on the initial linear and transition levels, while 43.34% reached advanced or circular leadership levels. Although 96.67% had formal waste management plans, only 23.33% reported implementing circular economy practices. Likewise, 100% expressed interest in participating in industrial symbiosis systems. It is concluded that the transition presents heterogeneous advances and requires strengthening strategic planning, inter-company cooperation, energy efficiency and technological innovation.

Keywords: circular economy; industrial transition; industrial symbiosis; circularity indicators; industrial parks.



1. INTRODUCCIÓN

El modelo económico - lineal, que se basa especialmente en una fase de extracción, otra de producción, otra de consumo y por último otra de disposición, ha sido objeto de una creciente crítica, debido a la presión que ejerce sobre los recursos naturales y a la continua producción de residuos y emisiones. Ante este modelo económico - lineal, la economía circular ha ido consolidándose como un modelo que pretende mantener durante más tiempo el valor de los recursos, materiales y productos mediante estrategias de reducción, reutilización, recuperación y recirculación dentro de los sistemas de producción. Esta visión de la economía circular va más allá del reciclaje, y supone un cambio sistémico de los procesos de producción y de los modelos organizativos (Geissdoerfer et al., 2017; Kirchherr et al., 2017). La transición hacia una economía circular, sin embargo, no es un proceso eventual, sino que tampoco es un proceso puramente tecnológico, sino que su práctica conlleva reorganizar flujos de materiales y de energía, transformar procesos productivos, acrecentar capacidades organizacionales y crear mecanismos institucionales que garanticen la perpetuación de las transformaciones a lo largo del tiempo. Korhonen et al. (2018) nos advierten sobre algunas de las limitaciones del concepto si se le empieza a abordar desde acciones aisladas y sin tener en cuenta las interacciones económicas, ambientales y sociales que se relacionan en el sistema. Dicho de otro modo, la transición circular necesita de una visión holística que sea capaz de enlazar las condiciones internas de las organizaciones con aquellos factores del entorno que son tantos favorecedores como limitadores de esa transformación.

Una de las dificultades más relevantes para continuar este proceso la imponen las propias organizaciones en la medida en que la evidencia empírica validada confirma que las limitaciones no se reducen a la disponibilidad de tecnologías sino a factores culturales, organizativos, económicos, de mercado y de política pública. Kirchherr et al. (2018) a partir de la evidencia de las empresas y abierta a repetir esa evidencia en relación con los expertos, han encontrado que las limitaciones de tipo cultural y de mercado pueden tener un papel especialmente relevante en la adopción de prácticas circulares. Otros estudios recientes en pequeñas y medianas empresas también han hecho ver que los propios factores internos de la organización pueden tener en la transición y la capacidad de modificar los modelos de negocio un peso considerable (Perramon et al., 2024).



Del mismo modo, la complejidad del proceso también ha suscitado la necesidad de contar con las herramientas necesarias para medir el avance hacia la circularidad. Saidani et al. (2019) señalaron la existencia de gran cantidad de conjuntos de indicadores para evaluar diferentes niveles, estrategias y objetivos de la economía circular, lo que afirma tanto el creciente interés por esta técnica de medición como la ausencia de dicha herramienta universal para todos los contextos. Este grado de diversidad también supone un problema en lo que a la metodología se refiere, ya que los resultados pueden variar en función de lo que se evalúe, la escala de análisis, y el tipo de objetivos y el aspecto de la circularidad que se considere.

En esta línea, en el mismo sentido, Moraga et al. (2019) identifican que muchos de los indicadores existentes se concentran de forma bastante exclusiva en la conservación de materiales y/o en la adopción de estrategias como puede ser el reciclaje, mientras que otras dimensiones y maneras de retener valor tienen menos recorrido. Además, especifican que la evaluación de la economía circular se percibe más acertadamente por conjuntos de indicadores que por una única medida aislada. Por su parte, Kristensen y Mosgaard (2020), al revisar indicadores de circularidad en el nivel micro, observaron que no hay aún un estándar común para valorar la circularidad de una empresa, así como que muchos de los instrumentos que componen su batería tienen marcadas diferencias en los aspectos económicos, ambientales y/o sociales.

La medición de la transición debe, por tanto, contemplar no solo el peso de los residuos reciclados o de los cuales se han utilizado materiales secundarios, sino también hasta qué punto las organizaciones son capaces de ir creando capacidades para ir transformando sus sistemas productivos. Según Morsetto (2020), la fijación de objetivos de circularidad es un aspecto relevante para dirigir dicha transición; ya que, permite interrelacionar las estrategias circulares con resultados verificables de reducción de residuos, de uso eficaz de los recursos y de cierre del ciclo de vida de producción. Dicha mirada refuerza la necesidad de contar con herramientas en las que conocer el estado inicial de una organización, determinar ya bien las brechas existentes y si se está avanzando o no.

Cuanto más se amplía el análisis y dejamos de ver sólo una empresa para ver cadenas de suministro, clústeres o parques industriales, más problemas de medición tenemos. Calzolari et al. (2022) hallaron que los indicadores que guían la transición circular de las



cadena de suministro aún tienen limitaciones y requieren un conjunto más amplio de herramientas de apoyo a la decisión que contemplen los distintos niveles de desempeño. Complementariamente, la propuesta de Cagno et al. (2023) de un marco de medición extensible, pero también escalable, que articule sostenibilidad, economía circular y simbiosis industrial y que pueda extenderse desde una empresa concreta a sistemas productivos más grandes, podría ayudar a superar este vacío y ciertos problemas que pudieran surgir.

Tal aproximación tiene una importancia notable, precisamente en el caso de los parques industriales, donde la cercanía de las empresas puede permitir algunas relaciones colaborativas, así como descubrir oportunidades para poder aprovechar, de forma conjunta, recursos o subproductos. Considerando un marco de clúster, Babkin et al. (2023) hablaron de un marco para estimar un índice integral de circularidad en ecosistemas industriales, donde mostraron la relevancia de los indicadores agregados para estudiar sistemas con la complejidad de múltiples organizaciones y relaciones productivas. A partir de aquí, la circularidad de un parque industrial debe implicar ir más allá de medir las prácticas de manera individual y tener en cuenta cómo se puede entrelazar la medición de las dimensiones productivas, ambientales y organizacionales.

Las tecnologías digitales aportan un valor extra que se suma a la transformación que señalaba anteriormente. Payer et al. (2024) plantean un tipo de marco de monitoreo donde los indicadores de la circularidad, la transformación digital y la sustentabilidad se combinarían de mejor manera y podrían contribuir para la generación de trazabilidad y gestión de recursos así como la toma de decisiones. Estos autores señalan también la elaboración de un marco de enlace entre las cadenas productivas y estructuras de gobernanza que fortalezcan las inversiones y las acciones relativas a la circularidad. Estas propuestas indican que el desempeño circular no depende solamente de la práctica ambiental, sino también de la combinación entre las capacidades técnicas, los recursos financieros, el desempeño del medio ambiente y las estructuras institucionales.

En cuanto a América Latina, el análisis de estas relaciones empieza a cobrar mayor significación en industrializaciones concretas. Bustamante-Pérez et al. (2025), al estudiar empresas que forman parte de un clúster petroquímico de México, abordaron la relación entre el business environment, la simbiosis industrial y el performance sostenible, haciendo ver la pertinencia del análisis de las condiciones que facilitan la cooperación y el



intercambio de recursos en los grupos industriales. Tal bagaje puede considerarse interesante para abordar el estudio de los parques industriales latinoamericanos, donde las posibilidades de la transición circular dependen, en mayor medida, de las particularidades de las empresas participantes, pero también de las posibilidades de articulaciones entre las organizaciones situadas físicamente cercanas.

Cada vez más se van avanzando en términos de indicadores de circularidad o sostenibilidad, de marcos de sostenibilidad, de herramientas de monitorización en general, o de modelos de desempeño, sigue existiendo una gran necesidad por generar generales y holísticos que estén adaptados a unos contextos industriales específicos que "podemos combinar" a partir de varios aspectos de la transición en una única medida que sea interpretable para todos aquel que debe tomar decisiones. La literatura responde a esta existencia de diversidad en los sistemas de medición mostrando las diferencias en escalas, variables y amplitud de las mediciones, así como también los estudios más recientes muestran la conveniencia de mezclar indicadores y evaluar al mismo tiempo varios componentes de desempeño circular (Saidani et al., 2019; Moraga et al., 2019; Cagno et al., 2023).

En el Parque Industrial Latinoamericano (PILAT) del municipio de Warnes, del departamento de Santa Cruz, Bolivia, esta necesidad cobra importancia debido a la multiplicidad de actividades industriales y a las potenciales articulaciones empresariales; la investigación de origen contemplaba una población de 140 empresas activas y analizó de forma concreta a 30 organizaciones, pertenecientes a diferentes subsectores productivos, mientras que la propuesta doctoral ideó precisamente un modelo con dimensiones técnica, económica, ambiental e institucional, a partir del cual se evalúa el proceso de transición.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue desarrollar y aplicar un modelo integral para evaluar la transición de la economía lineal hacia la economía circular en industrias del Parque Industrial Latinoamericano (PILAT), mediante la integración de dimensiones técnicas, económicas, ambientales e institucionales en un índice compuesto de circularidad. De esta manera, se busca disponer de una herramienta que permita caracterizar el nivel de transición de las empresas, identificar las principales brechas y proporcionar información para orientar estrategias de mejora y cooperación industrial.

2. METODOLOGÍA



La investigación se desarrolló con un enfoque aplicado y predominantemente cuantitativo, de alcance descriptivo-propositivo. Para este artículo se analizó el componente empírico disponible de la investigación doctoral, orientado a caracterizar las prácticas productivas y ambientales de las industrias y a construir un índice integrado que permitiera estimar su nivel de transición desde un modelo económico lineal hacia uno circular. Aunque la investigación doctoral fue concebida originalmente bajo un enfoque mixto, el presente artículo se concentra en la fase cuantitativa, debido a que los resultados de las entrevistas cualitativas aún no se encuentran desarrollados en el documento fuente.

Se adoptó un diseño no experimental y transversal, puesto que las variables fueron observadas en las condiciones naturales de funcionamiento de las empresas, sin manipulación deliberada. La recopilación de información se efectuó durante un periodo determinado y los datos utilizados para el diagnóstico fueron consolidados en julio de 2026. El estudio se desarrolló en el Parque Industrial Latinoamericano (PILAT), ubicado en el municipio de Warnes, departamento de Santa Cruz, Bolivia.

La población estuvo constituida por 140 empresas industriales activas y legalmente establecidas en el PILAT. Debido a las restricciones de acceso a información operativa considerada estratégica o confidencial y a la necesidad de contar con autorización empresarial para la recopilación de datos, se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia. La muestra quedó conformada por 30 empresas pertenecientes a diferentes subsectores industriales y de servicios asociados. Los criterios de selección fueron que la empresa estuviera activa, contara con autorización de su gerencia y manifestara disposición para participar en el estudio. La unidad de análisis correspondió a cada empresa participante y la información fue proporcionada por responsables vinculados con la gestión productiva, operativa o ambiental.

La información primaria fue recopilada mediante una encuesta estructurada y autoadministrada compuesta por 42 preguntas. El instrumento abordó seis ámbitos: datos generales de la empresa, características del modelo de producción, conocimiento y aplicación de la economía circular, transición y planificación hacia prácticas circulares, eficiencia energética y utilización de recursos naturales, e innovación y tecnología. Estos componentes permitieron recopilar información relacionada con consumo de recursos, generación y gestión de residuos, reutilización de materiales, aprovechamiento de subproductos,



eficiencia energética, incorporación de energías renovables, tecnologías limpias, planificación ambiental y disposición para establecer procesos de simbiosis industrial.

A partir del diagnóstico empresarial se estructuró el Modelo Integral de Transición de la Economía Lineal hacia la Economía Circular (MITEC). Para efectos de medición, el modelo integró cuatro dimensiones estratégicas: técnica (T), económica (E), ambiental (A) e institucional (I). La dimensión técnica consideró aspectos asociados con eficiencia de insumos, valorización y reutilización de materiales, tecnologías limpias y ecodiseño; la dimensión económica contempló inversión en sostenibilidad, recuperación económica de subproductos y reducción de costos; la dimensión ambiental incorporó gestión de residuos, eficiencia hídrica y energética, fuentes renovables y residuos peligrosos; y la dimensión institucional comprendió sistemas de gestión ambiental, gobernanza, capacidades organizacionales, planificación sostenible y disposición hacia la simbiosis industrial.

Los indicadores fueron transformados a una escala adimensional comprendida entre 0 y 1 mediante normalización Min–Max, donde los valores próximos a 0 representan un menor nivel de circularidad y los próximos a 1 un mayor desempeño circular. Posteriormente, los indicadores normalizados fueron integrados en las dimensiones correspondientes y estas se agregaron mediante ponderaciones relativas.

La ponderación de las cuatro dimensiones siguió la estructura multicriterio propuesta mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Se utilizaron los pesos establecidos en el modelo doctoral: 0,30 para la dimensión técnica, 0,25 para la económica, 0,30 para la ambiental y 0,15 para la institucional. La suma de las ponderaciones fue igual a 1,00, condición necesaria para la agregación del índice compuesto (Saaty, 2008).

El Índice Integral de Transición hacia la Economía Circular se calculó mediante:

$$MITEC = (0,30T) + (0,25E) + (0,30A) + (0,15I)$$

donde T , E , A e I representan, respectivamente, los valores normalizados de las dimensiones técnica, económica, ambiental e institucional. El resultado obtenido se expresó en una escala de 0 a 100 % para facilitar su interpretación y comparación entre empresas.

Para clasificar el grado de transición se emplearon cuatro niveles: Nivel I, lineal/inicial (0,00–25,00 %); Nivel II, en transición (25,01–50,00 %); Nivel III, avanzado (50,01–75,00 %); y Nivel IV, liderazgo circular (75,01–100,00 %). Esta clasificación permitió identificar



diferencias en el desempeño empresarial y determinar las principales brechas para avanzar hacia niveles superiores de circularidad.

El análisis de la información se realizó mediante estadística descriptiva, utilizando frecuencias absolutas y porcentajes para caracterizar las respuestas de las 30 empresas. Posteriormente se calcularon los valores dimensionales y el índice MITEC para cada unidad de análisis, y se examinó la distribución de las empresas según su nivel de transición circular. Debido al carácter no probabilístico de la muestra, los resultados se interpretaron respecto de las empresas participantes y no se realizaron generalizaciones estadísticas al conjunto de las 140 organizaciones del PILAT.

En cuanto a las consideraciones éticas, la incorporación de las empresas estuvo condicionada a la participación voluntaria, autorización de sus responsables y manejo confidencial de la información empresarial, particularmente de aquellos datos relacionados con procesos, consumos y desempeño operativo.

3. RESULTADOS

La muestra estuvo conformada por 30 empresas del Parque Industrial Latinoamericano (PILAT). La estructura sectorial mostró un predominio de actividades manufactureras: alimentos, bebidas y tabaco representaron el 37 % de las empresas; sustancias y productos químicos, el 23 %; productos minerales no metálicos, el 10 %; y papel e imprentas, el 7 %. Las actividades manufactureras restantes correspondieron a industrias metálicas básicas y productos metálicos y maquinaria, mientras que el 17 % restante estuvo integrado por suministro de electricidad, transporte y logística y servicios ambientales.

En cuanto al tamaño empresarial, 16 organizaciones correspondieron a pequeñas empresas (53,33 %), nueve a medianas (30,00 %) y cinco a grandes empresas (16,67 %); no se registraron microempresas. Por tanto, las pequeñas y medianas empresas concentraron el **83,33 % de la muestra**. Además, 22 empresas (73 %) reportaron más de cinco años de funcionamiento en el PILAT y ocho (27 %) entre dos y cinco años.

Tabla 1.
Características de las empresas participantes

Característica	Categoría	n	%
Sector	Alimentos, bebidas y tabaco	11	36,67
	Sustancias y productos químicos	7	23,33



Característica	Categoría	n	%
	Minerales no metálicos	3	10,00
	Papel e imprentas	2	6,67
	Electricidad, gas y agua	2	6,67
	Transporte, almacenamiento y logística	2	6,67
	Industrias metálicas básicas	1	3,33
	Productos metálicos y maquinaria	1	3,33
	Servicios ambientales	1	3,33
	Pequeña	16	53,33
	Mediana	9	30,00
	Grande	5	16,67

Nota. Datos de 30 empresas del PILAT. Elaboración propia.

Diagnóstico de prácticas de circularidad

Los resultados mostraron una aplicación todavía limitada de mecanismos orientados al cierre de ciclos materiales. Solo 11 empresas (36,67 %) señalaron reaprovechar internamente subproductos o residuos, mientras que 19 (63,33 %) no realizaban este tipo de práctica. Además, 23 de las 30 organizaciones (76,67 %) indicaron no haber implementado prácticas identificadas explícitamente como economía circular y siete (23,33 %) declararon haberlas incorporado.

No obstante, se identificó un potencial material para desarrollar relaciones circulares entre organizaciones. Diecisiete empresas (56,67 %) reconocieron residuos o subproductos que podrían ser aprovechados por otras industrias del PILAT; 11 (36,67 %) no habían identificado esta posibilidad y dos (6,67 %) manifestaron incertidumbre al respecto.

La diferencia entre las posibilidades identificadas y la cooperación efectiva fue considerable. Únicamente siete empresas (23,33 %) colaboraban con otras organizaciones en iniciativas ambientales o de aprovechamiento de recursos, frente a 23 (76,67 %) que no mantenían este tipo de interacción. En contraste, las 30 empresas encuestadas manifestaron interés en formar parte de un sistema de simbiosis industrial, lo que estableció una diferencia marcada entre la cooperación existente y la disposición declarada para desarrollarla.

Tabla 2.

Prácticas y condiciones para la transición hacia la economía circular



Indicador	Respuesta principal	n	%
Reaprovecha internamente residuos/subproductos	Sí	11	36,67
	No	19	63,33
Ha implementado prácticas de economía circular	Sí	7	23,33
	No	23	76,67
Identifica subproductos aprovechables por otras empresas	Sí	17	56,67
	No	11	36,67
	Indeterminado	2	6,67
Colabora actualmente con otras empresas	Sí	7	23,33
	No	23	76,67
Interés en sistema de simbiosis industrial	Sí	30	100,00
	No	0	0,00

Nota. Resultados del diagnóstico empresarial. Elaboración propia.

La dimensión organizacional mostró también una incorporación limitada de la circularidad dentro de la gestión estratégica. Veintidós empresas (73,33 %) no contaban con planes estratégicos que incluyeran sostenibilidad o economía circular, siete (23,33 %) sí los habían incorporado y una (3,33 %) indicó encontrarse en proceso de desarrollo. Asimismo, solo siete empresas (23,33 %) disponían de personal o un departamento especializado en sostenibilidad, frente a 23 (76,67 %) que carecían de esta capacidad organizacional específica.

Gestión ambiental, eficiencia e innovación tecnológica

La gestión de residuos presentó resultados distintos a los observados en la implementación general de prácticas circulares. Un total de 29 empresas (96,67 %) declaró contar con un plan formal de gestión de residuos y el mismo número señaló clasificar los residuos según su tipo. Estos resultados indican una amplia presencia de mecanismos formales de manejo y clasificación, aunque por sí solos no implican el cierre de ciclos materiales ni la aplicación integral de principios de economía circular. En materia energética, siete empresas (23,33 %) habían implementado medidas de eficiencia durante los tres años previos, mientras que 23 (76,67 %) no reportaron este tipo de acciones. La incorporación de energías renovables fue todavía menor: cuatro empresas (13,33 %) declararon utilizarlas y 26 (86,67 %) indicaron no hacerlo.

Respecto de la innovación tecnológica, 12 empresas (40,00 %) habían realizado inversiones en tecnologías limpias durante los tres años anteriores y 18 (60,00 %) no las habían efectuado. En



contraste, 22 organizaciones (73,33 %) declararon utilizar software o herramientas para monitorear impactos ambientales. Asimismo, 18 empresas (60,00 %) señalaron haber rediseñado productos o procesos con el propósito de disminuir su impacto ambiental.

Tabla 3.

Indicadores ambientales y tecnológicos de las empresas

Indicador	Sí, n (%)	No, n (%)
Plan formal de gestión de residuos	29 (96,67)	1 (3,33)
Clasificación de residuos	29 (96,67)	1 (3,33)
Medidas de eficiencia energética	7 (23,33)	23 (76,67)
Uso de energías renovables	4 (13,33)	26 (86,67)
Inversión en tecnologías limpias	12 (40,00)	18 (60,00)
Software para monitoreo ambiental	22 (73,33)	8 (26,67)
Rediseño de productos o procesos	18 (60,00)	12 (40,00)

Nota. Indicadores ambientales y tecnológicos. Elaboración propia.

En conjunto, los resultados mostraron un comportamiento heterogéneo. La formalización de la gestión de residuos, el monitoreo ambiental mediante herramientas tecnológicas y el rediseño de procesos presentaron porcentajes superiores al 60 %, mientras que la eficiencia energética, las energías renovables, las inversiones en tecnología limpia, la planificación estratégica circular y la cooperación interempresarial registraron niveles inferiores. Esto evidenció que las empresas no avanzaban de manera uniforme entre los diferentes componentes considerados por el modelo.

Nivel de transición según el MITEC

La aplicación del índice MITEC permitió agrupar las 30 unidades evaluadas según cuatro niveles de transición. Siete empresas (23,33 %) fueron clasificadas en Nivel I: Lineal/Inicial; 10 empresas (33,33 %) en Nivel II: En Transición; nueve (30,00 %) en Nivel III: Avanzado; y cuatro (13,34 %) en Nivel IV: Liderazgo Circular. En consecuencia, 17 de las 30 empresas, equivalentes al 56,66 %, se concentraron en los dos niveles inferiores, mientras que 13 (43,34 %) alcanzaron los niveles avanzado o de liderazgo circular.

Tabla 4.

Distribución de empresas según el índice MITEC

Nivel MITEC	Intervalo	n	%
Nivel I: Lineal/Inicial	0,00–25,00 %	7	23,33



Nivel MITEC	Intervalo	n	%
Nivel II: En Transición	25,01–50,00 %	10	33,33
Nivel III: Avanzado	50,01–75,00 %	9	30,00
Nivel IV: Liderazgo Circular	75,01–100,00 %	4	13,34
Total	—	30	100,00

Nota. Clasificación del desempeño circular mediante MITEC. Elaboración propia.

El documento doctoral reporta un MITEC promedio global de 45,47 %, correspondiente al Nivel II: En Transición. Este resultado, junto con la distribución por niveles, sitúa a la mayor proporción de las empresas participantes en estadios iniciales o intermedios de la transición, aunque coexistieron organizaciones con niveles avanzados y de liderazgo circular.

4. DISCUSIÓN

Los resultados ponen de manifiesto la existencia de un comportamiento diferenciado en el proceso de transición hacia la economía circular de aquellas empresas involucradas en el Parque Industrial Latinoamericano (PILAT). A pesar de que existen desenvolvimientos en específicos aspectos de la gestión ambiental y el proceso de modernización de los mismos, los mismos no se traducen todavía en un comportamiento generalizado de adopción de prácticas circulares. Este comportamiento indica que la circularidad no depende de una única práctica ambiental, sino que ha de combinarse con capacidades técnicas, económicas, ambientales e institucionales.

Esta interpretación es especialmente interesante en relación con que, de las empresas de nuestro conjunto de datos, el 96,67 % declaró disponer de planes formales de gestión y clasificación de residuos; mientras que únicamente el 23,33 % manifiesta haber llevado a cabo prácticas que, de forma explícita, recogen como economía circular, lo que indica que el cumplimiento o formalización de la gestión de residuos no implica, necesariamente, una transformación circular del sistema productivo. Precisamente los autores Ibáñez-Forés et al., (2022) advierten de que el seguimiento de la transición requiere conjuntos de indicadores que midan y comuniquen diferentes componentes del desempeño organizacional y no simplemente variables aisladas. En su formulación, los autores propusieron estructurar 34 indicadores distribuidos en 10 categorías, mostrando así la necesidad de una medición multidimensional para caracterizar el avance en términos de circularidad.



Esta interpretación es especialmente interesante en relación con que, de las empresas de nuestro conjunto de datos, el 96,67 % declaró disponer de planes formales de gestión y clasificación de residuos; mientras que únicamente el 23,33 % manifiesta haber llevado a cabo prácticas que, de forma explícita, recogen como economía circular, lo que indica que el cumplimiento o formalización de la gestión de residuos no implica, necesariamente, una transformación circular del sistema productivo. Precisamente los autores Ibáñez-Forés et al., (2022) advierten de que el seguimiento de la transición requiere conjuntos de indicadores que midan y comuniquen diferentes componentes del desempeño organizacional y no simplemente variables aisladas. En su formulación, los autores propusieron estructurar 34 indicadores distribuidos en 10 categorías, mostrando así la necesidad de una medición multidimensional para caracterizar el avance en términos de circularidad.

Sin embargo, los resultados también dan cuenta de aquellas capacidades en las cuales podría sustentarse una progresiva transición. Ya el 73,33% de las organizaciones manifestó la aplicación de algún software o herramienta para supervisar impactos ambientales y el 60% comunicó el haber implicado el redesign de productos o procesos para mitigar su impacto. Tales datos constatan el hecho que determinadas capacidades tecnológicas y de mejora de procesos se encuentran más arraigadas que otras prácticas como la eficiencia energética o el uso de energías renovables. De modo que no le faltan razones a Nikolakis et al. (2024) quien sostiene que la valoración de las estrategias de economía circular en manufactura debe tener en cuenta el concurrente desempeño de los procesos y de la ecoeficiencia, de modo tal que las decisiones no se encasille a limitarse a la mera existencia de acciones ambientales, sino que permitan dilucidar los efectos de éstas sobre la sostenibilidad del sistema productivo. Su propuesta aplicada a múltiples casos de industrias reales señala la aceptación que pueden llegar a tener herramientas cuantitativas que integran diferentes dimensiones para favorecer la mejora de decisiones.

Una de las disparidades más claras se dio en el área de la interacción empresarial. Sólo el 23,33 % participaba en intercambios ambientales o de recursos, mientras que el 76,67 % no participaba en este tipo de intercambios. Sin embargo, las 30 empresas mostraron interés por participar en un sistema de simbiosis industrial y el 56,67 % ya había identificado residuos o subproductos de sus actividades que pudieran ser reemplazados por otras empresas. La diferencia entre la intención de cooperación y la efectividad real es importante,



especialmente en un parque industrial, ya que la proximidad geográfica facilita el intercambio de materiales, agua, energía o subproductos. Según Chertow (2000), la colaboración e interacción sinérgicas asociadas a la proximidad son la base de la simbiosis industrial, por lo que la concentración de empresas en un espacio físico no genera circularidad por sí sola si no existen mecanismos de articulación e intercambio efectivos.

Los hallazgos de Harfeldt-Berg y Harfeldt-Berg (2023) ayudan a comprender esta contradicción aparente. Los autores constataron que en la identificación de beneficios empresariales de la sostenibilidad y la simbiosis industrial, la adopción de iniciativas de esta estrategia de sostenibilidad podría asociarse a una mayor carga de las funciones de gestión y coordinación. Esto ayuda a dar cuenta de la cohabitación de la elevada disposición a colaborar y de la escasa participación efectiva en estas iniciativas. Tanto en el PILAT como en este caso el 100 % de interés manifestado debe interpretarse no como la evidencia de que una red funcional de simbiosis industrial ya está operando, sino como una potencialidad favorable. El paso a una red de simbiosis industrial requeriría la existencia de un mecanismo institucional que haga operar la disposición en relaciones estables.

Esa misma necesidad institucional se refleja también en la planificación. Tan sólo el 23,33% de las empresas manifestó poseer planes estratégicos de cara a la introducción de la sostenibilidad o la circularidad, mientras que el 76,67% no disponía de personal o departamentos especializados en sostenibilidad. En ese sentido, el MITEC se destaca por integrar variables que habitualmente se analizan por separado. También la propuesta de van der Werf et al. (2025) recoge esta carencia al sostener que no hay un juego de indicadores universalmente válido, y la selección de indicadores debe quedarse acotada al contexto en el cual se producirá la transición. Su metodología también enfatiza la participación de actores para la construcción de sistemas de indicadores, a fin de mejorar su pertinencia institucional y contextual.

Desde una perspectiva metodológica, la agregación de las dimensiones técnica, económica, ambiental e institucional requiere la posibilidad de agregación de desempeños muy diferenciados sobre la base de una única medida común. El uso de una estructura multicriterio es coherente con el modelo propuesto por Saaty (2008) al apuntar que el AHP afianza las prioridades relativas, basándose en comparaciones y juicios de expertos, y permite agregar criterios tangibles e intangibles a la decisión. La interpretación del índice, no



obstante, debe mantener la trazabilidad de sus dimensiones, ya que existe la probabilidad de que un resultado global o general pueda ocultar fortalezas en determinadas dimensiones y debilidades en otras dimensiones a partir de componentes desfavorables. Por lo tanto, el MITEC será más interesante cuando se analice el valor añadido junto a la posibilidad de agregación de todos los indicadores constitutivos del MITEC y no sólo como una calificación aislada del desempeño empresarial.

Esta recomendación está de acuerdo con Barrak et al. (2024) quienes hacen ver que las herramientas multicriterio permiten incluir tanto indicadores de circularidad como de desempeño ambiental pero también hacen notar la existencia de compensaciones entre criterios y la necesidad de estudiar la robustez de las decisiones. A partir de esta consideración, el aporte del modelo planteado consiste, a la inversa, en propiciar una estructura común para identificar brechas y priorizar intervenciones en diferentes ámbitos de la transición, más que en sintetizar toda la complejidad de la circularidad en una cifra.

5. CONCLUSIÓN

La existencia de instrumentos formales en la gestión ambiental no fue sin embargo sinónimo de una aplicación y/o puesta en marcha integral de la economía circular. Y es que el 96,67% de las empresas afirmaba tener un plan formal sobre la gestión y/o clasificación de residuos, pero sólo el 23,33% había implementado prácticas que fueran explícitamente identificadas como prácticas circulares. Es decir, esta brecha pone de manifiesto el hecho de que existe un espacio entre la gestión tradicional de los residuos, en forma de movilización y tratamiento y el cierre de ciclos de material en cuanto a la propia práctica dentro de los procesos de producción.

Una de las principales oportunidades de transición del PILAT es la simbiosis industrial. El 56,67 % de las empresas identificó residuos o subproductos potencialmente aprovechables por otras organizaciones y el 100 % manifestó interés en participar en un sistema de simbiosis industrial, sin embargo solo el 23,33 % mantenía actualmente iniciativas de colaboración interempresarial. Así pues, la principal brecha no se sitúa sólo en la voluntad empresarial, sino en la consolidación de mecanismos eficaces de coordinación y cooperación.

Las dimensiones institucional y tecnológica mostraron una dirección completamente opuesta, por un lado, la mayoría de las empresas no aún incorporaban la circularidad a su planificación



estratégica o incorporaban profesionales especializados en sostenibilidad y, por otro lado, se presentaron, pero en mayor medida, herramientas de monitoreo de la gestión ambiental y rediseño de procesos. Esto, junto a niveles bajos de eficiencia energética, uso de energías renovables e inversión en tecnologías limpias, niveles que fueron identificados como prioritarios para la garantía de la transición.

El Modelo Integral de Transición de la Economía Lineal hacia la Economía Circular (MITEC) hizo posible la integración de las dimensiones técnica, económica, ambiental e institucional conectándolas dentro de un marco común de evaluación que permite, al mismo tiempo la detección de diferencias y la identificación de brechas entre las empresas sobre las que se está investigando. El MITEC es, por lo tanto, el modelo que mayor provecho puede ofrecer a la hora de complementar el valor global del índice con el análisis de sus dimensiones e indicadores, con el objeto de priorizar posibles mejoras, específicas inversiones y la cooperación industrial. Hay que tener en cuenta que, debido al muestreo no probabilístico por conveniencia, los resultados que emergen del estudio deben ser interpretados únicamente para las 30 empresas que han cooperado con el estudio y no como un resultado estadísticamente generalizable para las 140 empresas del PILAT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arranz, C. F. A., Arroyabe, M. F., & Fernandez de Arroyabe, J. C. (2024). Organisational transformation toward circular economy in SMEs: The effect of internal barriers. *Journal of Cleaner Production*, 456, 142307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142307>
- Babkin, A., Shkarupeta, E., Tashenova, L., Malevskaia-Malevich, E., & Shchegoleva, T. (2023). Framework for assessing the sustainability of ESG performance in industrial cluster ecosystems in a circular economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2), 100071. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100071>
- Barrak, E., Rodrigues, C., Henggeler Antunes, C., Freire, F., & Dias, L. C. (2024). Applying multi-criteria decision analysis to combine life cycle assessment with circularity indicators. *Journal of Cleaner Production*, 451, 141872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141872>
- Bustamante-Pérez, A. G., Pedraza-Melo, N. A., Álvarez-Herrera, M., & Mendoza-Gómez, J. (2025). Simbiosis industrial: Factores del ambiente empresarial y desempeño sostenible en empresas del clúster petroquímico de Tamaulipas (México). *Información Tecnológica*, 36(2), 35–46. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642025000200035>



- Cagno, E., Negri, M., Neri, A., & Giambone, M. (2023). One framework to rule them all: An integrated, multi-level and scalable performance measurement framework of sustainability, circular economy and industrial symbiosis. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.016>
- Calzolari, T., Genovese, A., & Brint, A. (2022). Circular economy indicators for supply chains: A systematic literature review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 13, 100160. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100160>
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Harfeldt-Berg, L., & Harfeldt-Berg, M. (2023). Connecting organizational context to environmental sustainability initiatives and industrial symbiosis: Empirical results and case analysis. *Sustainable Production and Consumption*, 40, 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.06.023>
- Ibáñez-Forés, V., Martínez-Sánchez, V., Valls-Val, K., & Bovea, M. D. (2022). Sustainability reports as a tool for measuring and monitoring the transition towards the circular economy of organisations: Proposal of indicators and metrics. *Journal of Environmental Management*, 320, 115784. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115784>
- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>



- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy: Moving away from the three dimensions of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, 243, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>
- Nikolakis, N., Catti, P., Chaloulos, A., van de Kamp, W., Puerto Coy, M., & Alexopoulos, K. (2024). A methodology to assess circular economy strategies for sustainable manufacturing using process eco-efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 445, 141289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141289>
- Payer, R. C., Quelhas, O. L. G., & Bergiante, N. C. R. (2024). Framework to supporting monitoring the circular economy in the context of Industry 5.0: A proposal considering circularity indicators, digital transformation, and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 466, 142850. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142850>
- Perramon, J., Bagur-Femenías, L., Alonso-Almeida, M. del M., & Llach, J. (2024). Does the transition to a circular economy contribute to business resilience and transformation? Evidence from SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 453, 142279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142279>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542–559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>



van der Werf, L., Colletis, G., Negny, S., & Montastruc, L. (2025). Toward a generic method to help develop circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 494, 144678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144678>

CONFLICTO DE INTERESES

No existe.

FINANCIAMIENTO

No aplica.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Yan Carla Antelo Vaca Diez

Metodología: Yan Carla Antelo Vaca Diez

Investigación: Yan Carla Antelo Vaca Diez

Redacción – borrador original: Yan Carla Antelo Vaca Diez

Redacción – revisión y edición: Yan Carla Antelo Vaca Diez

