

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS EN EL REDISEÑO DE PROCESOS INDUSTRIALES SOSTENIBLES EN LA VENTA, TABASCO

INTEGRATION OF SOCIOECOLOGICAL SYSTEMS IN THE REDESIGN OF SUSTAINABLE INDUSTRIAL PROCESSES IN LA VENTA, TABASCO

Altamirano Acosta Jesus Adrian¹, Jiménez Palma Pascual², Contreras Bazurto Keila³, Sarao Cruz Lorena del Jesus⁴, Arias Santos Nely Nayeli⁵

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i1.446>

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, jaaa_07@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-0437-7932>

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, pascual.jimenez@itslv.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0000-3911-5612>

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, kcontrerasbazurto@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6502-4922>

⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, lorena.sc@laventa.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0002-0437-7932>

⁵Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, nelyn.as@laventa.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0002-3840-9912>

Resumen -- La región de La Venta, Tabasco, enfrenta desafíos ambientales y socioeconómicos provocados por la presión industrial, la vulnerabilidad hídrica y la degradación de los ecosistemas. En este sentido, la integración de los sistemas socioecológicos (SSE) en el rediseño de procesos industriales surge como una estrategia para avanzar hacia la sostenibilidad. Este artículo tiene como objetivo analizar desde una perspectiva documental y cualitativa, los marcos conceptuales y los estudios más recientes relacionados con la sostenibilidad industrial, con el propósito de identificar estrategias aplicables al contexto local y regional, enfocándolo a poblaciones con características similares.

Se realizó una revisión literaria basada en el método PRISMA (Preferred Reporting for Systematic Reviews and Meta Analyses), considerando artículos indexados en Scopus y Web of Science publicados entre los años 2020 y 2025.

Se seleccionaron diez estudios con información relevante para la investigación que incluyen información sobre sistemas socioecológicos, simbiosis industrial, economía circular y transiciones socio-tecnológico-ecológicas. El análisis que se empleó fue temático-cualitativo para sintetizar contribuciones, barreras y elementos transferibles al rediseño de procesos industriales sostenibles en La Venta.

El estudio muestra que la integración de los SSE requiere una articulación entre infraestructura tecnológica, servicios ecosistémicos e integración de la comunidad. Los artículos revisados destacan estrategias como el seguimiento de flujos de materiales y energía, la adopción

de sinergias industriales locales, el uso de infraestructura verde para la gestión de agua e implementación de modelos de gubernamentales multi-actor. Las barreras más frecuentes incluyen la fragmentación institucional, la falta de datos locales, los limitados incentivos económicos y la corta colaboración entre industria, gobierno-sociedad.

El rediseño sostenible en La Venta debe basarse en enfoques socio-techno-ecológico que fomenten la innovación tecnológica, fortalezca capacidades locales y preserve ecosistemas, promoviendo transiciones justas y colaborativas.

Palabras Clave: Economía circular, Ingeniería de procesos sustentables, Infraestructura verde, Simbiosis industrial, Sistemas socioecológicos.

Abstract -- The region of La Venta, Tabasco, faces environmental and socioeconomic challenges caused by industrial pressure, water vulnerability, and ecosystem degradation. In this regard, the integration of socio-ecological systems (SES) into the redesign of industrial processes emerges as a strategy for advancing toward sustainability. This article aims to analyze, from a documentary and qualitative perspective, the conceptual frameworks and most recent studies related to industrial sustainability, with the purpose of identifying strategies applicable to the local and regional context, focusing on populations with similar characteristics.

A literature review was conducted based on the PRISMA (Preferred Reporting for Systematic Reviews and Meta

Analyses) method, considering articles indexed in Scopus and Web of Science published between 2020 and 2025.

Ten studies with information relevant to the research were selected, including information on socio-ecological systems, industrial symbiosis, circular economy, and socio-techno-ecological transitions. A thematic-qualitative analysis was used to synthesize contributions, barriers, and elements transferable to the redesign of sustainable industrial processes in La Venta.

The study shows that the integration of SES requires coordination between technological infrastructure, ecosystem services, and community integration. The articles reviewed highlight strategies such as tracking material and energy flows, adopting local industrial synergies, using green infrastructure for water management, and implementing multi-actor governance models. The most common barriers include institutional fragmentation, lack of local data, limited economic incentives, and limited collaboration between industry, government, and society.

Sustainable redesign in La Venta must be based on socio-techno-ecological approaches that foster technological innovation, strengthen local capacities, and preserve ecosystems, promoting fair and collaborative transitions.

Key words - Circular economy, Sustainable process engineering, Green infrastructure, Industrial symbiosis, Socio-ecological systems, Socio-techno-ecological transitions.

INTRODUCCIÓN

La región de Tabasco, incluyendo localidades como La Venta, ha enfrentado históricamente retos ambientales y socioeconómicos ligados a inundaciones periódicas, uso intensivo del suelo, actividad agroindustrial y presiones por extracción y transformación de recursos (informes y diagnósticos regionales recientes muestran vulnerabilidades al cambio climático y a la pérdida de capital natural). En contextos donde la industria y la comunidad coexisten, las estrategias tradicionales de mejora de procesos industriales (optimización energética, tratamiento de efluentes, reducción de residuos) han tendido a abordarse de forma técnica y sectorial, con escasa integración de las dinámicas sociales, culturales y ecológicas del territorio.

En particular la zona de La **Venta, Tabasco**, es una región estratégica del sureste mexicano por su ubicación en una planicie altamente vulnerable a inundaciones, su riqueza hídrica y su cercanía con corredores productivos y energéticos. Estudios sobre riesgos y resiliencia en Tabasco evidencian desafíos críticos asociados a la gestión del agua, el impacto de la industria al entorno y el deterioro ambiental [1], [2]. Esto convierte a la región en un caso prioritario para implementar estrategias de

sostenibilidad territorial basadas en enfoques socioecológicos.

Un **Sistema socioecológico (SSE)** nace como la integración intrínseca entre las sociedades humanas y los ecosistemas que las sostienen, donde estos interactúan mediante dinámicas recíprocas que determinan su resiliencia y capacidad adaptativa [3]. Este punto de vista permite analizar cómo los procesos industriales impactan los servicios ecosistémicos y cómo las condiciones ambientales influyen en la seguridad, la economía y el bienestar social. Su aplicación en el rediseño industrial favorece soluciones que articulan tecnología, gobernabilidad y conservación del medio ambiente.

En investigaciones recientes, se ha fortalecido la visión de los SSE como factores que integran dinámicas sociales, ecológicas y tecnológicas, destacando que las transformaciones hacia la sostenibilidad deben abordarse desde una perspectiva sistémica que reconozca la interdependencia entre los sistemas humanos y naturales. Este enfoque hace énfasis que los sistemas industriales no deben contemplarse como entes aislados, sino como componentes de sistemas complejos más amplios, lo que reafirma la necesidad de considerar de manera simultánea los flujos de materia y energía, los servicios ecosistémicos y las estructuras gubernamentales en el diseño de políticas y procesos orientados a la sustentabilidad [4].

También es importante definir que un **sistema industrial sostenible** busca reducir los impactos ambientales, optimizar recursos y promover beneficios económicos y sociales mediante principios de economía circular, simbiosis industrial y gobernanza multisectorial [5], [6]. Integrar estos principios en La Venta puede promover transformaciones industriales alineadas con la resiliencia ecológica y el desarrollo local.

Se ha documentado que, a escala internacional, la transición hacia modelos industriales sostenibles requiere la articulación de enfoques de economía circular con innovaciones sociales y arreglos institucionales [7].

Tomando lo anterior como referencia podemos notar que el Estado actual del tema se encuentra de la siguiente manera: En la literatura reciente sobre sostenibilidad y transición industrial emergen tres líneas relevantes para este estudio: (1) el avance conceptual hacia enfoques socio-ecológicos y socio-techno-ecológicos que sitúan a la naturaleza como actor activo en las transiciones; (2) la consolidación de marcos como economía circular / simbiosis industrial / ecosistemas industriales que promueven flujos locales de materia y energía; y (3) estudios sobre resiliencia socioecológica y adaptación ante riesgos hidrometeorológicos que requieren soluciones integradas entre infraestructuras “grises” y “verdes”. Estas líneas han sido discutidas y revisadas en

artículos recientes que aportan marcos conceptuales y lecciones prácticas [8].

Estudios recientes muestran que la integración de la economía circular y la ecología industrial en las cadenas de suministro permite rediseñar procesos industriales con mayor eficiencia de recursos y reducción de residuos, apoyando un enfoque sistémico para lograr circularidad [9].

De este modo se determina que el objetivo principal de esta investigación es integrar en un enfoque de sistema socioecológico en el rediseño de procesos industriales sostenibles en La Venta, Tabasco, mediante el análisis y síntesis de los resultados obtenidos en diversos artículos de investigación. Alcanzando este objetivo general a través de los siguientes objetivos específicos:

1. Revisar, de forma cualitativa y documental, marcos teóricos y experiencias recientes (últimos 5 años) sobre la integración de sistemas socioecológicos (SSE) en el rediseño de procesos industriales sostenibles.
2. Aplicar esos marcos y lecciones al contexto de La Venta, Tabasco, proponiendo criterios y líneas de intervención (no experimentales) para la reconfiguración de procesos industriales con enfoque socioecológico.
3. Identificar oportunidades, barreras y prioridades de investigación local para avanzar en la transición a procesos industriales sostenibles integrados al territorio.

La integración deliberada de perspectivas socioecológicas en la ingeniería de procesos permite diseñar soluciones que no solo optimizan variables técnicas (consumo energético, eficiencia del agua, generación de residuos), sino que también fortalecen capital social, preservan capital natural y aumentan la resiliencia territorial frente a eventos extremos. Para un territorio vulnerable como La Venta, esto es crítico: un rediseño de procesos que ignore factores sociales y ecológicos tiene riesgo de ser ineficaz o incluso contraproducente. Por ello, un artículo de revisión y síntesis cualitativa que conecte marcos internacionales con la realidad local resulta útil para académicos, formuladores de políticas y actores industriales y comunitarios.

Los artículos analizados abordan un conjunto diverso de problemáticas relacionadas con la sostenibilidad industrial, los sistemas socioecológicos y las transiciones hacia modelos circulares.

[8] Identificaron la problemática de los enfoques fragmentados en las transiciones de sostenibilidad, donde los aspectos sociales, tecnológicos y ecológicos se estudian de manera aislada. Su aporte consiste en integrar estas dimensiones en un enfoque socio-tecnológico

que permite comprender mejor las dinámicas complejas del cambio sostenible.

El estudio de [10] contempla principalmente la falta de claridad conceptual y metodológica en torno a los ecosistemas industriales. Detectan que los modelos actuales son insuficientes para entender la interacción entre actores, flujos y tecnologías. Su revisión sistemática propone un marco conceptual robusto que permite resolver esta dispersión teórica y orientar futuras investigaciones.

Desde una perspectiva empresarial [11] atienden la problemática de que la simbiosis industrial suele analizarse solo desde impactos ambientales, dejando de lado su valor económico. Su marco de valor empresarial permite resolver este vacío al identificar beneficios reales que pueden motivar la implementación de sinergias industriales.

Por su parte [12] identifican como problemática la diversidad y falta de alineación entre los marcos de economía circular existentes. La revisión ofrece un marco completo que integra enfoques dispersos y proporciona coherencia conceptual para futuras aplicaciones industriales.

La problemática del riesgo hídrico en ciudades es abordada [13], quienes señalan que los enfoques tradicionales no integran adecuadamente factores sociales, ecológicos y tecnológicos. Su modelo SETS (Social-Ecological-Technological Systems) resuelve esta limitación ofreciendo una evaluación más completa de fragilidad urbana.

El trabajo [14] se centra en la problemática de las barreras para implementar simbiosis industrial en la industria textil, incluyendo falta de incentivos, ausencia de infraestructura y resistencia organizacional. Su estudio propone estrategias para superar estas barreras mediante políticas institucionales, cooperación y capacitación técnica.

En el ámbito socioecológico, [15] abordan la problemática de la fragmentación del campo de investigación en sistemas socioecológicos. Sus análisis de redes permiten entender cómo evolucionan las entidades científicas y proponen vías para consolidar el área.

En el contexto de redes de simbiosis industrial, [16] identifican desafíos en la coordinación, gobernanza y continuidad de las colaboraciones. Proponen lecciones prácticas para optimizar la implementación y sostenibilidad de estas redes.

Por último, [17] atienden la problemática de la inconsistencia en los métodos para evaluar desempeño en economía circular. Su revisión metódica proporciona

claridad sobre métricas, brechas y oportunidades para estandarizar evaluaciones.

DESARROLLO

Metodología documental (PRISMA adaptado para revisión cualitativa)

La **metodología PRISMA** (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) es un conjunto de lineamientos diseñados para mejorar la transparencia, calidad y el rigor en la elaboración de **revisiones sistemáticas** y **meta-análisis**. Su principal objetivo es garantizar que los procesos de selección, búsqueda, evaluación y síntesis de la literatura científica sean reproducibles, claros y completamente coherentes [18].

PRISMA proporciona una **lista de verificación de 27 ítems** y un **diagrama de flujo** que guía al investigador mediante de cuatro fases principales:

1. **Identificación:**
Localización exhaustiva de fuentes en bases de datos científicas.
2. **Filtrado:**
Eliminación de duplicados y selección preliminar por criterios de título y resumen.
3. **Elegibilidad:**
Evaluación completa de los artículos para verificar si cumplen los criterios establecidos.
4. **Inclusión:**
Selección final de estudios que formarán parte del análisis cualitativo o cuantitativo.

El método PRISMA es ampliamente utilizado en ciencias sociales, ingeniería, salud, sostenibilidad y ciencias ambientales, al ser considerado un estándar internacional para revisiones sistemáticas.

Se realizó una revisión documental cualitativa focalizada en artículos científicos indexados en Scopus o Web of Science publicados entre 2020 y 2025 para capturar el estado del arte reciente sobre: sistemas socioecológicos, industrial ecosystems / industrial symbiosis / circular economy, socio-techno-ecological approaches, resiliencia socioecológica aplicada a industria/territorio.

Las palabras clave combinadas incluyeron términos en inglés y español: “social-ecological systems”, “socio-ecological”, “industrial ecosystems”, “industrial symbiosis”, “circular economy”, “sustainability transitions”, “resilience”, “process redesign”, y filtros por año (2020–2025). Se priorizaron artículos de revisión y estudios empíricos con implicaciones prácticas para rediseño de procesos y políticas.

Criterios de inclusión (cualitativos): artículos indexados en Scopus/WoS, publicados 2020–2025, que aportaran marcos conceptuales, revisiones sistemáticas o estudios de caso con lecciones transferibles a la reconfiguración de procesos industriales desde una mirada

socioecológica; preferencia por revistas revisadas por pares (todas las referencias elegidas cumplen estas condiciones).

Tal como se muestra en la figura 1. se analizaron diversos artículos científicos publicados dentro últimos 5 años, teniendo un mayor número de publicaciones relevantes para la implementación de esta investigación los publicados en el 2024.

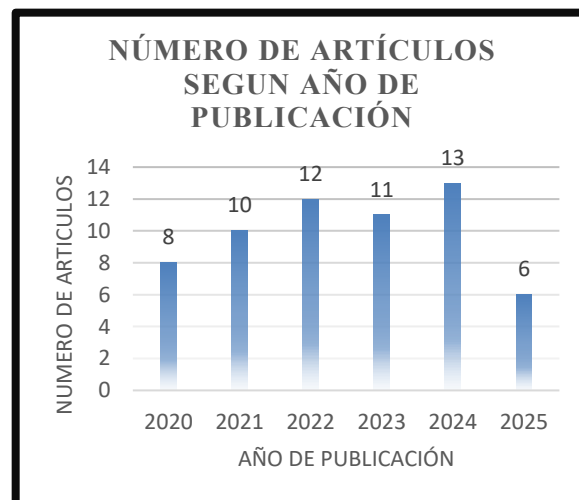


Figura 1. Clasificación de artículos analizados con base al año de publicación.

Criterios de exclusión: publicaciones fuera del periodo, documentos no peer-review, o artículos estrictamente técnicos sin componente socioecológico o sin transferencia conceptual aplicable al rediseño de procesos a escala territorial.

En la figura 2 se precisa el diagrama de flujo que se siguió para el proceso de selección basado en el uso de la metodología PRISMA para la selección de los artículos que se adaptaron mejor a las condiciones de restricción y elegibilidad, lo anterior se realizó tomando en cuenta las 4 etapas principales etapas del proceso (Identificación, filtrado, elegibilidad e Inclusión).



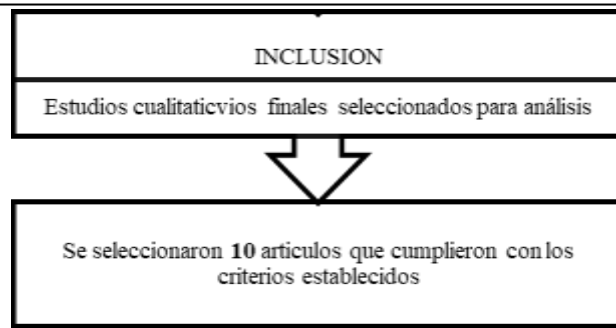


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología PRISMA para la selección de artículos de análisis

Resultado de la búsqueda: selección final de 10 artículos indexados (lista completa en Referencias). Para el contexto local (La Venta/Tabasco) se complementó la revisión con documentos técnicos y planes estatales (uso en la contextualización, indicados en notas) pero las 10 fuentes centrales son artículos indexados conforme a lo solicitado.

Tratamiento de la información (enfoque cualitativo)

Se realizó lectura crítica y síntesis temática de cada artículo, extrayendo:

- Definición y alcance del marco conceptual (SES, socio-techno-ecológico, industrial ecosystems, simbiosis industrial).
- Principales estrategias de rediseño de procesos (energía, agua, materiales, logística, gobernanza).
- Condiciones habilitantes y barreras (tecnológicas, institucionales, sociales).
- Lecciones de implementación y evaluación cualitativa de impacto.

Posteriormente se realizó una triangulación temática para identificar convergencias y vacíos aplicables al caso de La Venta.

3. Discusión y análisis de resultados

A continuación, se presenta una síntesis comparativa cualitativa de los 10 artículos seleccionados (resumen de aportes/insights relevantes para el rediseño de procesos industriales con integración socioecológica). Después sigue la discusión aplicada al caso de La Venta y las conclusiones.

Tabla 1. Resumen cualitativo de hallazgos relevantes. sintetiza características claves del marco o contribución, estrategias de rediseño propuestas, barreras, y acciones aplicables a La Venta.

[8] Andersson et al.	Propone un enfoque socio-techno-ecológico para transiciones, integrando naturaleza activa en cambios sistémicos.	Diseño de transiciones que incorporen flujos ecológicos y retroalimentación socioeconómica; gobernanza multi-actor.	Desconexión entre evidencia ecológica y marcos de innovación; fragmentación institucional.	Impulsar marcos de gobernanza que reconozcan servicios ecosistémicos y actores locales en rediseño de plantas/procesos.
[10] Burström et al.	Revisión sistemática sobre industrial ecosystems : conceptualización y agenda de investigación.	Promover sinergias entre industrias (simbiosis), mapeo de flujos de materia y energía.	Confusión conceptual, falta de métricas estandarizadas, retos para escalamiento.	Mapear flujos locales (agua, residuos orgánicos) y evaluar potencial de sinergias entre pymes locales/industrias.
[11] Mirata et al.	Marco de valor de negocio para la simbiosis industrial (J. Ind. Ecol.).	Integrar modelos de negocio regenerativos como palancas para rediseño de procesos.	Reticencia empresarial, percepciones de riesgo, necesidad de incentivos.	Diseñar incentivos (fiscales, subsidios) y pilotos que muestren valor económico local.
[14] Hossain et al.	Identifica barreras para implementar simbiosis industrial (estudio en confección).	Recomendaciones para fortalecimiento institucional, infraestructura y cooperación interempresarial.	Falta de tecnología, coordinación y políticas; baja cultura colaborativa.	Antes de grandes inversiones, promover capacidades y foros de diálogo entre empresas y gobierno local.
[12] Upadhaya	Revisión sobre la evolución del concepto de economía circular y métricas emergentes.	Uso de MFA (Material Flow Analysis), ACV cualitativo; indicadores de circularidad aplicables a procesos.	Dificultad de medir impactos sociales y equidad; falta de datos locales.	Implementar diagnóstico de flujos (agua, residuos) y ACV cualitativo para priorizar intervenciones.
[15] Manyani et al.	Bibliometría y evolución del campo SES: tendencias y vacíos.	Enfoque place-based y metodologías participativas.	Subrepresentación de perspectivas locales/indígenas; financiación insuficiente.	Adoptar metodologías participativas para incorporar conocimiento local de La Venta en el rediseño.
[13] Khromova et al.	Propone enfoque socio-ecológico-tecnológico (SET) para vulnerabilidad urbana-hídrica.	Integrar infraestructura verde y tecnológica para gestionar riesgos hídricos.	Fragmentación entre sectores urbanos e industriales, falta de instrumentos integrados.	Diseñar procesos con medidas de infraestructura verde (tratamiento natural de efluentes, humedales artificiales) para reducir vulnerabilidad.

[16] Sellitto et al.	Lecciones y desafíos para industrial symbiotic networks (revisión amplia).	Listado de retos técnicos, sociales, legales; rol de facilitadores/mediadores.	Necesidad de facilitación y coordinación para crear redes efectivas.	Proponer un facilitador local (universidad/municipio) que articule actores y diseñe corredores industriales circulares.
[17] Ferrante et al.	Revisión de métricas de desempeño para economía circular y evaluación.	Herramientas de evaluación (MFA, indicadores cualitativos, escenarios).	Falta de consenso en métricas; retos de datos.	Priorizar métricas sencillas y replicables (por ejemplo: % de agua reciclada, % reducción de residuos enviados a vertedero).
[10] Burström et al.	(Síntesis) Convergencia entre SES, industrial ecosystems y transiciones justas.	Rediseño situado: intervenciones técnicas combinadas con fortalecimiento institucional y equidad.	Riesgo de soluciones que no consideren justicia social o pérdidas de empleo.	Diseñar intervenciones con perspectiva de transición justa y programas de reconversión laboral local.

Fuente. *Elaboración propia*, 2025.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Marco conceptual integrador

Las propuestas más recientes enfatizan que la transición hacia procesos industriales sostenibles debe ser **socio-techno-ecológica**: es decir, las soluciones técnicas (p. ej. reciclaje de agua, recuperación de calor, simbiosis industrial) deben diseñarse en diálogo con las dinámicas ecológicas (servicios ecosistémicos, hidrología local) y las estructuras sociales e institucionales (comunidades, empresas, autoridades). [8] y [10] muestran la necesidad de romper silos disciplinares para lograr transiciones sustentables.

2. Prioridades técnicas adaptadas al contexto

Para La Venta, dada la prevalencia de riesgos hídricos y la economía local (agroindustria, micro/pequeñas industrias), las estrategias prioritarias sugeridas por la literatura son: (a) **mapeo de flujos** de agua y residuos (MFA cualitativo), (b) **simbiosis** en pequeña escala entre actores locales (aprovechamiento de residuos orgánicos para biogás o compost), y (c) **infraestructura verde** para el tratamiento natural de efluentes y mitigación de inundaciones. Autores de revisiones y estudios de caso recomiendan empezar con pilotos demostrativos que generen evidencia de valor económico y ecológico.

3. Barreras socio-institucionales y soluciones propuestas

[14] y otros estudios señalan barreras como falta de tecnología, coordinación interempresarial, y ausencia de incentivos. La lección práctica es que, además del rediseño técnico de procesos, se requiere **creación de capacidades**, foros de diálogo, y mecanismos de incentivos (subsidios, créditos, compras públicas verdes) para que las empresas locales participen. Asimismo, la figura del **facilitador** o mediador (por ejemplo, un actor académico o centro municipal) es recurrente en la literatura como catalizador de sinergias.

4. Justicia social y transición justa

La literatura contemporánea advierte del riesgo de soluciones tecnocráticas que no consideren empleo, equidad y saberes locales. Es clave incorporar procesos participativos **place-based** [15] y diseñar medidas de acompañamiento laboral. En La Venta, la adopción de procesos sostenibles puede combinar capacitación técnica para trabajadores con mecanismos de apoyo a microempresas.

5. Monitoreo y evaluación cualitativa

Las revisiones recientes insisten en métricas prácticas y en combinar indicadores técnicos con evaluaciones cualitativas (percepción comunitaria, gobernanza). Para La Venta, se recomiendan indicadores sencillos (por ejemplo, volumen de agua reutilizada por planta, número de acuerdos de simbiosis entre empresas, percepción de reducción de riesgos por la comunidad) y evaluaciones periódicas participativas.

Diversos autores proponen enfoques de economía circular regionalizada, donde las estrategias se diseñan a partir de las características socioecológicas del territorio y de las trayectorias industriales locales, lo que resulta especialmente relevante para zonas como La Venta.

Limitaciones detectadas en la evidencia revisada

- Pocos estudios muestran evaluaciones longitudinales de impacto socioecológico de rediseños de procesos a escala municipal.
- La investigación específica sobre La Venta en bases Scopus es escasa; la propuesta aquí es mayoritariamente transferencial adaptar lecciones globales al contexto local.
- Heterogeneidad metodológica entre artículos dificulta una métrica única de comparación (por eso se adoptó enfoque cualitativo).

CONCLUSIONES

1.-**Necesidad de un enfoque integrado**: El rediseño de procesos industriales sostenibles en La Venta debe

articularse a través de un marco **socio-techno-ecológico** que combine intervenciones técnicas (recuperación de recursos, economía circular, simbiosis industrial) con gobernanza participativa y reconocimiento de los servicios ecosistémicos. (Objetivo 1 cumplido).

2.-Estrategia de implementación preferible: Priorizar **pilotos locales** (p. ej. biogás a partir de residuos agroindustriales; humedales artificiales para tratamiento de efluentes; mapeo de flujos) acompañados de un **facilitador institucional** (universidad o municipio) para coordinar actores, medir resultados cualitativos y generar evidencia de negocio y ambiental.

3.-Barreras y acciones remediales: Identificadas barreras principales —tecnológicas, institucionales y culturales— requieren acciones concretas: creación de capacidades técnicas, diseño de incentivos económicos y creación de instancias de gobernanza local multi-actor.

4.-Evaluación y continuidad: Se recomienda un sistema de monitoreo con métricas básicas y evaluaciones cualitativas periódicas que incluyan la percepción comunitaria y criterios de justicia social; priorizar transparencia y participación para construir legitimidad.

5.-Investigación futura: Se requiere investigación aplicada que documente y evalúe pilotos sostenibles en La Venta, enfocándose en el impacto socioecológico, la eficiencia energética y la adopción tecnológica local. Asimismo, se sugiere profundizar en el diseño de indicadores de circularidad y resiliencia adaptados al contexto tropical, y en la modelación de redes socioecológicas multiescala que permitan anticipar riesgos y fortalecer la planificación territorial.

Con este trabajo nos brinda la apertura para investigaciones o desarrollo de proyectos con enfoque sostenible que sume al desarrollo industrial de una manera socio-ecológica, incluyendo como brindar la concientización de estas nuevas herramientas socioecológicas a un nivel tanto gubernamental como social.

Los **Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES)** del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) organizan los esfuerzos de investigación en torno a problemáticas nacionales concretas cuya importancia y gravedad requieren una atención urgente y soluciones integrales, profundas y de amplio alcance. En este marco, la integración de sistemas socioecológicos en el rediseño de procesos industriales sostenibles en La Venta, Tabasco, se alinea directamente con los objetivos estratégicos establecidos por los PRONACES, particularmente en los ejes de Agua, Energía y Cambio Climático, Sistemas Socioecológicos y Sustentabilidad, y Soberanía Alimentaria, al promover enfoques interdisciplinarios orientados al fortalecimiento de la resiliencia territorial y

la gestión sostenible de los recursos. Estos planteamientos reafirman la necesidad de transitar hacia modelos industriales que incorporen principios de economía circular, simbiosis industrial y gobernanza socioambiental, en concordancia con las prioridades nacionales de desarrollo sostenible impulsadas por el Estado mexicano [19].

La [20] establece, mediante la resolución A/RES/70/1 “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, un marco global compuesto por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas orientadas a guiar políticas y acciones hacia un desarrollo sostenible e inclusivo. En este contexto, los resultados del presente estudio evidencian una alineación directa con diversos ODS de la Agenda 2030, particularmente con el: **ODS 6 (Agua limpia y saneamiento)**, **ODS 7 (Energía asequible y no contaminante)**, **ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura)**, **ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles)**, **ODS 12 (Producción y consumo responsables)** y **ODS 13 (Acción por el clima)**. El estudio de estos marcos internacionales refuerza la pertinencia del rediseño de procesos industriales como medio para minimizar impactos ambientales y maximizar beneficios sociales.

En trabajos futuros, se recomienda desarrollar modelos cuantitativos de valoración de circularidad, implementar análisis multiescala para los sistemas socioecológicos locales y fortalecer la articulación entre actores públicos, privados y comunitarios para acelerar la transición hacia un desarrollo verdaderamente socio ecológico.

AGRADECIMIENTOS

Extendemos nuestro más sincero agradecimiento al **Tecnológico Nacional de México campus Villa La Venta**, por su total apoyo institucional brindado antes y durante el desarrollo de la presente investigación, así como por promover una formación académica orientada a la sostenibilidad y la innovación. Reconocemos especialmente el apoyo de la **Maestría en Ingeniería Industrial**, cuyo acompañamiento académico y metodológico fue fundamental para la consolidación del presente trabajo. Extendemos también nuestro agradecimiento a los docentes, investigadores y colaboradores que, con sus orientaciones y aportes, enriquecieron el análisis y fortalecieron la calidad científica del estudio. Su compromiso con la excelencia educativa ha sido un pilar esencial en nuestro proceso formativo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Haer, W. J. W. Botzen, J. Zavala-Hidalgo, C. Cusell y P. J. Ward, “Economic evaluation of climate risk adaptation strategies: Cost-benefit analysis of flood protection in Tabasco, Mexico,” *Atmósfera*, vol. 30, no. 2, pp. 101–120, 2017, doi: 10.20937/ATM.2017.30.02.03.
- [2] Zurich Flood Resilience Alliance, “Executive summary: Learning from the 2020 floods in Tabasco,

Mexico,” *Post-Event Review Capability (PERC)*, Zurich, Switzerland, 2023. [Online]. Available: <https://preparecenter.org/resource/executive-summary-learning-from-the-2020-floods-in-tabasco-mexico/>

[3] E. Ostrom, “A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems,” *Science*, vol. 325, no. 5939, pp. 419–422, Jul. 2009, doi: 10.1126/science.1172133.

[4] I. Souliotis and N. N. Voulvoulis, “Sustainability transitions: The role of systems thinking in improving planetary health and human prosperity,” *Frontiers in Environmental Science*, vol. 13, Art. no. 1730692, 2025, doi: 10.3389/fenvs.2025.1730692.

[5] M. R. Chertow, “Industrial symbiosis: literature and taxonomy,” *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 25, pp. 313–337, Nov. 2000, doi: 10.1146/annurev.energy.25.1.313.

[6] A. A. Feil, D. Schreiber, C. Haetinger, V. J. Strasburg y C. L. Barkert, “Sustainability indicators for industrial organizations: Systematic review of literature,” *Sustainability*, vol. 11, no. 3, art. no. 854, Feb. 2019, doi: 10.3390/su11030854.

[7] J. Carreño-Ortiz, M. Escobar-Sierra, and F. Lopez-Perez, “Theoretical relationship between circular economy and social innovation from a sustainable development perspective,” *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 12, Art. no. 1549, 2025, doi: 10.1057/s41599-025-05862-0.

[8] J. Andersson, T. T. Lennerfors, and H. Fornstedt, “Towards a socio-techno-ecological approach to sustainability transitions,” *Environmental Innovation and Societal Transitions*, vol. 51, Art. no. 100846, 2024, doi: 10.1016/j.eist.2024.100846.

[9] R. Geetha, “Circular economy through integrated industrial ecology: Innovations in resource recovery and process re-design,” *Biotechnology Notes*, vol. 6, pp. 245–259, 2025, doi: 10.1016/j.biotno.2025.10.005.

[10] T. Burström, T. Lahti, V. Parida, and J. Wincent, “Industrial ecosystems: A systematic review, framework and research agenda,” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 208, p. 123656, 2024, doi: 10.1016/j.techfore.2024.123656.

[11] M. Mirata, A. Lindfors, and M. L. Kambanou, “A business value framework for industrial symbiosis,” *Journal of Industrial Ecology*, vol. 28, no. 6, pp. 1541–1553, 2024, doi: 10.1111/jiec.13545.

[12] S. Upadhyay et al., “Development in the circular economy concept,” *Sustainability*, vol. 16, no. 4, p. 1500, 2024, doi: 10.3390/su16041500.

[13] S. Khromova et al., “A social-ecological-technological vulnerability approach for assessing urban hydrological risks,” *Ecological Indicators*, 2025, doi: 10.1016/j.ecolind.2025.113334.

[14] M. Hossain et al., “Exploring the barriers to implement industrial symbiosis,” *Heliyon*, vol. 10, no. 13, Art. no. e34156, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e34156.

[15] A. Manyani, R. Biggs, L. Hill, and R. Preiser, “The evolution of social-ecological systems research,”

Ecology and Society, vol. 29, no. 1, p. 33, 2024, doi: 10.5751/ES-14694-290133.

[16] M. A. Sellitto et al., “Exploring industrial symbiotic networks,” *Sustainability*, vol. 17, no. 4, p. 1509, 2025, doi: 10.3390/su17041509.

[17] M. Ferrante, M. Vitti, and C. Sassanelli, “The evolution of circular economy performance assessment,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2025, doi: 10.1016/j.rser.2025.115757.

[18] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, L. Shamseer, J. Tetzlaff, E. A. Akl, R. Brennan, B. Chou, E. Glanville, E. Grimshaw, A. Hróbjartsson, A. Lalu, T. Li, A. Loder, Q. Mayo-Wilson, A. McDonald, J. A. McGuinness, D. Moher, L. R. Stewart, y J. M. Welch, “The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews,” *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.

[19] Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, “Los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES),” Gobierno de México, s.f. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/448752/Programas_Nacionales_Estrat_gicos.pdf

[20] United Nations General Assembly, “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development,” Resolution A/RES/70/1, 2015.

Tabla de Roles de Contribución

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Jesus Adrian Altamirano Acosta, Pascual Jiménez Palma.
Investigación	Keila Contreras Bazurto.
Metodología	Lorena del Jesús Sarao Cruz, Jesus Adrian Altamirano Acosta
Administración del proyecto	Lorena del Jesús Sarao Cruz, Nely Nayeli Arias Santos.
Supervisión	Nely Nayeli Arias Santos, Pascual Jiménez Palma, Keila Contreras Bazurto.

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.

