The Anáhuac Journal, Vol. 26, núm. 2, 2026 | ISSN-e 2683-2690 | https://doi.org/10.36105/theanahuacjour.2026v26n2.3152 | e3152 (pp. 1-34) | https://revistas.anahuac.mx/index.php/the_anahuac_journal

How Prepared Is Sonora's Manufacturing Sector for Industrial Symbiosis (IS)? Capabilities, Barriers, and Sustainable Transition: An Analysis

¿Qué tan preparada está la manufactura de Sonora para la simbiosis industrial (SI)? Un análisis de las capacidades, las barreras y la transición sostenible

Mervin José Cernas-Canteros, Universidad Estatal de Sonora (UES), México (mervincernas@gmail.com), https://orcid.org/0009-0009-8970-7566

Dra. María de los Ángeles Romero-Espinoza, Universidad Estatal de Sonora (UES), México (marielos.romero@ues.mx), https://orcid.org/0000-0003-2782-0212

Dra. Beatriz Alejandra Hurtado Bringas, Universidad Estatal de Sonora (UES), México (beatriz.hurtado@ues.mx), https://orcid.org/0000-0002-3663-6962

Abstract

Industrial symbiosis (IS) is a strategy for promoting sustainability in the manufacturing sector. The aim of this study was to describe the level of symbiotic readiness among manufacturing firms in Sonora in order to identify the factors that contribute to the development of IS. This cross-sectional study adopted a quantitative approach with a descriptive scope and was conducted in 65 manufacturing firms in Sonora, Mexico, using the instrument developed by Agudo and colleagues. The results show that 89.2% of the firms are at intermediate stages of readiness, while only 4.6% are ready to adopt IS. It is concluded that there is a willingness to collaborate and exchange waste and by-products; however, structural and institutional barriers persist, obstructing the acceleration of sustainable industrial transition in Sonora.

Resumen

La simbiosis industrial (SI) es una estrategia para impulsar la sostenibilidad en el sector manufacturero. El objetivo de este estudio fue describir el nivel de preparación simbiótica de las empresas manufactureras de Sonora, con la finalidad de identificar los factores que contribuyen al desarrollo de la SI. Es una investigación de tipo transversal, con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, realizada en 65 empresas manufactureras de Sonora, México, utilizando el instrumento de Agudo y colaboradores. Los resultados muestran que el 89.2% de las empresas están en etapas intermedias de preparación, mientras que solo el 4.6% están listas para adoptar la SI. Se concluye que existe disposición a colaborar e intercambiar residuos y subproductos, pero persisten barreras estructurales e institucionales que obstaculizan la aceleración de la transición industrial sostenible en Sonora.

KEYWORDS / PALABRAS CLAVE

Industrial Symbiosis (IS); Sustainable Industry; circular economy; industrial synergies; responsible consumption / Simbiosis industrial (SI), industria sostenible, economía circular, sinergias industriales, consumo responsable.

JEL Classification / Clasificación JEL: *Q32, Q53, R11.*

Received: January 6, 2026 | Reviewed: July 15, 2026 | Approved: July 21, 2026 | Published: September 21, 2026

The Anáhuac Journal, **Vol. 26, núm. 2, 2026.**
https://doi.org/10.36105/theanahuacjour.2026v26n2.3152
e3152 (pp. 1-34)

1. Introducción

La sostenibilidad representa un desafío urgente para la industria moderna, derivado de una extracción acelerada de recursos que se ha multiplicado por 10 desde 1900, superando la capacidad de regeneración del planeta (Daddi *et al.*, 2017).

Los entornos industriales caracterizados por mayores niveles de cooperación suelen mostrar condiciones más propicias para la adopción de prácticas de simbiosis industrial (SI) (Dadsena *et al*., 2026), que ya constituyen un fenómeno extendido, particularmente en la industria manufacturera (Lippi *et al*., 2025), en la que el enfoque sostenible se traduce en prácticas como la fabricación sostenible, la SI y los modelos de economía circular (Camarinha *et al*., 2024).

En ese sentido, según Sonar *et al*. (2022), la implementación efectiva del desarrollo sostenible exige el establecimiento de redes colaborativas entre gobierno, empresa, sociedad civil, academia y consumidores, las cuales son esenciales para superar barreras como la falta de incentivos normativos, la resistencia al cambio organizacional y la ausencia de indicadores claros sobre el impacto real en el desempeño corporativo (De la Rosa, 2019; Brychko *et al*., 2023).

En este contexto, la SI surge como un modelo estratégico orientado a la sostenibilidad a través del intercambio de recursos, servicios o infraestructuras entre empresas independientes (Daddi *et al.*, 2017). Estas sinergias implicarían la reutilización de residuos industriales como materias primas para otras organizaciones, así como la implementación de proyectos conjuntos que incrementen la eficiencia colectiva (Marchi *et al*., 2017).

La literatura señala que la SI puede desempeñar un papel importante en la transición hacia sistemas productivos más sostenibles, en particular cuando hay coordinación institucional y marcos de gobernanza que facilitan la colaboración empresarial. No obstante, la evidencia empírica se concentra principalmente en Europa y Asia, mientras que los países en desarrollo permanecen poco estudiados (Lippi *et al*., 2025). De acuerdo con Laatsit y Johansson (2025), la SI posee un alto potencial para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y generar beneficios económicos, en especial en sectores intensivos en materiales y energía. Su consolidación se vincula estrechamente con la innovación, ya que el intercambio de subproductos, energía o residuos requiere nuevas tecnologías, modelos de negocio y formas de cooperación.

Una integración más sólida entre los actores que forman la cadena de suministro puede contribuir a identificar oportunidades para el aprovechamiento de recursos y

la reducción de residuos. Los vínculos estrechos entre proveedores, fabricantes y demás participantes facilitan el intercambio de información relevante sobre los flujos de materiales y los procesos productivos; esto, a su vez, favorece la generación de sinergias con potencial para traducirse en iniciativas de SI (Dadsena *et al.*, 2026), por lo que se constituye en una alternativa viable para impulsar la colaboración entre industrias, orientada al reaprovechamiento de materiales de desecho, la reducción de emisiones y el uso más eficiente de los recursos (Brescini *et al*., 2026).

En este tipo de escenarios, propios de las economías emergentes, es imperativo que las empresas enfrenten desafíos significativos vinculados con la minimización de residuos, la mitigación de la contaminación y la preservación de su competitividad económica. No obstante, estos retos también pueden ser nichos de oportunidad para que gobierno y sector empresarial promuevan estrategias innovadoras orientadas a una gestión más eficiente de los recursos (Boom-Cárcamo y Peñabaena-Niebles, 2026).

Asimismo, los marcos de gobernanza específicos cumplen una función esencial en la promoción y regulación de los intercambios simbióticos entre organizaciones, al proporcionar mecanismos institucionales que favorecen la valorización de flujos de residuos de gran volumen en entornos de crecimiento industrial. De igual manera, estos marcos hacen posible incorporar, desde etapas tempranas, los principios de circularidad en la planeación y el desarrollo de los sistemas industriales, contribuyendo así a la transición hacia modelos productivos más eficientes, colaborativos y sostenibles (Brescini *et al.,* 2026).

La SI es un enfoque ampliamente reconocido para fomentar sistemas productivos más sostenibles; no obstante, su factibilidad difiere entre los distintos sectores. La escasez de estudios con enfoque sectorial limita la capacidad de los responsables de políticas públicas para tomar decisiones mejor fundamentadas en materia de regulación e inversión orientadas a promover su adopción (Lippi *et al.*, 2025).

La SI ha incrementado su reconocimiento como una estrategia efectiva para operacionalizar el desarrollo sostenible, al promover el intercambio de recursos entre empresas y facilitar la transición hacia sistemas de producción más eficientes y circulares (Cepal, 2018). Estudios recientes demuestran que la SI contribuye directamente a ocho Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 32 de sus metas, con énfasis en el ODS 12 sobre producción y consumo responsables (Henriques *et al*., 2021). Sin embargo, su funcionamiento requiere una visión estratégica integradora que contemple estructuras de gobernanza sólidas, el compromiso activo de las juntas directivas y la armonización de intereses económicos, sociales y ambientales (Gangi *et al.,* 2022).

The Anáhuac Journal, **Vol. 26, núm. 2, 2026.**
https://doi.org/10.36105/theanahuacjour.2026v26n2.3152
e3152 (pp. 1-34)

2. Marco conceptual

La SI es un enfoque colaborativo para la gestión de recursos que promueve el intercambio de materiales, energía, agua, servicios y subproductos entre organizaciones, con el propósito de optimizar su aprovechamiento, disminuir la generación de residuos y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas productivos (Mortensen y Kørnøv, 2019). Inspirado en las relaciones mutualistas observadas en la biología, este modelo fue trasladado al ámbito empresarial como una extensión de la ecología industrial y, posteriormente, se vinculó con los principios de la economía circular (Ehrenfeld y Gertler, 1997, citado en Agudo *et al*., 2023).

Una de las experiencias pioneras y más reconocidas se desarrolló en Kalundborg, Dinamarca, donde diversas organizaciones establecieron una red de intercambio físico de recursos en un mismo entorno industrial. Este caso mostró que los residuos, excedentes y servicios de una empresa pueden convertirse en insumos útiles para otras, siempre que haya proximidad, coordinación y beneficios compartidos (Neves *et al.,* 2020).

La consolidación de estas relaciones no sucede inmediatamente ni responde a una trayectoria única. Spekkink y Boons (2016) plantean que la SI evoluciona mediante procesos de autoorganización, facilitación institucional y construcción progresiva de vínculos entre actores. Estos autores identifican siete dinámicas relevantes: autoorganización, modificación de los límites organizacionales, intermediación, aprendizaje colectivo, difusión de proyectos piloto, planificación gubernamental y formación de ecoclústeres. Posteriormente, Sun *et al.,* (2017) incorporaron la dinámica de anclaje, mediante la cual determinados actores coordinan, estabilizan y fortalecen las redes simbióticas.

Las relaciones de SI pueden organizarse en tres niveles: i) intercambio de residuos y subproductos; ii) utilización compartida de infraestructura, servicios o instalaciones; y iii) cooperación estratégica para el desarrollo de tecnologías limpias, soluciones logísticas o acceso conjunto a mercados (Marchi *et al.,* 2017). Estas modalidades pueden reducir costos, diversificar las fuentes de ingresos y mejorar la resiliencia operativa de las empresas. Sin embargo, su adopción también enfrenta dificultades vinculadas con la coordinación interorganizacional, la distribución de responsabilidades y la medición de beneficios indirectos, entre ellos la reputación, la confianza y la disminución de riesgos (Lombardi y Laybourn, 2012).

2.1 La simbiosis industrial (SI) como estrategia operativa de la economía circular

La economía circular constituye un marco sistémico orientado a prevenir la generación de residuos, a mantener el valor de los materiales y productos durante el mayor tiempo posible y a disminuir la dependencia de recursos vírgenes. La SI, por su parte, representa una de sus estrategias operativas en el ámbito productivo, ya que facilita que los residuos, subproductos o excedentes generados por una organización se aprovechen como insumos por otra (Boom-Cárcamo y Peñabaena-Niebles, 2026).

Aunque ambos conceptos comparten objetivos de sostenibilidad y eficiencia, son diferentes en alcance. La economía circular comprende el diseño de productos, la prevención de residuos, la extensión de la vida útil, la reutilización, la reparación, la remanufactura y la recirculación de materiales. En contraste, la SI se centra principalmente en la identificación y materialización de los intercambios entre empresas. Por ello, las prácticas simbióticas pueden mejorar el aprovechamiento de los recursos sin garantizar, por sí mismas, el cierre completo de los ciclos materiales (Krzeminski *et al.,* 2026).

Desde esta perspectiva, la principal aportación de la SI consiste en traducir los principios circulares en acciones concretas mediante alianzas, intercambios y mecanismos de cooperación interempresarial. Su desarrollo permite conectar organizaciones, territorios e infraestructuras para cerrar, prolongar u optimizar los ciclos de los recursos en los sistemas productivos (Kalkanis *et al.,* 2026).

Además de sus beneficios ambientales y operativos, estas iniciativas pueden estimular la ecoinnovación, el aprendizaje colectivo y la formación de redes empresariales capaces de generar soluciones compartidas (Le Tellier *et al*., 2019). La creciente presión por reducir el consumo de materias primas y reincorporar materiales residuales en nuevos procesos productivos ha fortalecido la búsqueda de alianzas entre empresas y la creación de ecosistemas de innovación orientados hacia modelos más sostenibles (Ruini *et al.,* 2025).

Las redes industriales, los parques empresariales y los clústeres productivos constituyen espacios especialmente propicios para este tipo de colaboración. La proximidad geográfica puede facilitar el intercambio de materiales, energía, servicios e información, disminuir los costos logísticos y mejorar la coordinación. No obstante, la cercanía física no es suficiente: también se necesita confianza, compatibilidad

técnica, reglas claras y mecanismos de gobernanza que den continuidad a las relaciones establecidas (Dadsena *et al*., 2026).

La dimensión social también es relevante. La cooperación sostenida entre organizaciones puede reforzar la confianza, la colaboración y el capital social en los territorios donde se concreten estas prácticas (Neves *et al.,* 2020). Asimismo, la reducción de residuos y emisiones puede contribuir a mejorar la calidad ambiental y reducir la exposición de las comunidades a materiales peligrosos, siempre que los intercambios sean técnicamente seguros y estén sujetos a una regulación adecuada (Ruini *et al*., 2025).

La implementación de la SI inicia con la identificación de actores y el análisis de flujos de materiales, agua, energía y subproductos. Esto permite detectar recursos subutilizados y posibles correspondencias entre empresas. Posteriormente, cada sinergia debe evaluarse en términos técnicos, económicos, ambientales y regulatorios, considerando costos, beneficios y riesgos.

Para esta evaluación se encuentran herramientas como: el análisis de ciclo de vida —LCA, por sus siglas en inglés—, el análisis tecnoeconómico —TEA, por sus siglas en inglés— y la evaluación del nivel de preparación para la simbiosis —SRL por sus siglas en inglés—. Estas permiten evaluar los efectos ambientales, la factibilidad financiera y las capacidades organizacionales requeridas para establecer intercambios. Una vez ubicadas y valoradas las oportunidades, los proyectos pueden ampliarse en el mismo parque industrial, en la misma cadena de suministro o región (Krzeminski *et al*., 2026).

La disposición empresarial constituye una condición necesaria, aunque no suficiente. Un estudio realizado en São Paulo, Brasil, encontró que la mayoría de las empresas se situaba en niveles intermedios de preparación, debido principalmente a limitaciones técnicas y organizacionales. Este antecedente evidencia que la implementación depende tanto de las capacidades internas como de la existencia de infraestructura, intermediación y políticas públicas que reduzcan las barreras a la colaboración (Agudo *et al*., 2023).

2.2 Transformación del sector manufacturero en Sonora

El sector manufacturero ha desempeñado un papel central en la economía mexicana debido a su contribución al empleo, a las exportaciones y a la articulación con las cadenas internacionales de valor. La ubicación geográfica del país y su frontera con Estados Unidos han favorecido la creación de una plataforma industrial estrechamente

vinculada con el mercado norteamericano (Statista, 2025). El establecimiento y la expansión de actividades manufactureras también pueden generar efectos multiplicadores mediante la creación de empleos, la demanda de servicios especializados y el fortalecimiento de los proveedores regionales (Fortunato *et al.,* 2024).

La transformación de esta actividad se relaciona con los objetivos nacionales de transición energética e industrial. Entre estos está la meta de incrementar la producción de vehículos eléctricos hacia 2030, lo que implica adaptar procesos productivos, infraestructura, capacidades tecnológicas y cadenas de suministro (Pineda, 2023).

A este escenario se suma el avance del *nearshoring*, que ha incrementado el interés por las entidades del norte de México debido a sus ventajas logísticas, su conectividad y su cercanía con Estados Unidos. Las condiciones de Sonora son adecuadas para fortalecer su plataforma manufacturera; sin embargo, los beneficios territoriales de la relocalización dependerán de la consolidación de proveedores, infraestructura, innovación y capital humano especializado (Ramírez Sierra *et al.,* 2025).

En Sonora, la manufactura mantiene una posición estratégica por su relación con las exportaciones, el empleo y con actividades como la minería y algunos segmentos del sector primario. Las ramas vinculadas a la maquinaria, el equipo, los componentes electrónicos y el transporte han contribuido al crecimiento económico estatal. No obstante, el elevado contenido importado de diversos insumos limita la generación de encadenamientos locales, la transferencia tecnológica y la retención de valor agregado en el territorio (Mendoza Sánchez *et al*., 2023).

La entidad también presenta oportunidades asociadas con los semiconductores y la manufactura avanzada, favorecidas por su ubicación fronteriza y la presencia de clústeres productivos. A pesar de ello, persisten restricciones relacionadas con la disponibilidad de personal especializado y con brechas territoriales y de género que podrían limitar el aprovechamiento de las nuevas inversiones (Garrido Lastra y Tapia Marchina, 2024).

En el ámbito empresarial, la adaptación de las compañías manufactureras depende, en buena medida, de su capacidad de innovación organizacional. La evidencia obtenida en Cajeme muestra que la innovación de procesos fortalece la respuesta de las empresas ante cambios del entorno y puede mejorar su competitividad (Gómez-Álvarez y Ochoa-Ávila, 2024).

De manera similar, en Hermosillo, Guaymas y Empalme se han identificado beneficios derivados de la manufactura esbelta, así como obstáculos relacionados con la cultura organizacional, la capacitación y la continuidad de los procesos de mejora.

En conjunto, estos hallazgos indican que la manufactura sonorense presenta dinamismo y potencial competitivo, aunque todavía necesita fortalecer sus capacidades de innovación, proveeduría local y formación de talento para traducir el crecimiento industrial en un mayor desarrollo regional (Piña-Domínguez y León-Balderrama, 2025).

Aunque Sonora ha mostrado periodos de crecimiento económico superiores al promedio nacional, su desempeño de largo plazo ha sido menor que el de otras entidades con transformaciones estructurales más profundas (Fortunato *et al*., 2024). Esta situación plantea la necesidad de avanzar hacia estrategias que, además de atraer inversión, fortalezcan los vínculos productivos locales, la eficiencia en el uso de recursos y la colaboración entre organizaciones.

En este contexto, estudiar la SI adquiere relevancia porque permite valorar si las empresas cuentan con recursos intercambiables, capacidades organizacionales y condiciones institucionales para establecer relaciones de cooperación. Dado que su potencial varía según la estructura productiva, la localización y las características de cada sector, es necesario generar evidencia en contextos geográficos y manufactureros específicos que contribuya al diseño de políticas, estrategias e inversiones más pertinentes (Lippi *et al.,* 2025).

Con este panorama en mente, el objetivo del presente estudio fue describir el nivel de preparación simbiótica de las empresas manufactureras de Sonora, para identificar los factores que contribuyen al desarrollo de la SI.

3. Metodología

El presente estudio es de tipo transversal, con un enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo, realizado en empresas de la industria manufacturera en el norte de México.

3.1 El diseño del muestreo

A partir del "Instrumento de Evaluación de Preparación Simbiótica", de Agudo *et al*. (2023), se modificó y estructuró una encuesta dirigida a directivos de empresas manufactureras con más de 250 empleados, identificadas a través del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). El DENUE (2025) permitió delimitar el tamaño de la

población, considerando filtros como el tamaño, la actividad económica y la ubicación geográfica.

De acuerdo con los registros del DENUE (2025), existen 153 unidades económicas, cuya base sirvió para determinar la muestra, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 10%, lo que resultó en un tamaño de muestra de 60 empresas. El diseño incluyó 12 estratos, agrupando subsectores con baja densidad empresarial en una categoría de "Otras industrias manufactureras", como puede verse en la tabla 1 (ver tabla 1) para asegurar la representatividad de los sectores sin comprometer la viabilidad del estudio (Hernández y González, 2014).

Se aplicaron 65 cuestionarios y específicamente en el estrato 12 (Otras industrias manufactureras) se alcanzó el 70% de la muestra prevista, debido a dificultades de acceso a los informantes. Para mantener el equilibrio se reforzaron los estratos 7 (Fabricación de productos metálicos), 3 (Industria del papel) y 11 (Fabricación de equipo de transporte).

Tabla 1. Diseño del muestreo

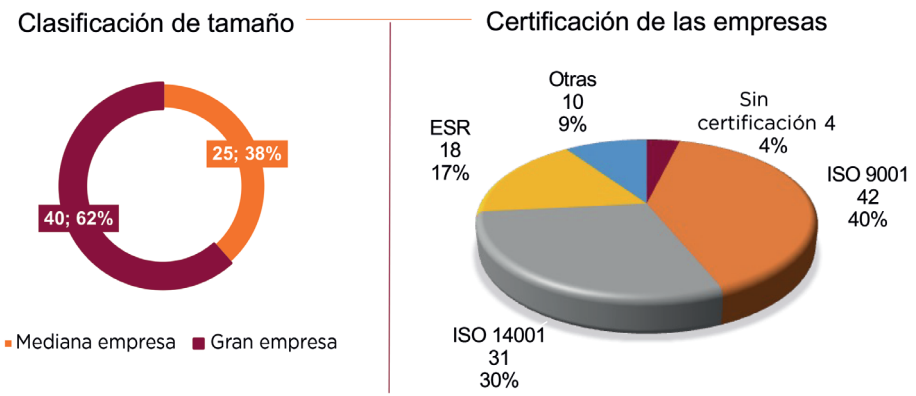
N	Identificación del estrato	Número de empresas en el estrato	%	Muestreo por estrato	Muestra real
1	Industria alimentaria	20	13%	8	8
2	Industria de las bebidas y del tabaco	4	3%	2	2
3	Industria del papel	2	1%	1	2
4	Industria química	2	1%	1	2
5	Industria del plástico y del hule	5	3%	2	4
6	Industrias metálicas básicas	3	2%	1	1
7	Fabricación de productos metálicos	8	5%	3	4
8	Fabricación de maquinaria y equipo	6	4%	2	2
9	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos	28	18%	11	11
10	Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica	14	9%	5	5
11	Fabricación de equipo de transporte	36	24%	14	17
12	Otras industrias manufactureras	25	16%	10	7
Total		153	100%	60	65

Fuente: elaboración propia.

La distribución geográfica de las empresas distribuidas correspondió a 10 municipios del estado de Sonora. Hermosillo concentró el 57% de la proporción de la muestra (37 empresas), seguido de Nogales con el 20% (13 empresas), Agua Prieta y Guaymas aportaron tres empresas cada uno, Empalme, Navojoa y Cajeme, dos cada uno, y Pitiquito, Santa Ana y San Luis Río Colorado una empresa respectivamente, llegando a completar el 100% de la proporción.

En la figura 1 se muestra el tamaño por empresa. El 62% de la muestra corresponde a grandes empresas (más de 500 empleados) y el 38% a medianas empresas (entre 250 y 500 empleados) (ver figura 1). Respecto a certificaciones, el 94% cuenta con alguna norma o distintivo relevante, destacando la ISO 9001 (40%), la ISO 14001 (30%) y el distintivo de empresa socialmente responsable "ESR" (17%) y solo 4% menciono no contar con ninguna certificación o distintivo.

Figura 1. Tamaño y certificación de las empresas participantes



Fuente: elaboración propia.

3.2 Instrumento

El instrumento de medición se integró por 29 preguntas y se adaptó para contextualizarlo al entorno manufacturero del estado de Sonora (Lloret-Segura *et al.,* 2014), con fin facilitar la comprensión de las preguntas realizadas.

El cuestionario se estructuró en tres secciones: la primera, "Datos generales", con información clave del municipio, sector industrial, tamaño de empresa y código

postal, elementos para la clasificación y seguimiento de los casos conforme al diseño de muestreo estratificado.

La segunda sección, "Recursos para intercambiar", incluyó 12 reactivos dirigidos a identificar recursos disponibles en materia de agua, energía, residuos y subproductos. Las preguntas fueron reformuladas en un lenguaje positivo, ajustadas a la terminología técnica empleada por los informantes y alineadas con el marco normativo ambiental mexicano. Asimismo, se amplió el concepto de intercambio, incorporando escenarios dentro y fuera de parques industriales, mediante la introducción del término "organización" para referirse a distintas entidades participantes.

La tercera sección, "Capacidad de intercambiar recursos", consta de 13 reactivos de los medios técnicos y organizacionales disponibles para facilitar los intercambios. En ambas secciones se emplearon preguntas dicotómicas y de escala tipo Likert de siete puntos, para facilitar la medición de percepciones.

En términos de fiabilidad, el instrumento reportó un alfa de Cronbach de .871 para un total de 19 ítems, resultado que sugiere una consistencia interna adecuada entre los reactivos. En la literatura metodológica reciente, coeficientes de esta magnitud suelen interpretarse como evidencia favorable de homogeneidad interna, en la medida en que los ítems comparten varianza y contribuyen de manera coherente a la medición del constructo; no obstante, también se recomienda interpretar el alfa con cautela y como parte de una evaluación más amplia de la calidad métrica del instrumento (Madadizadeh y Bahariniya, 2025; Sijtsma y Pfadt, 2021).

La pertinencia del análisis factorial exploratorio también fue respaldada por los indicadores de adecuación muestral. El índice de Kaiser-Meyer-Olkin alcanzó un valor de 0.708, lo que indica una suficiencia muestral aceptable para examinar la estructura subyacente de la escala, mientras que la prueba de esfericidad de Bartlett resultó estadísticamente significativa, $\chi^2(171) = 1013.100$, $p < .001$. Estos resultados permiten descartar que la matriz de correlaciones sea equivalente a una matriz identidad y respaldan la capacidad de factorización de los datos, tal como recomiendan las guías metodológicas recientes para el desarrollo y la validación de instrumentos mediante análisis factorial exploratorio (Howard, 2023; Karimian y Chahartangi, 2024).

La solución rotada mostró una estructura de cinco componentes con cargas factoriales elevadas en los distintos bloques del cuestionario, lo cual aporta evidencia inicial de validez de constructo basada en la estructura interna. La distribución de las cargas sugiere agrupamientos conceptualmente interpretables en torno a aspectos sustantivos de la SI, tales como el intercambio potencial de recursos y excedentes,

la circulación de información productiva y de sostenibilidad, las capacidades relacionales entre organizaciones y las condiciones habilitadoras para materializar sinergias, entre ellas el financiamiento, la infraestructura compartida y las reglas internas favorables. Esta organización factorial es congruente con estudios recientes sobre preparación, implementación y dinamización de la SI, que destacan la centralidad de las dimensiones técnicas, organizacionales, económicas y de gobernanza para activar escenarios de colaboración interempresarial (Azevedo *et al*., 2021; Henriques *et al*., 2021).

Desde una perspectiva metodológica, los resultados permiten afirmar que el instrumento presenta evidencia inicial satisfactoria de fiabilidad y validez para su uso en el contexto analizado.

3.2.1 Criterios de clasificación del nivel de preparación simbiótica

La clasificación del nivel de preparación simbiótica se realizó mediante el procedimiento propuesto por Agudo *et al.* (2023), adaptado al contexto de las empresas manufactureras de Sonora. Este enfoque parte de que la disposición para implementar la SI no depende únicamente de la existencia de residuos o subproductos aprovechables, sino de la combinación de dos dimensiones complementarias: "los recursos susceptibles de intercambio" y "la capacidad organizacional para concretar dichos intercambios". La primera dimensión considera la disponibilidad y posibilidad de compartir agua, energía, residuos y subproductos; la segunda incorpora condiciones habilitadoras como el acceso a información productiva, la confianza entre organizaciones, la infraestructura disponible, las políticas internas, el financiamiento y la formación de relaciones interempresariales. Estas dimensiones corresponden a la estructura conceptual del instrumento original de evaluación de preparación simbiótica (Agudo *et al*., 2023).

A partir de las respuestas obtenidas sobre "Recursos para intercambiar" y "Capacidad de intercambiar recursos", se calculó para cada empresa un "índice global de preparación simbiótica", que sintetiza tanto la disponibilidad potencial de flujos materiales y energéticos como las capacidades técnicas, informativas, financieras y relacionales necesarias para establecer sinergias con otras organizaciones. Por consiguiente, una puntuación elevada no significa únicamente que la empresa genere recursos aprovechables, sino que también dispone de condiciones internas y externas favorables para convertirlos en intercambios viables y sostenidos. Por otro

lado, una puntuación baja puede reflejar la ausencia de recursos intercambiables, capacidades organizacionales insuficientes o ambas condiciones.

El índice obtenido se interpretó en función de seis categorías ordenadas de preparación. La categoría "No interesada por el momento (NIM)" representa a las empresas que no manifiestan interés ni condiciones iniciales para participar en intercambios simbióticos. La categoría "No lista por el momento (NLM)" corresponde a organizaciones que reconocen la relevancia de la SI, pero todavía carecen de los recursos, capacidades o condiciones habilitadoras mínimas para iniciar su implementación.

Las empresas clasificadas como "En proceso-Nivel 1 (WY1)" representan una etapa incipiente, en la que algunos recursos son susceptibles de intercambio o ciertas capacidades internas, aunque de manera fragmentada y sin una estructura suficiente para establecer relaciones simbióticas estables. En este grupo pueden presentarse iniciativas aisladas, conocimiento preliminar del tema o disposición para colaborar, pero persisten limitaciones importantes relacionadas con información, infraestructura, financiamiento, confianza o políticas organizacionales.

La categoría "En proceso-Nivel 2 (WY2)" ubica a empresas que muestran un avance intermedio: poseen recursos intercambiables y algunas condiciones organizacionales favorables, pero aún deben fortalecer la articulación entre ambos componentes. Aun con prácticas de aprovechamiento de residuos, vínculos empresariales o acceso parcial a infraestructura, todavía se observan barreras que no posibilitan la consolidación de intercambios continuos, formalizados y económicamente viables.

Por su parte, "En proceso-Nivel 3 (WY3)" agrupa a organizaciones con una preparación avanzada, caracterizada por una mayor disponibilidad de recursos, apertura al intercambio, acceso a la información y presencia de capacidades técnicas y relacionales. Sin embargo, todavía pueden requerirse ajustes específicos para lograr una implementación plena, como formalizar asociaciones, asegurar el financiamiento, adaptar la infraestructura, establecer protocolos para compartir información o fortalecer los mecanismos de gobernanza.

Por último, la categoría "Lista o preparada (R)" corresponde a empresas situadas en este nivel que reúnen, de forma simultánea, una disponibilidad favorable de recursos y capacidades suficientemente desarrolladas para implementar prácticas de SI. Esto implica que cuentan con condiciones técnicas, organizacionales, informativas, financieras y colaborativas que incrementan la viabilidad de establecer intercambios con otras empresas. No obstante, la clasificación expresa un nivel de preparación

y no necesariamente demuestra que los intercambios ya se encuentren operando, por lo que debe interpretarse como una estimación de la capacidad y la disposición de las empresas para avanzar hacia su ejecución.

En conjunto, las categorías representan una trayectoria progresiva, desde la ausencia de interés o capacidades hasta una condición avanzada de preparación. Los niveles intermedios —WY1, WY2 y WY3— no deben entenderse como categorías negativas, sino como etapas diferenciadas de desarrollo que permiten identificar las capacidades existentes y las barreras que requieren atención. Esta interpretación facilita la orientación de recomendaciones específicas para cada grupo, en lugar de asumir que todas las empresas necesitan las mismas intervenciones. En los niveles iniciales pueden ser prioritarias la sensibilización, la identificación de flujos y la formación; en los niveles intermedios, la intermediación, el financiamiento y el acceso a la infraestructura; y en los niveles avanzados, la formalización de acuerdos, la evaluación de viabilidad y la consolidación de redes de colaboración. El enfoque original fue diseñado precisamente para diagnosticar la preparación empresarial y ofrecer orientaciones diferenciadas según el grado de avance observado (Agudo *et al.*, 2024).

3.3 Procedimiento para la recopilación de la información

La encuesta se dirigió a responsables de áreas estratégicas como sostenibilidad, medio ambiente, logística, recursos humanos e ingeniería, dado su vínculo directo con la gestión de proyectos de sostenibilidad. Para su administración se empleó *Microsoft Forms*® y la recolección de datos generó de forma automática la primera base de datos.

3.4 Procesamiento y análisis de la información

Los datos obtenidos a través del cuestionario fueron inicialmente depurados en *Microsoft Excel®,* para asegurar la consistencia de las respuestas. Posteriormente, la base de datos se exportó al software IBM *SPSS Statistic* v23.

Primero, se ejecutó un análisis descriptivo para caracterizar a las empresas participantes mediante frecuencias y porcentajes, permitiendo construir un perfil general del conjunto de empresas (Guevara *et al.*, 2020).

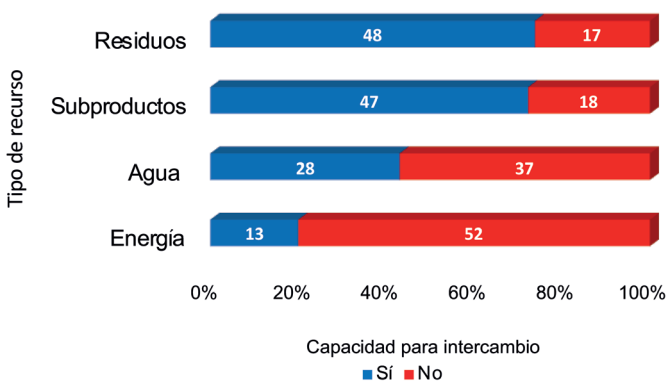
En una segunda etapa, se aplicó un análisis discriminante multivariado para identificar qué variables del nivel de preparación simbiótica permiten clasificar de forma significativa a las empresas según su disposición hacia la SI. Las variables independientes se representaron mediante los 25 reactivos de las secciones II y III, mientras que las variables dependientes fueron los cinco grupos de preparación simbiótica identificados por Agudo *et al.* (2023).

Para validar el modelo discriminante, se realizaron pruebas univariadas de ANOVA para cada variable predictora, la prueba M de Box para examinar la homogeneidad de las matrices de las covarianzas y el análisis de los coeficientes de clasificación de Fisher, con el propósito de identificar la contribución de las variables a la discriminación entre grupos (Torrado-Fonseca y Berlanga-Silvente, 2013).

4. Resultados

En la figura 2 se muestran los resultados: el 74% de las empresas reportaron capacidad para intercambiar residuos y el 72% para subproductos, frente al 43% para agua y solo el 20% para energía. Se destacan los materiales (subproductos y residuos) con mayor capacidad para intercambiarse, de los cuales la energía la es la de menor capacidad (ver figura 2).

Figura 2. Capacidad de intercambiar recursos de las manufactureras participantes



Fuente: elaboración propia.

En tipos de residuos y de energía que pueden intercambiarse, el 73.8% indicó no contar con excedentes energéticos, mientras que solo el 15.4% dispone de energía solar y un 7.7% de biomasa. En cambio, el 76.9% de las empresas podría compartir residuos de manejo especial (RME) y el 9.2%, residuos sólidos urbanos. Solo el 13.8% de las organizaciones señalaron no tener residuos disponibles para intercambio, como puede observarse en la tabla 2. Estos datos reflejan que, aunque los residuos presentan mayor disponibilidad, la energía muestra la menor proporción de capacidad de intercambio, indicando que el 80% de las empresas no cuenta con condiciones para compartirla. Sólo un 15.4% menciona poder intercambiar energía eléctrica solar y un 7.7%, de una fuente de biomasa (ver tabla 2).

Tabla 2. Tipo de energía y residuos que pueden intercambiar

Tipo	**Respuesta**	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Energía excedente	Ninguna	48	73.8
	Energía eléctrica solar	10	15.4
	Energía proveniente de biomasa	5	7.7
	Energía eléctrica eólica	1	1.5
	Vapor	1	1.5
Total		**65**	**100.0**
Residuos que podría compartir	Residuos de manejo especial (RME)	50	76.9
	Residuos sólidos urbanos (RSU)	6	9.2
	Ninguno	9	13.8
Total		**65**	**100.0**

Fuente: elaboración propia.

Los niveles de acuerdo de las empresas participantes respecto a su capacidad para intercambiar distintos tipos de recursos —agua, energía, residuos y subproductos— se presentan en la tabla 3. En el intercambio de agua, el 32% de las empresas manifestó estar totalmente de acuerdo con su capacidad para realizarlo, seguido de un 25% que se declaró relativamente de acuerdo y un 18% de acuerdo, lo que suma un 75% con una disposición positiva. Respecto a la energía,

el 38% indicó estar totalmente de acuerdo, mientras que 15% manifestó estar de acuerdo y 8% relativamente de acuerdo; sin embargo, el 46% permaneció neutral (ver tabla 3).

En relación con los residuos, el 38% de las empresas se declaró totalmente de acuerdo con su capacidad para compartirlos, seguido de un 17% de acuerdo y un 27% relativamente de acuerdo. Esto representa el 82% de disposición positiva y es uno de los tipos de recursos con mayor aceptación para el intercambio. En el caso de los subproductos, el 38% también expresó estar totalmente de acuerdo, el 19% de acuerdo y el 21% relativamente de acuerdo, lo que indica que el 78% de las empresas perciben viabilidad para compartir este tipo de recursos (ver tabla 3).

Estos resultados reflejan que los residuos y subproductos presentan una mayor predisposición para el intercambio entre empresas, mientras que el agua muestra una aceptación moderada y la energía una menor claridad en cuanto a su factibilidad de intercambio

Tabla 3. Capacidad de intercambiar recursos de las manufactureras participantes

Escala de acuerdo de Likert		**Agua**		**Energía**		**Residuos**		**Subproductos**	
		#	%	#	%	#	%	#	%
1	Totalmente en desacuerdo	0	0	0	0	4	8	6	13
2	En desacuerdo	0	0	0	0	0	0	1	2
3	Relativamente en desacuerdo	0	0	0	0	2	4	1	2
4	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	7	25	6	46	3	6	2	4
5	Relativamente de acuerdo	7	25	1	8	13	27	10	21
6	De acuerdo	5	18	1	8	8	17	9	19
7	Totalmente de acuerdo	9	32	5	38	18	38	18	38
	Total	**28**	**100%**	**13**	**100%**	**48**	**100%**	**47**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

La proporción estimada de recursos que las empresas manufactureras estarían dispuestas a compartir, segmentada por tipo de recurso —agua, energía, residuos y

subproductos—, se presenta en la tabla 4. En relación con el agua, un 18 % de las empresas indicó que podría compartir más del 86% de sus recursos hídricos y otro 18% señaló una capacidad entre el 41% y el 55%. Sin embargo, un 28% reportó una disponibilidad inferior al 25%. Respecto a la energía, el 31% manifestó una capacidad de intercambio entre el 11% y el 25%, el 23% reportó menos del 10%, y solo el 15% afirmó poder compartir más del 86%, lo que revela una escasa existencia de excedentes energéticos (ver tabla 4).

En cuanto a los residuos, el 29% reportó una capacidad superior al 86%, el 23% entre el 26% y el 40%, y el 15% entre el 11% y el 25%. Para los subproductos, el 21% declaró una disponibilidad superior al 86%, el 17% entre el 26% y el 40%, y el 15% entre el 41% y el 55%; no obstante, un 23% reportó una capacidad menor al 10%.

Tabla 4. Proporción de intercambiar recursos de las manufactureras participantes

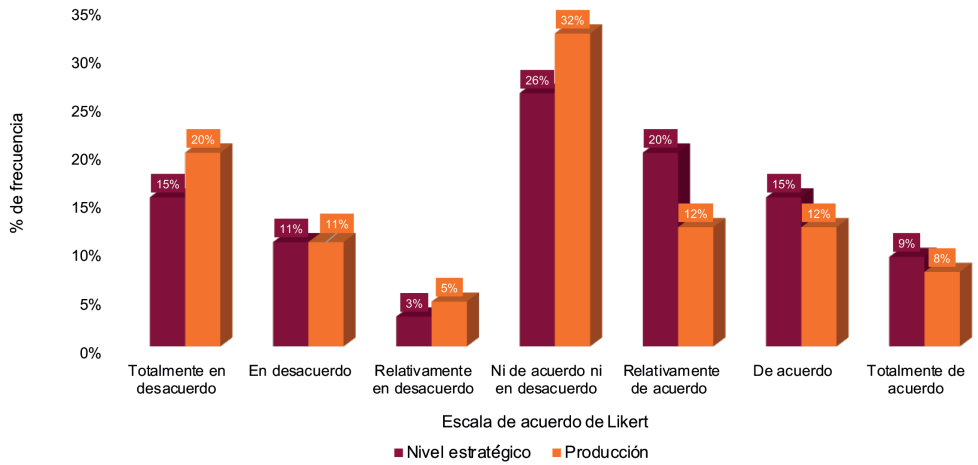
Escala de Likert		**Agua**		**Energía**		**Residuos**		**Subproductos**	
		#	%	#	%	#	%	#	%
1	Menos del 10%	4	14	3	23	4	8	11	23
2	Del 11 al 25%	4	14	4	31	7	15	3	6
3	Del 26 al 40%	3	11	2	15	11	23	8	17
4	Del 41 al 55%	5	18	1	8	3	6	7	15
5	Del 56 al 70%	3	11	1	8	6	13	3	6
6	Del 71 al 85%	4	14	0	0	3	6	5	11
7	Más del 86%	5	18	2	15	14	29	10	21
	Total	28	100%	13	100%	48	100%	47	100%

Fuente: elaboración propia.

En relación con el acceso a datos/información desagregada para los niveles estratégico y de producción, detallados en la figura 3, a nivel estratégico, un 44% de los participantes expresó acuerdo (escala de Likert 5, 6 y 7). En contraste, un 29% manifestó desacuerdo (escala de Likert 1, 2 y 3), mientras que un 26% se mantuvo en una posición neutral (ver figura 3).

A nivel de producción, la percepción del acceso informativo es más restrictiva: solo un 32% manifestó estar de acuerdo (escala de Likert 5, 6 y7), mientras que el 36% expresó desacuerdo (escala de Likert 1, 2 y 3), y otro 32% se posicionó de manera neutral.

Figura 3. Acceso a datos/información a nivel estratégico y de producción



Fuente: elaboración propia.

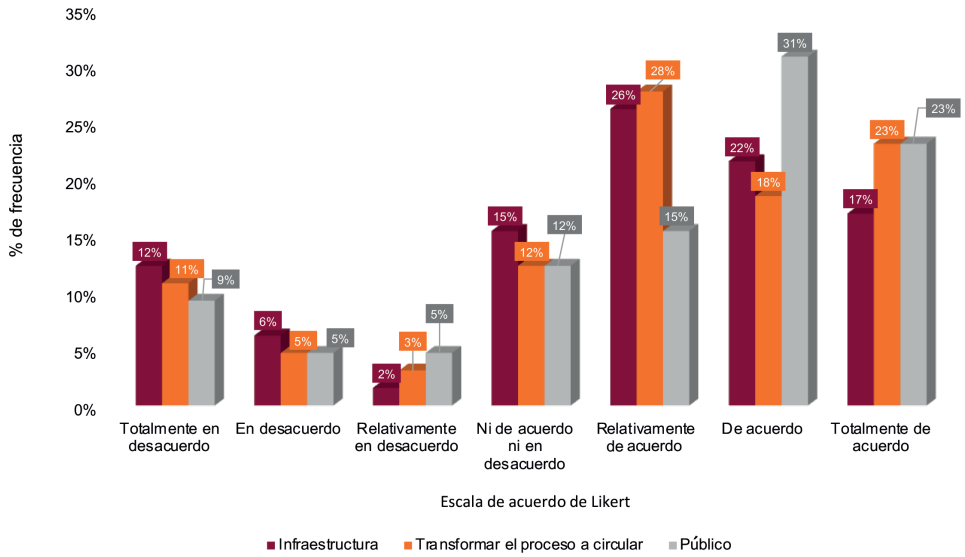
La percepción de las empresas participantes en relación con el acceso a financiamiento, en la figura 4, muestra los resultados en tres áreas para la adopción de la SI: inversión en infraestructura, financiamiento para procesos circulares y disponibilidad de financiamiento público (ver figura 4).

En el acceso a financiamiento para infraestructura, el 65% de las empresas expresó estar de acuerdo en distintos grados (escala de Likert 5 a 7), destacando que el 22% está de acuerdo y el 17% totalmente de acuerdo. Por otro lado, un 20% manifestó algún nivel de desacuerdo (escala de Likert 1 a 3), mientras que un 15% se ubicó en una posición neutral.

Específicamente en el financiamiento destinado a transformar procesos hacia esquemas circulares, el 69% de las empresas reportó estar de acuerdo (escala de Likert 5 a 7), con un 28% relativamente de acuerdo y un 23% totalmente de acuerdo. El 19% expresó desacuerdo (escala de Likert 1 a 3) y el 12% se posicionó como neutral.

En relación con el acceso a financiamiento público, el 69% también manifestó estar de acuerdo (escala de Likert 5, 6), lo cual evidencia una percepción favorable sobre el apoyo institucional. Sin embargo, un 19% expresó desacuerdo y un 15% se mostró neutral. Estos resultados reflejan una mayor confianza de las empresas en la disponibilidad de financiamiento para proyectos circulares y recursos públicos, en comparación con el financiamiento específicamente orientado a infraestructura.

Figura 4. Inversión en infraestructura, transformación de procesos y financiamiento público



Fuente: elaboración propia.

La distribución de frecuencias del nivel de acuerdo de las empresas en relación con el desarrollo de relaciones interempresariales, las políticas internas para el intercambio de materiales y el acceso a la infraestructura se observa en la tabla 5. En lo que respecta a desarrollo de relaciones, el 60% de las empresas se ubicó en los niveles altos de la escala (escala de Likert 6 y 7), con un 32% "De acuerdo" y un 28% "Totalmente de acuerdo". Solo el 14% se ubicó en los niveles de desacuerdo (escala de Likert de 1 a 3), mientras que el 17% seleccionó la categoría neutral, lo que sugiere una inclinación hacia valores altos, es decir, una tendencia positiva en el reconocimiento de relaciones colaborativas (ver tabla 5).

En cuanto a las políticas internas para el intercambio de materiales, el 41% de las empresas seleccionó las categorías altas (escala de Likert 6 y 7), el 22% se posicionó en las categorías bajas (escala de Likert de 1 a 3) y un 12% se mantuvo en la categoría neutral, lo que se traduce en una mayor dispersión de las respuestas de las empresas participantes.

Respecto al acceso a la infraestructura compartida, el 42% de las empresas mostró un acuerdo (escala de Likert 6 y 7), con una mayor proporción en la categoría "Totalmente de acuerdo" (22%). En contraste, el 24% manifestó desacuerdo y un 11% se mantuvo neutral.

Tabla 5. Nivel de acuerdo con políticas, relaciones y acceso a infraestructura

	Escala de acuerdo de Likert	Desarrollo de relaciones interempresariales		Tiene políticas internas que favorecen el intercambio de materiales		Con acceso a infraestructura interna	
		#	%	#	%	#	%
1	Totalmente en desacuerdo	6	9	6	9	8	12
2	En desacuerdo	1	2	3	5	6	9
3	Relativamente en desacuerdo	2	3	5	8	2	3
4	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	11	17	8	12	7	11
5	Relativamente de acuerdo	6	9	16	25	15	23
6	De acuerdo	21	32	15	23	13	20
7	Totalmente de acuerdo	18	28	12	18	14	22
	Total	**65**	**100%**	**65**	**100%**	**65**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

En términos de nuevas asociaciones para el intercambio de recursos en los últimos dos años. El 63.1% reportó no haber establecido nuevas asociaciones, 29.2% indicó haber generado entre una y tres asociaciones. Las frecuencias para los rangos de cuatro a seis, 10 a 12, y más de 15 asociaciones fueron de 1.5%, 1.5% y 4.6%, respectivamente. No se registraron casos en los rangos de siete a nueve ni de 13 a 15 asociaciones.

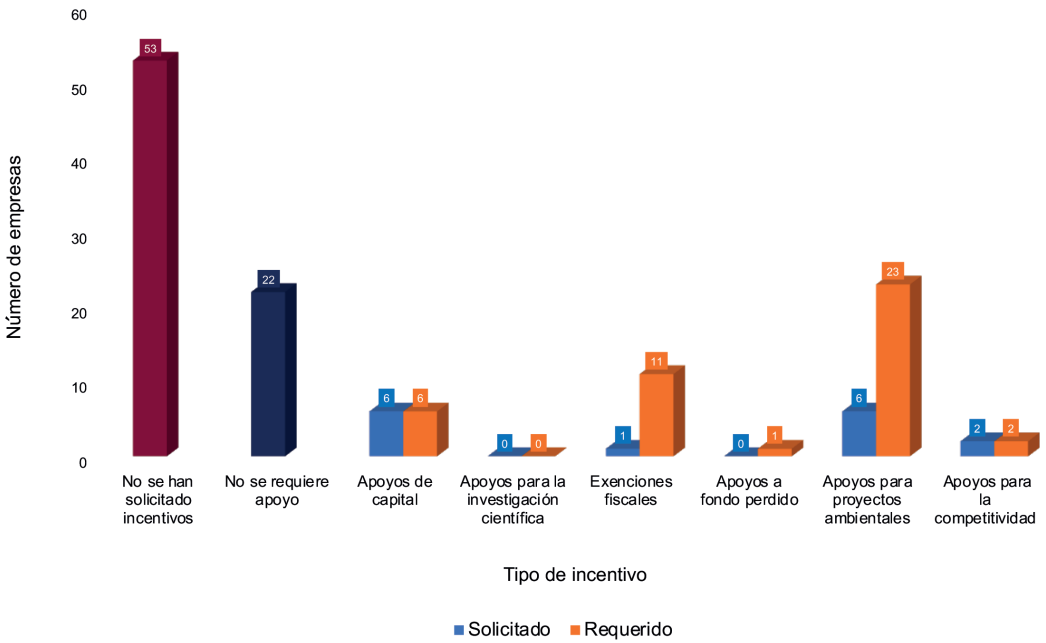
En el estudio se detectó que el 49.2% de las empresas prefiere intercambiar recursos con empresas del mismo giro comercial dentro de la misma zona o parque industrial. Un 20% señaló preferencia por empresas de diferente giro comercial en la misma zona. El 18.5% señaló que con "cualquier tipo de empresa dentro o fuera de la zona". Las frecuencias más bajas se observaron en las categorías de empresas del mismo giro fuera de la zona (4.6%) y de diferente giro fuera de la zona (7.7%).

La distribución de las empresas según el tipo de incentivos que han solicitado y los que consideran necesarios se aprecia en la figura 5, que muestra que el 81.5% no ha solicitado ningún tipo de incentivo relacionado con el intercambio de recursos o sostenibilidad, mientras que 33.8% considera que no requiere apoyo. Sin embargo, se observa una demanda de 35.4% para solicitar incentivos para proyectos ambientales, a pesar de que únicamente 9.2% ha solicitado este tipo de apoyo. Del mismo modo, 16.9% indicó requerir exenciones fiscales, aunque solo 1.5% lo ha solicitado.

Se detectan brechas entre la demanda y la solicitud de apoyo en incentivos como apoyos a fondo perdido (0% solicitado versus 1.5% requerido), apoyos para capital

(9.2% solicitado y 9.2% requerido) y apoyos para la competitividad (3% solicitado y 3% requerido). Las categorías con menor representación fueron los apoyos para la investigación científica, con 0% (ver figura 5).

Figura 5. Incentivos solicitados y requeridos



Fuente: elaboración propia.

4.1 Nivel de preparación simbiótica de las empresas

Las estadísticas descriptivas del nivel de simbiosis industrial (NSI) muestran que la media fue de 3.2577 (EE = 0.11968), correspondiente al nivel "proceso-Nivel 2" (WY2), con un intervalo de confianza del 95 % entre 3.0186 y 3.4968. La mediana (3.4211), superior a la media, sugiere asimetría negativa, lo cual se confirma con un coeficiente de asimetría de -0.835. La curtosis de 0.672 indica una mayor concentración en torno a la media. El NSI mostró un rango de 0.71 a 5.00 (amplitud total = 4.29), con una desviación estándar de 0.96486 y una varianza de 0.931, lo que refleja una dispersión moderada.

El 52.3% de las empresas se ubicó en WY2 y el 24.6% en WY3, por lo que el 76.9% se concentra en etapas intermedias relativamente avanzadas. El 12.3%, clasificado en WY1, representa organizaciones que han desarrollado capacidades iniciales, pero todavía presentan brechas importantes. El 6.2% de empresas no listas por el momento requiere intervenciones más básicas, como identificación de flujos, sensibilización y desarrollo de capacidades internas. En contraste, solo el 4.6% está preparado para implementar prácticas simbióticas, lo que evidencia que la disposición favorable todavía no se traduce, de manera generalizada, en condiciones plenamente consolidadas (ver figura 6).

Figura 6. Cuadrante de preparación simbiótica



Fuente: elaboración propia.

El rango intercuartil fue de 1.07, lo que evidencia que el 50% central de las observaciones se agrupa en un intervalo relativamente estrecho. En conjunto, los resultados reflejan una preparación simbiótica en "*proceso - Nivel* 2" (WY2) en promedio, con heterogeneidad moderada y ligera concentración en niveles más altos.

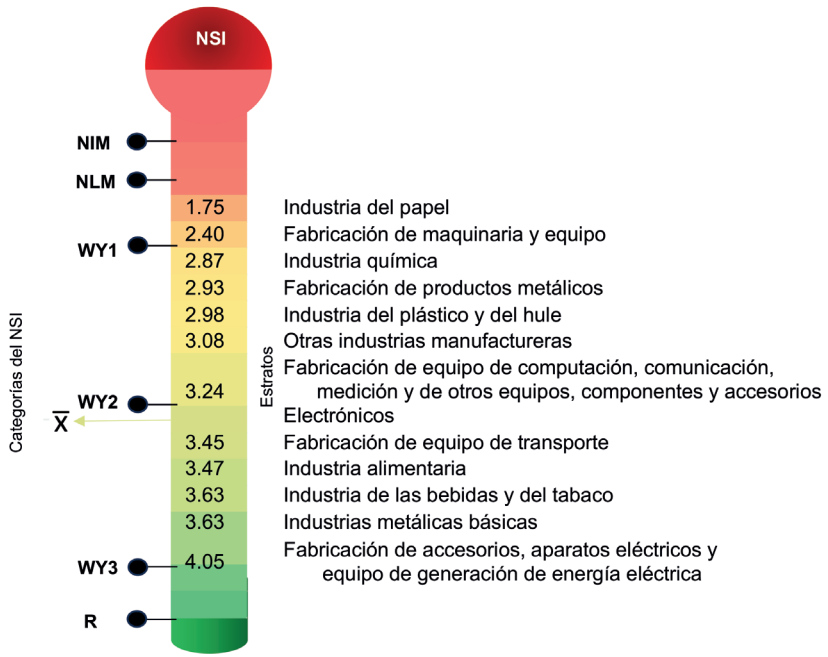
El NSI por estrato se detalla en la figura 7. El giro con mayor NSI es la fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación eléctrica (NSI = 4.05), seguido de industrias metálicas básicas (3.63), industria de bebidas y tabaco (3.63) e industria alimentaria (3.47). En el extremo inferior, la industria del papel reporta un NSI de 1.75 y la fabricación de maquinaria y equipo alcanza 2.40, ubicándose

The Anáhuac Journal, **Vol. 26, núm. 2, 2026.**
https://doi.org/10.36105/theanahuacjour.2026v26n2.3152
e3152 (pp. 1-34)

en las categorías NIM y NLM, respectivamente. Los sectores en nivel WY1 incluyen la industria química (2.87), productos metálicos (2.93) y plástico y hule (2.98). Estos contrastes sugieren que la preparación simbiótica depende de las características tecnológicas, de la naturaleza de los residuos, de la infraestructura y de las posibilidades de conexión entre las cadenas productivas. Sin embargo, en los estratos con pocas empresas, los promedios pueden verse fuertemente influidos por casos particulares y no hay que hacer generalizaciones sin considerar el tamaño de cada subgrupo (ver figura 7).

Hermosillo registra un NSI de 3.4, superior al de Nogales (2.9). Por tamaño, las medianas empresas (250 a 500 empleados) tienen un NSI de 3.34, mientras que las grandes (más de 500 empleados) alcanzan 3.21.

Figura 7. Nivel de simbiosis industrial (NSI) por estrato



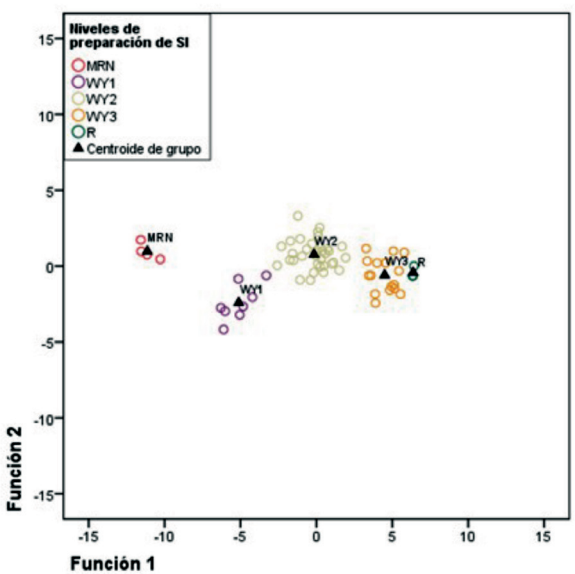
Fuente: elaboración propia.

La dispersión, que se muestra en la figura 8, representa visualmente la separación entre los grupos definidos por el nivel de preparación hacia la SI:

- La función 1 explica el 89.0% de la varianza discriminante, por lo que constituye el principal eje de diferenciación entre los niveles de preparación. Su asociación con la infraestructura compartida, la disposición a intercambiar residuos y subproductos, el financiamiento y las redes colaborativas indican que estas variables concentran la mayor capacidad para distinguir entre empresas con preparación baja, intermedia o avanzada. En términos prácticos, la transición hacia niveles superiores depende principalmente de que las organizaciones combinen recursos intercambiables con condiciones institucionales y relacionales que les permitan aprovecharlos.
- La función 2 explica el 5.9% de la varianza, por lo que su capacidad discriminante es mucho menor. No obstante, permite identificar diferencias más específicas entre los grupos intermedios, especialmente en aspectos operativos, como el volumen de residuos o de subproductos disponibles.

En suma, la primera función separa a las empresas especialmente por sus capacidades estratégicas y estructurales, mientras que la segunda esboza matices asociados a la disponibilidad concreta de flujos aprovechables (ver figura 8).

Figura 8. Distribución de grupos según funciones discriminantes



Fuente: elaboración propia.

En conjunto, los indicadores muestran que la preparación simbiótica de las empresas manufactureras de Sonora presenta tres características principales: una concentración predominante en niveles intermedios, una heterogeneidad moderada entre sectores y empresas, y una dependencia importante de factores habilitadores como infraestructura, financiamiento, información y colaboración. Es decir, existe una base favorable que necesita mecanismos de articulación, inversión y acompañamiento para convertirse en intercambios efectivos y sostenidos.

5. Discusión

Los resultados muestran que la manufactura de Sonora tiene una preparación simbiótica predominantemente intermedia: 52.3% de las empresas se ubicó en WY2 y 24.6% en WY3, mientras que solo 4.6% alcanzó la categoría de preparada. Esta distribución indica que hay disposición para colaborar y ciertas capacidades para intercambiar recursos, pero aún no se integran plenamente las condiciones técnicas, organizacionales, financieras e institucionales necesarias para establecer relaciones simbióticas estables. La ausencia de empresas clasificadas como no interesadas sugiere que el principal desafío no es generar interés, sino transformar esa disposición en proyectos formalizados y sostenibles.

Este patrón coincide con Agudo *et al.* (2023), quienes encontraron en São Paulo una concentración similar en niveles intermedios de preparación. En ambos contextos latinoamericanos, la transición hacia la SI parece ser gradual y estar condicionada por la capacidad para identificar socios, evaluar la compatibilidad de los flujos y distribuir costos, riesgos y beneficios. Sin embargo, el caso sonorense contrasta con el corredor Altamira-Tampico estudiado por Morales *et al.* (2019), donde las relaciones simbióticas se consolidaron mediante intercambios prolongados, el aprendizaje y las conexiones territoriales. En Sonora, 63.1% de las empresas no había establecido nuevas asociaciones durante los dos años anteriores, lo que evidencia que la proximidad industrial no es suficiente sin intermediación y continuidad institucional.

Una fortaleza destacada es la disposición a intercambiar residuos y subproductos, reportada por 82% y 78% de las empresas, respectivamente. Estos resultados coinciden con Marchi *et al.* (2017), quienes identifican los intercambios materiales como una modalidad inicial frecuente por sus beneficios en reducción de costos y sustitución de materias primas. No obstante, Lombardi y Laybourn (2012) advierten que la consolidación de la simbiosis requiere, además, confianza, cooperación estratégica y

creación conjunta de valor. La disponibilidad de residuos de manejo especial ofrece oportunidades para proyectos piloto, aunque su viabilidad depende de su calidad, volumen, regularidad, localización y costos de acondicionamiento. Como señalan Henriques *et al.* (2021) y Lippi *et al*. (2025), los habilitadores, las barreras y los patrones de intercambio varían entre sectores, por lo que son necesarias estrategias diferenciadas.

En contraste, la energía presentó la menor capacidad de intercambio: 73.8% no reportó excedentes y solo una proporción reducida identificó posibilidades relacionadas con energía solar o biomasa. Este hallazgo coincide con Fraccascia *et al.* (2021), quienes destacan que la simbiosis energética exige infraestructura, inversión, proximidad y continuidad del suministro. En Sonora, el potencial solar todavía no se traduce en excedentes transferibles ni en sistemas compartidos, por lo que su aprovechamiento demandaría esquemas de generación distribuida, almacenamiento y gobernanza.

Los resultados también muestran limitaciones informativas: solo el 44% valoró favorablemente el acceso a datos estratégicos y 32% a información productiva. Estas brechas dificultan cuantificar flujos, identificar compatibilidades y evaluar beneficios, en concordancia con las barreras tecnológicas e informativas señaladas por Yang *et al*. (2022). Asimismo, la preferencia por intercambiar con empresas del mismo giro y de la misma zona puede facilitar la confianza, pero limitar las complementariedades intersectoriales; por ello, Dadsena *et al.* (2026) subrayan la necesidad de plataformas que conecten cadenas de suministro diversas.

La infraestructura compartida, el financiamiento y las redes colaborativas fueron los principales factores diferenciadores. Este resultado coincide con Spekkink y Boons (2016) y Sun *et al*. (2017), quienes resaltan la intermediación, el aprendizaje y el anclaje institucional. Aunque 69% percibió favorablemente el financiamiento público, 81.5% no había solicitado incentivos, brecha también observada en países emergentes por Boom-Cárcamo y Peñabaena-Niebles (2026).

En conjunto, Sonora posee un potencial simbiótico aún no consolidado. La transición requiere intervenciones escalonadas: sensibilización y caracterización de flujos en WY1; vinculación, información y evaluación de factibilidad en WY2; y formalización, infraestructura y gestión de riesgos en WY3. Las empresas preparadas podrían operar como casos demostrativos y como actores que atraen a otras empresas a las redes regionales.

6. Conclusiones

Se observa un panorama favorable para el desarrollo de la SI en la industria manufacturera de Sonora, debido a que la mayoría de las empresas participantes se ubica en un nivel intermedio de preparación, con posibilidades de vinculación tanto en el interior como en el exterior de las zonas industriales. Al mismo tiempo, se observan limitaciones de carácter estructural, técnico y de articulación entre las empresas. En términos sectoriales, el giro con mayor NSI correspondió a la fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación eléctrica, con un promedio de 4.05%; asimismo, las empresas medianas (250 a 500 empleados) registraron el mayor nivel general, mientras que el estrato de la industria del papel presentó el menor nivel de simbiosis.

Los elementos diferenciadores en la preparación simbiótica identificados fueron el acceso a infraestructura compartida, la participación en redes colaborativas, el acceso a financiamiento y la capacidad para intercambiar residuos y subproductos. Entre estos últimos, los residuos de manejo especial destacaron por su mayor disponibilidad, lo que los ubica como un referente importante en el análisis de oportunidades para la SI en el estado.

De igual manera, las condiciones regionales asociadas a la escasez hídrica y al potencial solar de Sonora sitúan el reaprovechamiento del agua y de la energía solar como temas relevantes en la agenda de la SI. Aunque las empresas expresan interés en recibir apoyos vinculados a la atención de sus procesos ambientales, también se observa una menor disposición hacia proyectos de intercambio sustentados en investigación aplicada. En este marco, los esquemas de investigación y desarrollo (I+D) orientados al intercambio de recursos constituyen una línea pertinente a considerar en futuras estrategias y estudios sobre SI.

A partir de los resultados obtenidos, el fortalecimiento de mecanismos de intermediación institucional, el diseño de incentivos específicos y accesibles, la interoperabilidad de datos estratégicos y la promoción de espacios de formación se erigen como aspectos relevantes en el entorno de la SI en Sonora. En conjunto, estos elementos delinean un marco de referencia útil para comprender las condiciones organizativas e institucionales vinculadas a la colaboración industrial y su correspondencia con marcos más amplios de sostenibilidad y de desarrollo regional.

Por último, los hallazgos deben interpretarse considerando que el nivel de preparación se construyó a partir de información autorreportada sobre capacidades y

percepciones empresariales, y no de una medición directa de intercambios efectivamente realizados. La elevada disposición a compartir recursos podría estar influida por una valoración favorable de la sostenibilidad que no necesariamente se traduce en factibilidad técnica o económica. Aunque el NSI utilizado se basa en la disponibilidad de recursos para el intercambio, este criterio puede no reflejar con la misma precisión la situación de las industrias que operan bajo políticas de "cero residuos".

Referencias

Agudo, F. L., Bezerra, B. S. y Gobbo Júnior, J. A. (2023). "An Overview of Brazilian Companies' Readiness to Implement Industrial Symbiosis". *Business Strategy and the Environment*, 33(2), 1066-1080. https://doi.org/10.1002/bse.3534

Azevedo, J., Ferreira, I., Dias, R., Ascenço, C., Magalhães, B., Henriques, J., Iten, M. y Cunha, F. (2021). "Industrial Symbiosis Implementation Potential-An Applied Assessment Tool for Companies". *Sustainability*, 13(3), 1420. https://doi.org/10.3390/su13031420

Boom-Cárcamo, E. y Peñabaena-Niebles, R. (2026). "Industrial Symbiosis in Emerging Countries: A Study on Economic, Social and Environmental Business Challenges". *Results in Engineering*, 29(109460). https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109460

Brescini, M., Antomarioni, S., Ciarapica, F. E. y Bevilacqua, M. (2026). "A Critical Review on Industrial Symbiosis Applied to the Steel Manufacturing". *Environmental Technology Reviews*, 15(1), 97-117. https://doi.org/10.1080/21622515.2025.2608249

Brychko, M., Bilan, Y., Lyeonov, S. y Streimikiene, D. (2023). "¿Do Changes in the Business Environment and Sustainable Development Really Matter for Enhancing Enterprise Development?" *Sustainable Development, 31*(2), 587-599. https://doi.org/10.1002/sd.2410

Camarinha-Matos, L., Dionisio, A. y Graça, P. (2024). "Collaborative Approaches in Sustainable and Resilient Manufacturing". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 499-519. https://doi.org/10.1007/s10845-022-02060-6

Daddi, T., Benedetta, N. y Fabio, I. (2017). "Using Life Cycle Assessment (LCA) to Measure the Environmental Benefits of Industrial Symbiosis in an Industrial Cluster of SMEs". *Journal of Cleaner Production*, 147(20), 157-164. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.090

Dadsena, K. K., Rathore, P., Mathiyazhagan, K., Jayaraman, R. y Saha, E. (2026). "Adoption of Circular Economy Practices in Supply Chains to Enhance Firm Performance: Industrial Symbiosis and Ecological Modernization Theory Perspective". *The International Journal of Logistics Management* (ahead-of-print), 1-31. https://doi.org/10.1108/IJLM-06-2024-0341

De la Rosa, M. (2019). "La aplicación de la gestión ambiental en las organizaciones económicas en México: el caso de la industria maquiladora en Sonora". En L. Padilla y A. Lara, *Sustentabilidad y Gestión Ambiental* (pp. 265-284). Universidad Autónoma de Zacatecas.

Fortunato, A., Arcay, G., Barrios, D., Bustos, S., Daboin, J., Lamby, L., Hausmann, R. (2024). *Growth through Diversification in Hermosillo*. John F. Kennedy School of Government, Harvard University.

Fraccascia, L., Yazdanpanah, V. y Capelleveen, G. v. y Kazan, D. M. (2021). Energy-Based Industrial Symbiosis: A Literature Review for Circular Energy Transition*". Environment, Development and Sustainability*, 25, 4791-4825. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00840-9

Gangi, F., Mustilli, M., Michela, L. y Coscia, M. (2022). "The Sustainable Development of the Aerospace Industry: Drivers and Impact of Corporate Environmental Responsibility". *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 218-235. https://doi.org/10.1002/bse.2883

Garrido Lastra, M. I. y Tapia Marchina, S. (2024). "Escenarios educativos y laborales para la relocalización de la industria de semiconductores en México. Un análisis regional desde la perspectiva de género". *Revista de Economía*, 41(102), 6-30. https://doi.org/10.33937/reveco.2024.385

Gómez-Álvarez, P. D. y Ochoa-Ávila, E. (2024). "Innovación organizacional y su influencia sobre la adaptabilidad de empresas manufactureras en Cajeme (Sonora, México)". *Suma de Negocios*, 15(33), 81-89. https://doi.org/10.14349/sumneg/2024.V15.N33.A1

Guevara, G. P., Verdesoto, A. E. y Castro, N. E. (2020). "Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)". *RECIMUNDO, Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento,* 4(3), 163-173. https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

Henriques, J., Ferrão, P., Castro, R. y Azevedo, J. (2021). "Industrial Symbiosis: A Sectoral Analysis on Enablers and Barriers". *Sustainability*, 13(4), 1723. https://doi.org/10.3390/su13041723

Hernández, J. y González, G. (2014). "Muestreo estratificado". En K. Sánez y G. Tamez (eds.), *Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en ciencias sociales* (pp. 437--458). Tirant Humanidades.

Howard, M. C. (2023). "A Systematic Literature Review of Exploratory Factor Analyses in Management". *Journal of Business Research*, 164, 113969. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113969

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

Kalkanis, K., Viziryiannakis, V. y Psomopoulos, C. S. (2026). "The Role of Industrial Symbiosis in the Circular Economy". In K. G. Aravossis, G. L. Kyriakopoulos y E. Strantzali, *Circular Economy for Sustainable Development* (pp. 1-22). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003654889-1

Karimian, Z. y Chahartangi, F. (2024). "Development and Validation of a Questionnaire to Measure Educational Agility: A Psychometric Assessment Using Exploratory Factor Analysis". *BMC Medical Education*, 24, 1284. https://doi.org/10.1186/s12909-024-06307-z

Krzeminski, P., Anastasovski, A., Erceg, A., Činčurak Erceg, B., Dosoretz, C. G., Borg, M., . . . Skoulou, V. (2026). "From Theory to Practice: A Methodological Roadmap for Mapping, Assessing, and Implementing Industrial Symbiosis. *Cleaner Engineering and Technology*, 31, 101159. https://doi.org/10.1016/j.clet.2026.101159

Laatsit, M. y Johansson, G. (2025). "Fostering Industrial Symbiosis in Process Industries: An Innovation Policy Perspective". *Environmental Technology & Innovation*, 37, 104027. https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104027

Le Tellier, M., Berrah, L., Stutz, B. y Audy, J.-F. B. (2019). "Towards Sustainable Business Parks: A Literature Review and a Systemic Model". *Journal of Cleaner Production*, 216, 129-138. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.145

Lippi, G., Evola, R. S. y Vesce, E. (2025). "Industrial Symbiosis Patterns in Eco-Industrial Parks: A Sectoral Analysis Based on Global Empirical Data". *Journal of Cleaner Production*, 529, 146807. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146807

Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A. y Tomás-Marco, I. (2014). "El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada". *Annals of Psychology*, 30(3), 1151-1169. https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361

Lombardi, R. y Laybourn, P. (2012). "Redefining Industrial Symbiosis". *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28-37. https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x

Madadizadeh, F. y Bahariniya, S. (2025). Tutorial on Internal Consistency Assessment by Cronbach's Alpha and McDonald's Omega . *Perioperative Care and Operating Room Management*, 41, Article 100568. https://doi.org/10.1016/j.pcorm.2025.100568

Marchi, B., Zanoni, S. y Zavanella, L. E. (2017). "Symbiosis Between Industrial Systems, Utilities and Public Service". *Energy Procedia* 128, 544-550. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.006

Mendoza Sánchez, M. A., Vargas Mendia, G. y Coronado Acosta, L. (2023). "Especialización productiva, interdependencia sectorial y crecimiento de las ramas económicas de Sonora, 2003-2019". *Región y Sociedad*, 35, e1810. https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1810

Morales, M., Diemer, A., Cervantes, G. y Carrillo, G. (2019). "¢By-Product Synergy¢ Changes in the Industrial Symbiosis Dynamics at the Altamira-Tampico Industrial Corridor: 20 Years of Industrial Ecology in Mexico". *Resources, Conservation & Recycling*, 140, 235-245. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.026

Mortensen, L. y Kørnøv, L. (2019). "Critical Factors for Industrial Symbiosis Emergence Process". *Journal of Cleaner Production*, 212, 56-69. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.222

Naciones Unidas (ONU), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales. Cepal.

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G. y Matias, J. C. O. (2020). "A Comprehensive Review of Industrial Symbiosis". *Journal of Cleaner Production*, 247, 119113. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113

Pineda, M. (2023). "Industria automotriz en México: balance 2022 y proyecciones 2023". *Modern Machine Shop México*. https://www.mms-mexico.com/articulos/industria-automotriz-en-mexico-balance-2022-y-proyecciones-2023

Piña-Domínguez, R. y León-Balderrama, J. I. (2025). "La adopción de manufactura esbelta en la industria maquiladora de Hermosillo, Guaymas y Empalme, Sonora". *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 12(72), 41-57. https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/manufac_esbelta_son._4_riiit_ene-feb_2025.pdf

Ramírez Sierra, G. D., González Martínez, A. A., Villegas Rojas, F. F. y Monroy Cruz, M. Á. (2025). "Impacto del *nearshoring* en la actividad económica de México (2020-2023)". *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 56(220), 125-152. https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2025.220.70230

Ruini, A., Bundgaard, A. M., Mosgaard, M. A., Løkke, S. y Pizzo, M. (2025). "Normative and Empirical Solutions to the Upcycling Dilemma". *Sustainable Production and Consumption*, 54, 466-475. https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.01.022

Sijtsma, K. y Pfadt, J. M. (2021). "Part II: On the Use, the Misuse, and the Very Limited Usefulness of Cronbach's Alpha: Discussing Lower Bounds and Correlated Errors" . *Psychometrika, 86*(4), 843-860. https://doi.org/10.1007/s11336-021-09789-8

Sonar, H., Mukherjee, A., Gunasekaran, A. K. y Rajesh. (2022). "Sustainable Supply Chain Management of Automotive Sector in Context to the Circular Economy: A Strategic Framework". *Business Strategy and the Environment*, 31(7), 3635-3648. https://doi.org/10.1002/bse.3112

Spekkink, W. y Boons, F. (2016). "The Emergence of Collaborations". *Journal of Public Administration Research and Theory*, 26(4), 613-630. https://doi.org/10.1093/jopart/muv030

Statista Research Department. (2025). Automotive industry in Mexico—Statistics & facts. Statista. https://www.statista.com/topics/7249/automotive-industry-in-mexico/

Sun, Li, Spekkink, W. y Korevaar, G. (2017). "Coordination of Industrial Symbiosis Through Anchoring". *Sustainability*, 9(4), 549. https://doi.org/10.3390/su9040549

Torrado-Fonseca, M. y Berlanga-Silvente, V. (2013). "Análisis discriminante mediante SPSS". *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 6(2), 150-166. http://dx.doi.org/10.1344/reire2013.6.26210

Yang, T., Liu, C., Côté, R. P., Ye, J. y Liu, W. (2022). "Evaluating the Barriers to Industrial Symbiosis Using a Group AHP-TOPSIS Model". *Sustainability, 14*(11), Article 6815. https://doi.org/10.3390/su14116815

The Anáhuac Journal, **Vol. 26, núm. 2, 2026.**
https://doi.org/10.36105/theanahuacjour.2026v26n2.3152
e3152 (pp. 1-34)

Acerca de los autores

Mervin José Cernas-Canteros tiene una maestría en Gestión de Proyectos Sostenibles por la Universidad Estatal de Sonora (UES) e Ingeniero Ambiental por la misma institución. Se desempeña como consultor en gestión ambiental, con experiencia desde 2019 en las industrias de la construcción, automotriz y consultoría especializada. Sus líneas de investigación incluyen responsabilidad social, desarrollo regional y sostenibilidad. Cuenta con experiencia en la implementación de sistemas de gestión ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001, así como en el cumplimiento normativo ambiental y de seguridad industrial. Ha participado en estrategias ASG y en la elaboración de reportes de sostenibilidad.

Dra. María de los Angeles Romero-Espinoza tiene un doctorado en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y es profesora de tiempo completo en la Universidad Estatal de Sonora. Cuenta con la Distinción Nivel I del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) y el Perfil Deseable PRODEP. Su trabajo académico se ha centrado en el estudio de la calidad de vida, el bienestar subjetivo, la educación superior, la habitabilidad y el desarrollo sostenible. Mediante sus investigaciones, ha aportado elementos para comprender problemáticas sociales y territoriales relevantes en México, así como para generar evidencia útil que contribuya a la toma de decisiones en gobiernos municipales, con énfasis en el desarrollo regional y la sostenibilidad.

Dra. Beatriz Alejandra Hurtado Bringas tiene un doctorado en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Es profesora de tiempo completo de la Universidad Estatal de Sonora, donde desempeña funciones de docencia, gestión, tutoría e investigación. Tiene el Perfil Deseable PRODEP. Sus líneas de investigación son: desarrollo regional, globalización, desarrollo sostenible, habitabilidad y calidad de vida. Imparte las siguientes asignaturas: Desarrollo Sostenible y Responsabilidad Social, Logística Internacional, Compras Internacionales y Distribución Internacional.