

HERRAMIENTAS Y CRITERIOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE PROCESOS DE
SIMBIOSIS INDUSTRIAL DE RESIDUOS EN EMPRESAS DE DISTINTAS ZONAS
GEOGRÁFICAS Y SECTORES PRODUCTIVOS

VALENTINA LEÓN ORDÓÑEZ
LIZETH TATIANA CIFUENTES GIRALDO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
PROGRAMA MAESTRIA EN SOSTENIBILIDAD
MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2023

HERRAMIENTAS Y CRITERIOS A TENER EN CUENTA PARA IMPLEMENTACIÓN
DE PROCESOS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL DE RESIDUOS EN EMPRESAS DE
DISTINTAS ZONAS GEOGRÁFICAS Y SECTORES PRODUCTIVOS

VALENTINA LEÓN ORDÓÑEZ
LIZETH TATIANA CIFUENTES GIRALDO

Tesis de grado presentada para optar al título de Magister en Sostenibilidad

Asesora:

Alejandra Balaguera Quintero, Doctora en Ingeniería

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
PROGRAMA MAESTRIA EN SOSTENIBILIDAD
MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2023

Declaración de originalidad

Medellín 20 de diciembre del 2022

“Declaramos que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título igual, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquier otra universidad”.

Art. 92, parágrafo, régimen estudiantil de formación avanzada

Valentina León

VALENTINA LEÓN ORDÓÑEZ

Lizeth Cifuentes G.

LIZETH TATIANA CIFUENTES GIRALDO

NOTA DE ACEPTACIÓN

ASESOR

JURADO

JURADO

Medellín, 2022

Índice

Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción	9
2. Problema	10
3. Objetivos	11
3.1. Objetivo General	11
3.2. Objetivos Específicos	11
4. Metodología	12
4.1. Estrategia de búsqueda	12
4.2. Proceso de recopilación de la información	13
Figura 4.2.1. Formato ficha técnica de artículos seleccionados.	14
4.3. Revisión y análisis de la información	14
5. Resultados	14
Figura 5.3.1.1. Tipos de simbiosis industrial	15
Europa	15
Asia	16
América	16
Figura 5.3.1.2. División por países en los artículos	17
5.1. Herramientas para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos	17
Figura 5.3.1.1.1. Herramientas para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.	18
Tabla 1. Herramienta transporte	18
Tabla 2. Herramienta almacenamiento e infraestructura	21
Tabla 3. Herramienta tecnología	21
Tabla 4. Herramienta análisis de costos, de oferta y demanda	24
Tabla 5. Herramienta subproductos	24
5.2. Reflexión sobre las herramientas	27
5.3. Criterios para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.	27
Figura 5.3.1. Criterios para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.	28

Tabla 6. Criterio capacidad y funciones de los facilitadores, reguladores y mediadores.	28
Tabla 7. Criterio capacidad de conocimiento sobre simbiosis industrial.	30
Tabla 8. Criterio tipo de red.	32
Tabla 9. Criterio formación del personal.	34
Tabla 10. Criterio avances en investigación e innovación.	36
Tabla 11. Criterio combinación de simbiosis industrial con otros conceptos de economía circular.	37
Tabla 12. Criterio capacidad de resiliencia y estabilidad.	39
Tabla 13. Criterio entorno social, cultural, geográfico y económico.	40
Tabla 14. Criterio cooperación.	43
Tabla 15. Criterio entorno institucional.	44
5.4. Otros criterios para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.	46
Especificaciones propias de simbiosis industrial en zonas distantes	46
5.4.1. Especificaciones en los criterios que se deben tener en cuenta:	47
5.4.2. Especificaciones sobre las herramientas que se deben tener en cuenta	50
5.4.3. Criterios y herramientas aplicables a Medellín	52
6. Conclusiones	53
7. Recomendaciones y futuras líneas de investigación	54
8.. Referencias	55

Resumen

Introducción: a nivel internacional la preocupación por el aprovechamiento de los residuos en aras de “basura” se ha tornado de interés prioritario y Colombia no se queda atrás, para esto se tienen estimaciones de que solo se recicla el 16.5% de las basuras. **Problema:** Se evidencia en la literatura existe que los aportes a estas problemáticas ambientales, son aún un reto para las sociedades en vías de desarrollo, por ello el aporte de esta investigación se radica en ¿qué beneficios están obteniendo las organizaciones que optan por aplicar herramientas donde la simbiosis empresarial es el eje central? **Objetivos:** El objetivo principal es elaborar una propuesta de herramientas y criterios que se deben tener en cuenta en la implementación de procesos de simbiosis industrial realizados con residuos de empresas ubicadas en zonas geográficas distantes en el área metropolitana de Medellín. **Resultados:** Existen múltiples herramientas y criterios para la implementación de la simbiosis industrial, empero cada una de ella debe corresponder con el contexto donde se implementará; teniendo así un bagage extenso sobre las mismas, puesto que en este escrito se encuentran plasmadas las principales (5 herramientas y 10 criterios) las que reducen las probabilidades de fracaso en aras de la sostenibilidad. **Conclusiones:** la mayoría de las herramientas requeridas para poder implementar y ejecutar simbiosis industrial en zonas distantes, evidenciando que herramientas como la infraestructura, la tecnología y tipo de producto son fundamentales para realizar cualquier tipo de simbiosis industrial según nuestro análisis.

Palabras clave: *Simbiosis empresarial, economía circular, reúso, logística.*

Abstract

Introduction: At the international level, the concern for the use of waste for the sake of "garbage" has become a priority interest and Colombia is not far behind, for this there are estimates that only 16.5% of garbage is recycled. **Problem:** It is evident in the literature that the contributions to these environmental problems are still a challenge for developing societies, therefore the contribution of this research is based on what benefits are the organizations that choose to apply tools obtaining? where business symbiosis is the central axis? **Objectives:** The main objective is to elaborate a proposal of tools and criteria that must be taken into account in the implementation of industrial symbiosis processes carried out with waste from companies located in distant geographical areas in the metropolitan area of Medellín. **Results:** There are multiple tools and criteria for the implementation of industrial symbiosis, however each of them must correspond to the context where it will be implemented; thus having an extensive luggage on them, since in this writing the main ones (5 tools and 10 criteria) that reduce the chances of failure for the sake of sustainability are embodied. **Conclusions:** most of the tools required to be able to implement and execute industrial symbiosis in remote areas, evidencing that tools such as infrastructure, technology and type of product are essential to carry out any type of industrial symbiosis according to our analysis.

Keywords: Business symbiosis, circular economy, reuse, logistics.

1. Introducción

Actualmente Colombia se cuestiona sobre qué hacer con sus basuras, debido a la amenaza de una tragedia ambiental, bien sea por la falta de capacidad en los rellenos sanitarios, la proliferación de gallinazos e insectos o la contaminación del agua, el aire y los suelos; a cuenta de los lixiviados y los gases, lo cual va generando e incrementando la presión ambiental. Esto se debe a que, en Colombia se generan anualmente 12 millones de toneladas de basura y solo se recicla el 16,5% (Rodríguez, 2022). Esta situación que representa un reto es solo una parte del problema, debido a que no se evidencia un adecuado tratamiento de los residuos peligrosos, por ello muchos de los rellenos sanitarios se les agota la vida útil y continúan en funcionamiento, sin adecuaciones técnicas para evitar la afectación del medioambiente (Criterio, 2022). Se han evaluado diferentes alternativas para suplir con esta necesidad siendo la economía circular una opción factible, ya que está en mantener el valor de los productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo económicamente posible y minimizar la generación de residuos (Criterio,2022)

La economía lineal, hace un uso limitado de las materias primas y lleva la producción de residuos al mínimo, caso contrario sucede con el modelo de economía circular, quien busca la reutilización y la recuperación de productos y materias juegan un papel fundamental. (Junta de Andalucía, 2021). Existen diferentes maneras de aplicar economía circular, una de ellas es la *simbiosis industrial*, una forma de intermediación para conectar empresas en colaboraciones innovadoras y encontrar formas de utilizar un residuo como materia prima para otro. La cooperación regional o más amplia en la simbiosis industrial reduce la necesidad de nuevas materias primas y la eliminación de desechos y es una característica fundamental de la economía circular y un motor del crecimiento y soluciones verdes innovadoras, cierra el ciclo de la sustancia; también puede reducir las emisiones y el consumo de energía y crear nuevas fuentes de ingresos (FISSAC, 2020)

La simbiosis industrial entendida en el caso de los parques industriales, son aquellas organizaciones involucradas en diferentes campos de actividad trabajan juntas para lograr beneficios mutuos a través de la optimización del uso de subproductos, materiales y energía, el uso de recursos y la reducción de la generación de residuos. Es un complejo empresarial que permite a las empresas acceder a diversas soluciones logísticas y de gestión para reducir los costos en que incurren por temas de transporte (Umbral, 2021). Desde un punto de vista sistémico, la simbiosis industrial contribuye a cerrar el ciclo de los procesos industriales de

muchas maneras. Por ejemplo, oportunidades comerciales y trabajos relacionados con usos alternativos de los canales actuales de gestión de residuos y el potencial de innovación impulsada por la demanda para apoyar la transición a la gestión de residuos. Una economía circular que conecta empresas y comunidades de investigación para satisfacer las necesidades de innovación y tecnología. (Junta de Andalucía, 2021)

Existen países pioneros en la aplicación de esta metodología como el caso de China, el cual busca impulsar la integración total de todas las esferas de las empresas pequeñas, medianas y grandes, incluidas las cadenas industriales, de suministros y de datos, para promover su simbiosis (Xinhua, 2022). Cada vez, esta metodología se vuelve más aplicable a nivel mundial, sin embargo, es muy poco común verlo aplicado en lugares fuera de parques industriales por la generación de costos en transporte, logística etc. Por ello se realizó un estudio sobre la identificación de criterios y herramientas para la viabilidad de esta metodología en empresas situadas en diferentes lugares geográficos como: **xxxx** y adicional a esto con procesos productivos diferentes, explorando así una variedad de residuos a usar. La base para evaluar y comparar los diferentes parámetros fue obtenida gracias a una base de datos con cien artículos de diferentes países del mundo, donde realizaban aplicaciones o estudios tanto en parques industriales, como fuera de ellos.

2. Problema

Chertow (2000) señala que “un aspecto importante de la simbiosis industrial radica en la cooperación y la proximidad geográfica entre las empresas” por ello, la mayor parte de la simbiosis empresarial se da en los parques industriales y empresas vecinas, pero en ocasiones se generan residuos. Por otro lado, la falta de información entre empresas es un obstáculo, ya que algunas empresas son reacias a compartir información sobre sus procesos productivos y los residuos que generan, alegando competencia potencial y sanciones (Neves, Godina, Azevedo., Pimentel y Matías, 2019) también se señaló que las empresas que no han abrazado este proceso son pequeñas empresas, industrias en crecimiento y que ignoran este aspecto sostenible. Además, se requiere mano de obra para realizar estos procesos, como la desinfección y la clasificación, lo que aumenta los costos para las empresas que necesitan utilizar este servicio. Por ello, se ha identificado el papel que juegan los aspectos técnicos y su importancia en este tema de la simbiosis industrial para implementar el concepto entre esas prioridades (Ledesma, 2022).

En Colombia (Park, Diaz y Duque, 2018) indica que, además de los beneficios ambientales y económicos, se deben implementar programas piloto para aplicar este concepto a los parques industriales (Park, et al. al. 2018). No se evidenciaron estudios que definan redes industriales simbióticas fuera de los parques industriales y sus necesidades logísticas. El objetivo de investigación de este estudio es refinar propuestas de herramientas y criterios para aplicar la simbiosis de residuos industriales y cuestiones logísticas relacionadas en diferentes regiones geográficas. El interés de trabajar en este tema se basa en la limitada información sobre este tipo de simbiosis industrial, especialmente en América Latina, donde China es el país con mayor investigación sobre simbiosis industrial, seguido de Estados Unidos (Neves, 2020). Además, como los beneficios de implementar la simbiosis industrial están claramente identificados, este tipo de investigación amplía la información disponible sobre el tema para posibles aplicaciones y puede beneficiar a las empresas interesadas.

Por lo anterior, se genera una pregunta base para poder comprender de mejor manera el desarrollo del proyecto y es ¿Cuáles son las herramientas y criterios a tener en cuenta para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos en empresas de distintas zonas geográficas y sectores productivos en el área metropolitana de Medellín? y ¿qué beneficios están obteniendo las empresas que adoptan aplicar herramientas donde la simbiosis empresarial es el eje central?

3. Objetivos

3.1.Objetivo General

Elaborar una propuesta de herramientas y criterios que se deben tener en cuenta en la implementación de procesos de simbiosis industrial realizados con residuos de empresas ubicadas en zonas geográficas distantes en el área metropolitana de Medellín.

3.2.Objetivos Específicos

- Determinar la herramienta adecuada para organizar la logística pertinente para el objetivo general.
- Realizar una revisión bibliográfica en la que se evidencian las principales herramientas,

metodologías y resultados acertados en diferentes contextos y zonas geográficas.

- Comparar herramientas y estrategias sobre los procesos de simbiosis industrial.
- Identificar los principales criterios y herramientas para la implementación y el adecuado funcionamiento de las redes de simbiosis industrial en zonas que no son parques industriales.
- Construir una propuesta de los criterios necesarios para el desarrollo de una red industrial, basada en la literatura nacional e internacional aplicables a la ciudad de Medellín.

4. Metodología

Para este apartado se usó una metodología cualitativa de carácter transversal (Hernandez, Fernandez, Batista, 2014), donde el principal insumo de investigación fueron fuentes bibliográficas y para esto se realizó una síntesis teórica sobre simbiosis industrial en diferentes contextos

4.1.Estrategia de búsqueda

La búsqueda se realizó por medio de bases de datos de internet facilitados por la Universidad Pontificia Bolivariana como Scopus y Sciencedirect, los documentos se filtraron por tema y año, se seleccionaron documentos relacionados con simbiosis industrial y que correspondían a estudios de tipo: causales, exploratorios, descriptivos, experimentales o productivos, publicaciones científicas que contenían dentro del documento el diseño metodológico, estadísticas y conclusiones concretas pertinentes para el análisis del presente trabajo de grado. Como filtro de año, se tomó el año de publicación teniendo en cuenta desde el año 2015 por la nimia publicación de artículos científicos en los últimos años (2021 - 2022).

Ahora bien, en la revisión se dilucida la simbiosis industrial entanto a sus relaciones contextuales, siendo así (AIDIMME, 2020) categoriza diferentes tipos de relaciones entre empresas, estas dependen del tipo de residuo; relación de mutualidad: Estas consisten en el uso/la utilización compartida de servicios o recursos (agua, energía, etc.) comunes,

instalaciones o infraestructuras por las empresas participantes. Relación de sustitución: Estas relaciones implican que los flujos residuales de una empresa se conviertan en flujo de entrada en otra. Relación de génesis: Estas relaciones están relacionadas con la creación de una nueva actividad para satisfacer la necesidad de reutilización de cualquier flujo o empresa. Por lo tanto, las relaciones que se generan entre las empresas dependen de los diferentes flujos: flujo de materiales (materias primas, agua, residuos, combustibles y productos), energía (electricidad y calor) y servicios auxiliares (vapor, aire comprimido, vacío, refrigeración y gases inertes).

A pesar de que este trabajo se basa en la simbiosis de residuos no se filtró por tipo de recurso usado en la simbiosis ya que se considera importante analizar todos los tipos de sinergia (relaciones) las perspectivas y las metodologías usadas ya que los requerimientos podrían no verse afectados por el tipo de relación o el tipo de materia prima que se utiliza, además consideramos que los estudios sobre simbiosis son limitados por lo que filtrar y limitar los artículos nos dejaría sin suficientes bases para el presente estudio.

4.2. Proceso de recopilación de la información

La información de interés de dichos artículos se filtró, clasificó y analizó por medio de fichas técnicas; (*revisar Figura 4.2.1*), de elaboración propia, donde se aprecian ítems como bibliografía, metodología, tipo de estudio, tipo de documento, país de publicación, características, herramientas, conclusiones e información adicional, como ejemplos estadísticos y conceptuales, herramientas, casos de éxito, problemáticas y conceptos relevantes para el presente estudio.

Figura 4.2.1. Formato ficha técnica de artículos seleccionados.

FICHA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA			
N° DE FICHA	VERSIÓN	01	
TIPO DE DOCUMENTO			
TÍTULO DEL DOCUMENTO			
BIBLIOGRAFÍA			
TIPO DE ESTUDIO		LUGAR DE APLICACIÓN	
CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO			
METODOLOGÍA APLICADA			
HERRAMIENTAS IDENTIFICADAS		CRITERIOS IDENTIFICADOS	
CONCLUSIONES DEL ESTUDIO			

4.3.Revisión y análisis de la información

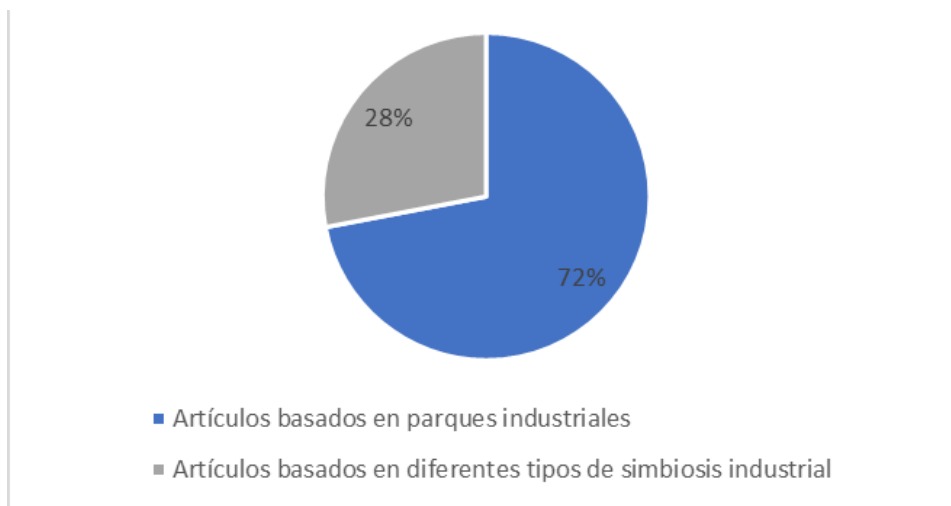
Según la información contenida en las fichas técnicas, se procedió a realizar un análisis que consistió en organizar y categorizar, las herramientas y criterios usados; estos según la singularidad y las variables de cada uno de los casos revisados. Se tuvieron en cuenta los pro y contra de cada uno para su selección, según su importancia en la aplicación de simbiosis industrial fuera de parques industriales.

5. Resultados

Uno de los objetivos de este estudio fue identificar los principales elementos para la implementación y el adecuado funcionamiento de las redes de simbiosis industrial en zonas que no son parques industriales, sin embargo, realizando la revisión se encontró que el 72% de los estudios analizados se basan en parques industriales, el 28% restante está basado en una combinación entre parques industriales o comunidades posicionadas en zonas geográficas cercanas (tal como se observa en la *Figura 5.3.1.1*). Al ser un porcentaje estadísticamente no significativo de artículos que tienen una unidad de análisis de tipo de simbiosis industrial, se

tomaron en cuenta herramientas, no solo de casos en donde la aplicación es en zonas geográficas distintas, sino también en parques industriales considerando que todo se trata del mismo concepto; ya que la simbiosis industrial puede definirse como “el intercambio físico de materiales, energía, agua y subproductos” entre diferentes entidades (Chertow, 2000), por lo que a pesar de tener diferentes características, están en pro del mismo propósito de economía circular.

Figura 5.3.1.1. Tipos de simbiosis industrial



Se recopiló datos de 100 artículos de los cuales 95 fueron estudios de caso publicados como artículos científicos, 5 fueron guías y publicaciones universitarias para la realización de simbiosis industrial. Estos artículos fueron realizados en diferentes países, en donde se evidencia que China, se ubica entre los países con economías emergentes que han contribuido a las publicaciones científicas sobre simbiosis industrial, representando el 48% de todas las publicaciones, ver Figura 5.3.1.2, un valor elevado con respecto de los demás países que varían del 21% o menos. Sin embargo, el continente con más artículos sobre el tema es Europa, en el cual se evidencia la mayoría de los casos (aprox. El 40%) juntando los porcentajes de países como Italia, Francia, España, Holanda, Suecia, Suiza, Dinamarca, entre otros. Estos países representan los estudios en sectores con una economía más estable y con un mayor desarrollo a comparación del continente americano.

Europa

La mayoría de los países relacionados con los casos de estudio tienen economías estables y se clasifican como desarrollados en este continente, , esto se evidencia en sus publicaciones ya

que abarcan la simbiosis industrial desde la evolución, la aplicación y sus beneficios, además se muestra que la mayoría de sus casos de estudio tuvieron resultados satisfactorios y beneficiosos para los actores implicados en la implementación de la misma.

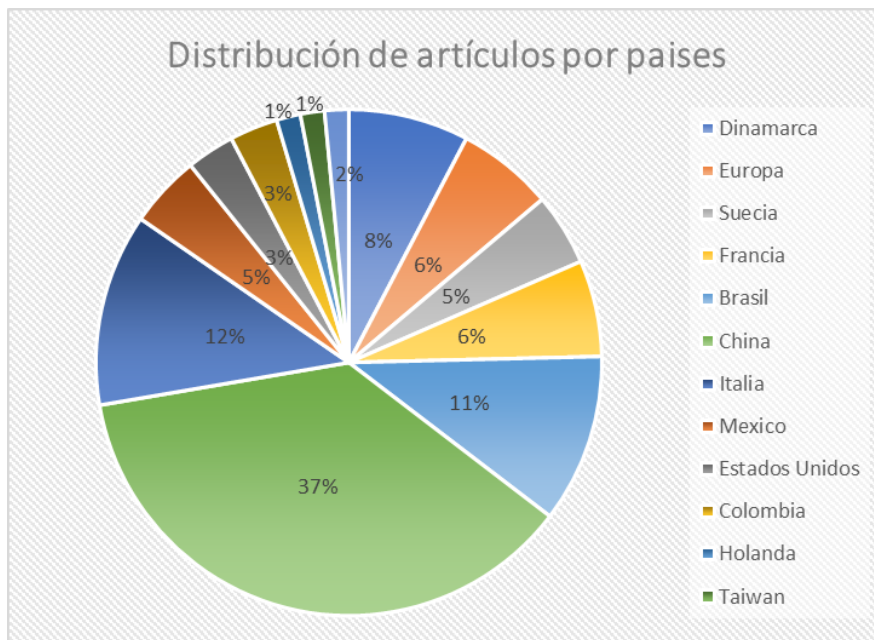
Asia

En el análisis de literatura se identificó el impulso y apoyo dado por los gobiernos para facilitar la simbiosis industrial entre empresas, esto se da especialmente en China, país en el cual el gobierno ha servido como apoyo, motivador y facilitador en sus diferentes parques industriales. Esto se está logrando mediante el desarrollo de leyes, incentivos y avances en investigaciones que promueven el descubrimiento de posibilidades de trabajo conjunto y la mejora de los sistemas que ya se encuentran implementados.

América

Los artículos sobre simbiosis industrial son de alcance reducido y poca profundidad, elaborados como primeras aproximaciones y acercamientos al tema Figura 5.3.1.2, como ejemplo Colombia, en el cuál encontramos solo un par de casos de estudio implementado, que profundiza en los beneficios sociales de la simbiosis industrial, el resto de casos se basan en programas piloto; por lo que en el presente documento no se analizaron, estos artículos muestran el poco del desarrollo industrial enfocado en la economía circular que se tiene en países Americanos. Con excepción de Brasil y México, países en donde la investigación desarrollada explora las fases de transición de simbiosis industrial y el proceso de aprendizaje (Morales et al., 2019)

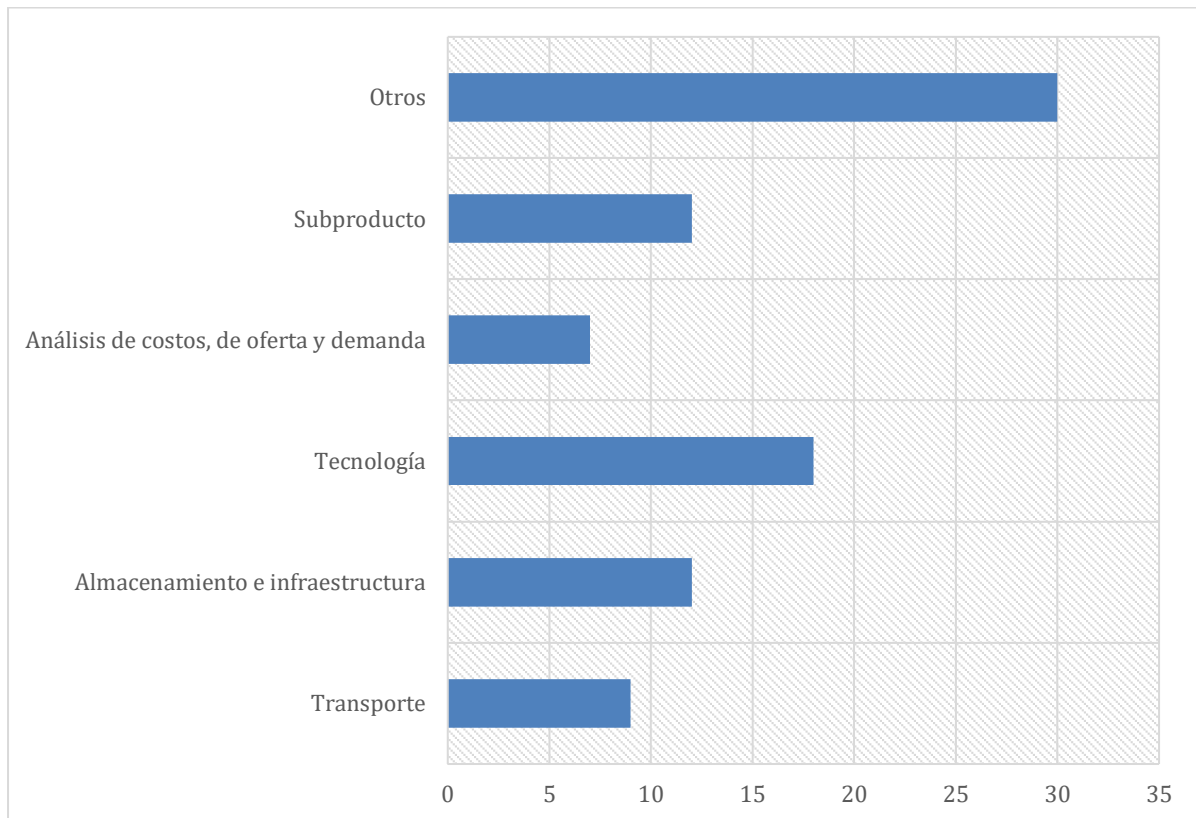
Figura 5.3.1.2. División por países en los artículos



5.1. Herramientas para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos

En el análisis de los documentos revisados se identificaron varias herramientas que dependen de diferentes factores a la hora de aplicar simbiosis industrial, uno de ellos es la etapa de aplicación, ya que existen estudios de análisis de factibilidad, estudios de aplicación, estudios de revisión sobre la efectividad de la simbiosis industrial, entre otros. En la Figura 5.3.1.1.1 se identifican 14 herramientas, siendo la tecnología con el 21%, el tipo de producto y almacenamiento con el 14% cada una y el transporte con 11% las herramientas que más mencionan y se emplean. Cabe mencionar que estas herramientas nos ayudan a identificar de manera clara y eficaz cómo abordar la simbiosis industrial según los parámetros que cada empresa pueda tener.

Figura 5.3.1.1.1. Herramientas para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.



A continuación, se muestran las herramientas para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos que superan el 8% de menciones en los diferentes artículos revisados.

Tabla 1. Herramienta transporte

Herramienta	Concepto
-------------	----------

Transporte

Esta herramienta es una de las más nombradas a la hora de considerar realizar simbiosis industrial con el 11%, esto se debe a que en los procesos de estudio preliminar y a la hora de poner en marcha las actividades se debe considerar el costo económico del transporte, pues es una parte clave del coste final de producción (Morales, 2019). Además, los sistemas de transporte deben diseñarse para minimizar energía y recursos (Monroy, 2016). De igual forma se considera una herramienta fundamental a considerar, ya que los productores de residuos requieren transportarlos a diferentes zonas, ya sea de almacenamiento, de proceso que requiere la biomasa para recircular nuevamente o para llevarlos a la empresa receptora de estos residuos como materia prima. Esto requiere que se definan rutas, gastos de personal y según el tipo de residuos que se involucre en la simbiosis industrial se deben tener otro tipo de consideraciones como la temperatura de los compartimientos, la capacidad del vehículo, la generación de CO₂, entre otras.

En el caso de una empresa de producción de olefinas que realiza procesos de simbiosis industrial (Royne, 2017) la materia prima se transporta de Smaland (provincia de Suecia) a Varo (una planta de gasificación) en camión recorriendo aproximadamente 311 km para luego pasar a Stenungsund (localidad de Suecia en donde se transforma el gas) en tren 650 km. Este caso muestra que el transporte no solo se realiza de forma vehicular sino también puede ser en buques, trenes, etc. Esto se debe a que el aumento de la demanda de biomasa aumenta las distancias de transporte, especialmente si se utiliza más materia prima y se extraen más variedad de productos para sacar al mercado como consecuencia de la reutilización por medio de simbiosis industrial; se puede considerar que la simbiosis industrial además de requerir esta herramienta, también beneficia los costos de la misma pues en casos como (Low, 2018) se muestra la reducción en los costos de transporte en una red de simbiosis entre cervecerías y agricultores asociados gracias a que compartían el transporte.

Es posible apreciar que ampliar la simbiosis industrial establecida entre

empresas químicas a parques industriales y establecer parques eco-industriales químicos es útil para lograr un desarrollo coordinado entre la economía y el ambiente a gran escala y promover la evolución del sistema donde se mejoran costos por la cercanía de las empresas y el cuidado plus del medio ambiente. (Cui y Liu, 2017)

Las sinergias no necesariamente deben estar dirigidas a las empresas participantes de un proyecto, sino también se incluye la posibilidad de buscar empresas interesadas en recursos fuera del proyecto. Por ejemplo, en la proximidad de la empresa oferente para optimizar el transporte, dado que se evidencia el ahorro económico (Cutaia, Scagliarino, Mencherini, & Iacondini, 2016).

Tabla 2. Herramienta almacenamiento e infraestructura

Herramienta	Concepto
Almacenamiento e infraestructura	<p>El 14% de los artículos revisados nombran esta herramienta, lo que sugiere que debe tenerse en cuenta a la hora de considerar simbiosis industrial. Esto debido a que al trabajar con diferentes tipos de residuos y cantidades de estos se deben tener en cuenta la infraestructura que el procesamiento de los mismos requiere, además del almacenamiento. Es el caso de (Low, 2018) en el cual una de las barreras era el área de almacenamiento que se requería para guardar la materia prima que en este caso era la cebada, malta y otros granos. También se debe tener en cuenta la capacidad estructural, de almacenamiento o adaptaciones que debe realizar la empresa para recibir o producir residuos. Dependiendo de esta herramienta la empresa podrá analizar en la fase de concepción la capacidad que tenga para involucrarse en una red de simbiosis industrial, además de los beneficios que le puede generar compartir dicha infraestructura (Fan, 2016). El almacenamiento e infraestructura no solo facilitan el procesamiento de la materia prima si no también el anclaje de nuevas empresas (Sun, 2017), gracias a esta infraestructura se puede compartir el espacio permitiendo un mayor abastecimiento y una disminución en los costos a la hora de realizar simbiosis industrial.</p>

Tabla 3. Herramienta tecnología

Herramienta	Concepto
-------------	----------

Tecnología Esta herramienta es fundamental a la hora de implementar simbiosis industrial, debido a que en la actualidad es uno de los componentes que más se usan y se tienen a la mano. Además de esto dicha herramienta busca mejorar el desempeño ambiental de algunas industrias, debido que al implementar nuevos procesos para la recirculación de subproductos se debe tener en cuenta los costos y las necesidades de adquirir las tecnologías apropiadas y que además puedan estar al alcance dentro de las ciudades (Monroy, 2016)

Es el caso de un estudio realizado en China, donde, en 2008, el ministerio de industria y tecnología de la información de China, interfirió en un parque industrial que trabajaba con coque, puesto que se encontró que los hornos que se tenían además de ser contaminantes no eran aptos para permitir el ingreso de nuevos subproductos al proceso, por lo que con ayuda gubernamental se retiraron los pequeños hornos de coque existentes y se reemplazaron por unos más eficientes. (Wu, 2018)

A medida que se renuevan los espacios comerciales, se van generando necesidades no solo en las instalaciones o en el requerimiento de equipos especializados, sino también en avances tecnológicos que permitan una mejora continua de los procesos, es el caso del edificio Bubbly Dynamics en donde este realiza la inversión y construye los espacios según las especificaciones del inquilino o los mismos inquilinos instalan el equipo necesario por sí mismos (Chance, 2017). Sin embargo, en algunos casos, las empresas que participan en una red de simbiosis adaptan la tecnología ya existente en stock, tal como es el caso que expone Feng (2017), en donde uno de los hornos usados para la carburación del calcio se transformó de un horno abierto a uno sellado para que se pudiera recuperar el gas y usarlo como combustible en unas plantas de cal. Otro caso puede ser realizar acuerdos de intercambio, puesto que la inversión en nueva maquinaria o materiales puede ser costosa y poco rentable para una empresa, puesto que no son sólo costos de adquisición, se deben agregar costos de mantenimiento, personal operativo, entre otros. En el estudio de caso de (Li, 2017) se recomienda que el equipo de fabricación en las empresas debe ser inspeccionado periódicamente, considerando que particularmente en esta empresa el equipo se encontraba en mal estado y una problemática era la falta de conectividad causada

principalmente por mal funcionamiento o falla de funciones particulares. Es el caso del estudio (Fang, 2017) en donde primero se analiza el potencial de intercambio de materiales/ residuos entre empresas o sectores por medio de una factibilidad tecnológica, esto con el objetivo de disminuir pérdidas y calcular cuántos vínculos diferentes puede tener una empresa según sus características y limitaciones.

Tabla 4. Herramienta análisis de costos, de oferta y demanda

Herramienta	Concepto
Análisis de costos, de oferta y demanda	<p>Esta herramienta entró en nuestro límite con un 8% en relación con la totalidad de documentos analizados. De ella depende el diferenciar y destacar ciertos parámetros para señalar y definir el nivel de importancia en el que se puede identificar y establecer el propósito de la investigación.</p> <p>La presencia de las administraciones públicas en los consorcios de los proyectos de simbiosis industrial ha sido muy positiva y clave, junto con las ayudas económicas que permiten dar viabilidad para arrancar este tipo de medidas, ya que impulsan al desarrollo económico. (Perero & Rodríguez, 2020)</p>

Tabla 5. Herramienta subproductos

Herramienta	Concepto
-------------	----------

Subproducto A pesar de que esta herramienta tiene un menor porcentaje de menciones a comparación de otras siendo este el 11%, es fundamental mencionarla ya que muchos criterios que se mencionan más adelante dependen del tipo de producto a manejar. Para que los residuos puedan ser valorizados por otras industrias, es necesario clasificar estas sustancias como subproductos. “Subproducto” significa sustancias u objetos que resultan de un proceso de producción en el que el objetivo principal no es su producción *residuo de producción* (Monroy,2016). Esas sustancias u objetos pueden usarse directamente, sin ser procesados (aparte de la práctica industrial normal), en otras aplicaciones e industrias (Ferreira, 2019).

Cuanto mayor sea la valorización de subproductos, mayor será la resiliencia de la red (Morales, 2019), esto se debe a que propiciar la diversidad tanto en el suministro como el origen de la materia prima, permite el acceso al mercado de una mayor cantidad de productos y productores y a la vez interesa y suple las necesidades de una mayor cantidad de usuarios.

Ahora, no todos los subproductos son comerciables ni es rentable recircular toda la materia, esto depende de muchos factores uno de ellos es la fuente de creación de valor para la economía (Diemmer,2017). En donde se debe definir la durabilidad de los productos y servicios, las opciones disponibles de renovación, manufactura, posibilidades del entorno de realizar prácticas de reparación y reutilización de un producto o material, también del uso en cascada (para diversificar la reutilización a lo largo de la cadena de valor), además de la biodegradabilidad, materiales no contaminados y la eficiencia de recolección y redistribución (Morales, 2019).

Según el tipo de residuo, se definirá el tipo de proceso y la rentabilidad de la red, pues no todos los productos están disponibles para la explotación, por razones del entorno o por sus propias características y algunos son mucho más complicados de recircular que otros, ese es el caso de (Domenech, 2019) donde entre los principales recursos informados en unas encuestas realizadas, sobre productos comunes en las redes, se encuentran los productos químicos, biomasa y subproductos agrícolas, madera y pellets de madera, plásticos, materiales de construcción reutilizables, residuos inertes, agua, calor, entre otros.

Si el producto es un recurso como agua, calor o energía, la simbiosis industrial se ve limitada geográficamente, pero si es un residuo según la cantidad y sus características puede ser transportado y adaptado a mayores distancias. La distancia depende en gran medida del tipo de recurso, ya que cada recurso tiene un radio sustancialmente diferente para la actividad de simbiosis industrial (Domenech, 2019).

Los hallazgos de la investigación de (Domenech, 2019), sugieren que el alcance geográfico para diferentes tipos de recursos depende del tipo de flujo de residuos y sus características físicas y químicas; el valor de los residuos. por lo que es muy importante tomar en cuenta los estudios de mercado y de procesamiento que requiere el tipo de residuo que se va a integrar a la red, además de usar herramientas que permitan identificar los vínculos de red más eficientes para intercambiar estos subproductos.

En el estudio de caso de (Morales,2019) se muestra que, en el proyecto aplicado, la mayoría de los subproductos disponibles, podrían ser introducidos a la red formada y que además las empresas dependían de las propiedades de los subproductos para definir la transformación requerida, los vínculos a formar y los recursos a invertir.

En este mismo estudio se muestra como algunos de los proyectos de esta red los proyectos fallaron porque sus subproductos no cumplían con las especificaciones técnicas requeridas, esto nos muestra la importancia de involucrar herramientas para definir y establecer los límites y beneficios de trabajar con un subproducto determinado antes de involucrarse en una red.

Según (ANTONIAZZI, 2021) La valorización de residuos industriales es objeto de un estudio encaminado a diseñar un modelo de simbiosis industrial para el sector industrial cordobés. Por ejemplo, los efluentes de un proceso pueden servir como materia prima para otro proceso, minimizando los desechos y creando sostenibilidad y beneficios económicos, ambientales y sociales. (ANTONIAZZI, 2021), actualmente se genera 1 tonelada de residuos cada 2 segundos. Argentina equivale a unas 5.000 toneladas por día, de las cuales solo se recicla un 3%. Esta es la cantidad mínima.

Adicional a estas herramientas se mencionan otras que a pesar de no ser tratadas por más del 8% de los artículos consideramos importantes y eficientes, tales como: Análisis de beneficios, análisis de cadena productiva, comunicación, indicadores (tasa de producción de recursos, tasa de consumo de recursos, utilización integrada de recursos, tasa de reducción en la descarga de desechos, reducción y reciclaje de materiales, desarrollo económico, control de la contaminación y administración y gestión) (Ferreira,2019), sistemas de respaldo, identificación de vulnerabilidad, bases de datos para formulación de redes, modelos de crecimiento para análisis de estabilidad, seguimiento.

5.2. Reflexión sobre las herramientas

Domenech, (2019) muestra como en la mayoría de los casos que se estudiaron, las redes no tenían ningún marco de monitoreo establecido y carecían de mecanismos armonizados de recopilación de datos y cuantificación de los beneficios; esto genera que las oportunidades de explotar el potencial de la red sean ignoradas, los posibles errores radiquen en errores humanos; las áreas de mejora tenían procesos más eficientes a la hora de implementar simbiosis industrial, esto sucede con las categorías de beneficios potenciales ya sean ambientales, social o económicos. Además con ayuda de encuestas y entrevistas que sugerían beneficios económicos, sociales y ambientales directamente relacionados con simbiosis industrial, sin embargo en estas mismas encuestas revelan que existen beneficios y problemas no informados, debido a la resistencia de las empresas para proporcionar datos, esto por falta de mecanismos de coordinación que recopilen y mantengan los datos, la falta de capacidad técnica y tiempo.

Estas carencias generan problemas de comunicación, vulnerabilidad, fallos en procesos productivos que a su vez generan problemas de estabilidad, de beneficios ambientales, pérdidas económicas y falta de control de los procesos. Por estas razones las herramientas anteriormente mencionadas son fundamentales no solo para llevar un seguimiento para la mejora continua y para establecer la eficiencia de la simbiosis industrial, sino también para facilitar etapas como la formulación de la red, la introducción de una empresa a la misma o el hecho de afrontar diferentes crisis en comunidad y hacer la red más resiliente.

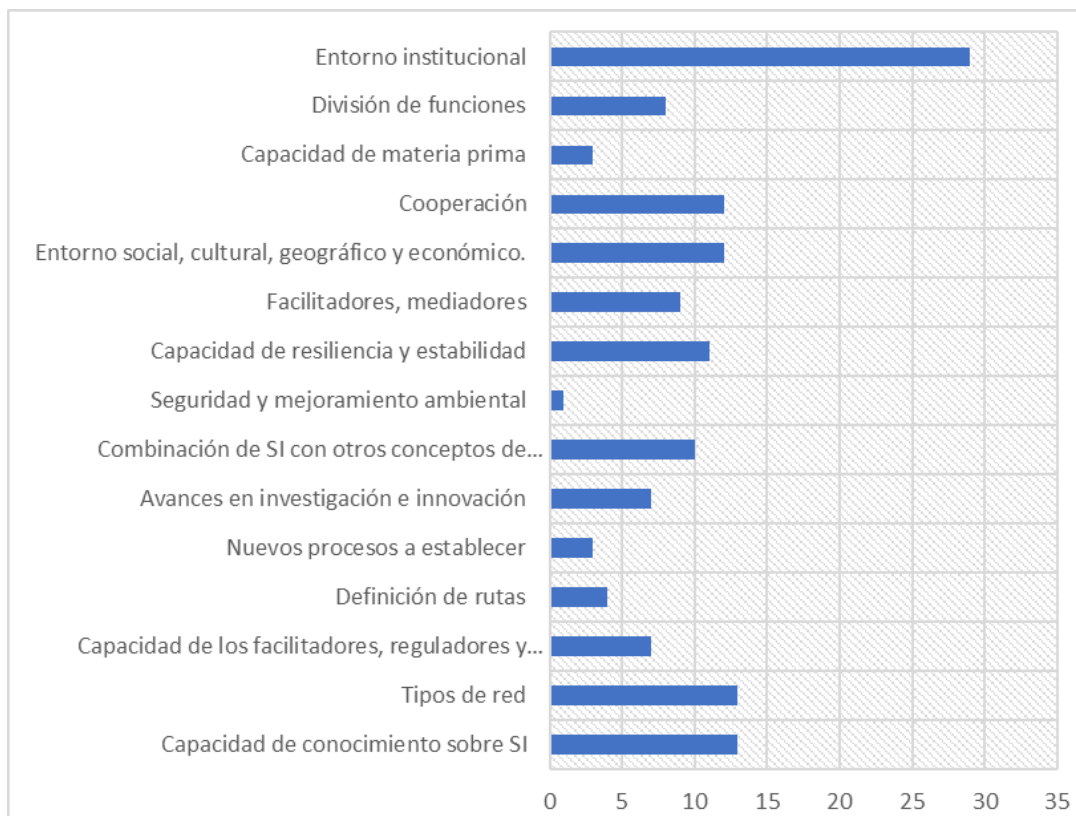
5.3. Criterios para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.

En el análisis de los documentos revisados se pudieron identificar varios criterios que se pueden

encontrar asociados en la etapa de aplicación de simbiosis industrial. A propósito de la bibliografía analizada hay variables que evidencian las diferentes formas de aplicación de cada criterio en los casos de simbiosis industrial; además, tales variables muestran en potencial de la empresa en lo que se refiere al cumplimiento del objetivo general en esta etapa.

A partir de la Figura 5.3.1 se puede observar el reconocimiento de 14 criterios en la data establecida; de estos criterios, 10 superan el 5% de menciones, mientras solo 4 se ubican por debajo de este umbral.

Figura 5.3.1. Criterios para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.



A continuación, se muestran los criterios para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos que superan el 5% de menciones en los diferentes artículos revisados.

Tabla 6. Criterio capacidad y funciones de los facilitadores, reguladores y mediadores.

Criterio	Concepto
----------	----------

Capacidad y funciones Como criterio fundamental para la creación de simbiosis industrial de los facilitadores, debe estar el establecimiento de roles y la capacidad que tienen los reguladores y empresas para disponer personal o equipos que permitan el adecuado cumplimiento de las labores de las empresas intermediarias.

Un negocio circular en su inicio debe centrarse en diferentes criterios, uno de ellos consiste en identificar a las partes interesadas que necesitan colaborar para que la red de simbiosis industrial se implemente y opere con éxito (Baldassarre, 2019). Después de definidas las partes interesadas se debe identificar el rol y las funciones que va a cumplir cada una de ellas en la red de simbiosis, esto se muestra en el caso de (Chance,2017), donde la red de simbiosis se encontraba en un edificio en el cual se venden diferentes tipos de productos agrícolas. En este, cada empresa tenía una tarea como, administración, cortar flores, llevar materia prima, control de sistemas de economía circular, entre otros. La definición de roles es fundamental ya que no solo se requieren empresas productoras, existe un rol fundamental en la simbiosis industrial y es el rol de empresas reguladoras, facilitadoras o mediadoras, estas empresas pueden desempeñar un papel muy importante como es el de solucionar brechas logísticas, puesto que se requiere no solo la producción de los subproductos si no también, limpieza, recolección, transporte, almacenamiento, transformación, entre otras actividades para que el subproducto pueda volver a tener un valor en el mercado (Marchi, 2017). Además de esto en la red se requieren papeles administrativos que permitan el correcto funcionamiento de esta.

Es el caso del estudio comparativo sobre las vías de los parques industriales hacia el desarrollo sostenible entre China y Canadá (Liu, 2017), donde se establecen y definen a las empresas “descomponedoras y de basura”, que sus funciones son las de solucionar y dar un valor a residuos que eran costosos de adquirir debido a su transporte, como por ejemplo residuos peligrosos

(solventes).

Otro estudio realizado en Francia “El poder de las partes interesadas en las simbiosis industriales: un valor de las partes interesadas enfoque red” (Hein,2017). Muestra cómo los interesados con más poder son los encargados de financiar la simbiosis (propietarios y patrocinadores), ellos son los encargados de facilitar servicios importantes como el arrendamiento del territorio para construir infraestructura (Hein,2017).

Además, el uso de facilitadores como los gobiernos locales y las asociaciones industriales puede ayudar a superar varios obstáculos, como la necesidad de garantías, la falta de voluntad de las empresas para divulgar su conocimiento y el temor de depender de otros establecimientos (Kasmi, 2021).

Adicional a esto las tareas de los facilitadores y mediadores también implica ayudar a esparcir el conocimiento, incentivar la participación, y generar nuevas conexiones de simbiosis.

(Muhtasim, 2022).

Tabla 7. Criterio capacidad de conocimiento sobre simbiosis industrial.

Criterio	Concepto
Capacidad de conocimiento sobre simbiosis industrial	de Los conceptos de sostenibilidad y sus perspectivas deben ser usados como refuerzos para la simbiosis industrial (Baldassarre, 2019). La capacidad de conocimiento sobre simbiosis industrial se divide en 3 casos, el caso del conocimiento que genera interés en implementar simbiosis industrial y los requerimientos esto, el caso de la capacitación que requieren los trabajadores para adaptarse a la simbiosis industrial y los conocimientos que generan interés en los clientes los clientes. En el caso de conocimiento sobre la implementación de simbiosis industrial se evidencia que la falta de conexión entre empresas, la baja implementación de ideas innovadoras, el desperdicio de subproductos (Chui, 2018), las

limitaciones en tácticas de implementación de simbiosis industrial, las fallas en los procesos y el flujo de residuos se relacionan con la falta de conocimiento sobre simbiosis industrial (Low, 2018).

Adicional a esto, la falta de conocimiento sobre los beneficios de la simbiosis industrial limita a las empresas interesadas en involucrarse en una red. Existen documentos como (Baldassarre, 2019) en los que uno de sus objetivos es proporcionar una comprensión más completa de los desafíos y aspectos que deben tenerse en cuenta al establecer una nueva red de simbiosis industrial, esto con el fin de generar interés en la simbiosis industrial por medio de la información (Efrain, 2020).

Según el artículo “By-product synergy” changes in the industrial symbiosis dynamics at the Altamira-Tampico industrial corridor: 20 Years of industrial ecology in Mexico. El aprendizaje regional, se basa en el reconocimiento mutuo y la confianza, es decir que las empresas y otros socios intercambian conocimientos y amplían la definición de sostenibilidad sobre la que actúan. Además, el entero conocimiento de los subproductos permite un intercambio más eficiente (Cui, 2018).

En resumen, el conocimiento sobre todos estos aspectos como beneficios económicos, obstáculos, facilitadores, tipos de red y conceptos teóricos sobre simbiosis industrial no sólo facilita y reduce los errores a la hora de implementar simbiosis industrial, si no también genera más confianza y aumenta las empresas dispuestas a involucrarse en una red (Wang, 2017).

En el caso del criterio del conocimiento por medio de capacitaciones que requieren los trabajadores para adaptarse a la simbiosis industrial, según el documento “Enabling industrial symbiosis collaborations between SMEs from a regional perspective” las asociaciones de la industria pueden mejorar su desempeño comercial al fomentar el intercambio de información y ofrecer capacitaciones sobre la simbiosis industrial. Según (Monroy, 2016; Wang, 2017 y Cui, 2018) las capacitaciones al

personal permiten realizar de forma más eficiente las actividades para participar en una simbiosis industrial y a su vez permiten crear mejores métodos de trabajo, además de que permite enfrentar cualquier situación riesgosa, con eficacia.

En el tercer caso se muestra como los conocimientos sobre los beneficios de simbiosis industrial generan interés en los clientes los clientes, los gerentes del Parque Industrial de Qijiang han reconocido la importancia de establecer un sistema de información. En 2015, se invirtieron 120 millones, en la construcción de una plataforma de información para realizar análisis de información (Li, 2017). Esto con el propósito de retroalimentar a las empresas de información generada no solo por la red sino también por los consumidores. Según un estudio realizado en Estados Unidos en 2016 la participación de las actividades realizadas para la simbiosis industrial aumentó, con un 30 % de asistentes provenientes de los barrios que rodean The Plant (edificio objeto del estudio de caso), frente al 8% del año anterior. Cuatro antiguos voluntarios inauguraron sus propias empresas en el edificio y más han lanzado proyectos en otros lugares de Chicago (Chance,2017).

Tabla 8. Criterio tipo de red.

Criterio	Concepto
Tipo de Red	Los artículos analizados muestran diferentes estudios que definen que el éxito de un caso de simbiosis industrial depende del tipo de red que se forme. Es el caso de (Li, 2017) en el cual se muestra una metodología para evaluar la vulnerabilidad de una red según el tipo que se forma. Algunas de las variables mencionadas en este y otros artículos son: si la red es simbiótica acoplada, simétrica, unidireccional y bidireccional (Yanqiu Wang, 2019). Estas definiciones tratan sobre la interacción entre cada uno de los

vínculos que se pueden formar dentro de una misma red, este criterio es importante porque se debe identificar cual es el tipo de vínculo más estable y cuáles son los vínculos que se tienen en la red que se va a generar, esto permite que haya más confianza en la red y menos inestabilidad de la misma. En el artículo (Wang, 2017) argumentaron que identificar el nodo clave en la red y asegurar su efectividad podría prevenir una reacción en cadena causada por su falla.

Por otro lado, el estudio de (Oliviera, 2018) muestra que la unión de varias empresas del mismo sector permite recircular mayor porcentaje de productos a menor precio. Por el contrario, en el estudio de (Li, 2017), se menciona que las redes en donde las empresas son de diferentes sectores productivos producen un mayor número de intercambios y colaboraciones por productos. Otro estudio mencionado en este artículo encontró que cuanto mayor es la dependencia de las empresas dentro del sistema, mayor es el riesgo para la estabilidad de simbiosis industrial y menos resiliente se vuelve la red.

Una característica para tener en cuenta como criterio para saber si la empresa es apta para ingresar a una red es el tamaño de la misma. En estudios como el de (Chunyang Lu, 2019) se muestra que los mayores productores de subproductos que se intercambian son las grandes industrias por lo que un criterio importante al hacer simbiosis es tener en cuenta que dentro de la red siempre deben tener “anclas” como las grandes empresas.

Otra variable mencionada en los artículos revisados es, el tamaño de la red y la cantidad de nodos(vínculos que se pueden generar en una misma red red) (Oliviera, 2018). Muestra que entre más grande sea la red hay mayor recirculación de subproductos y porcentaje de productos en el mercado, minimizando los precios y maximizando la variedad, esto aumenta la competitividad de las empresas. En el estudio de (Feng, 2017) se agregaron 25 nodos a un parque industrial

de aluminio, lo que amplió las cadenas industriales y generó un desempeño económico significativamente mejorado demostrando que entre mayor sea la cantidad de vínculos dentro de una misma red mayor será el beneficio, no solo económico sino también de apoyo. Por otro lado, los tipos de relación entre las empresas; también son considerados. En el estudio de (Wang, 2017) se definen diferentes tipos de relación como lo es la dependiente y anidada en donde las empresas principales se encuentran en una posición dominante lo que genera un cambio efecto dominó, es decir, si hay algún tipo de cambio significativo en la empresa principal tendrá una gran influencia en las empresas satélite afectando directamente la estabilidad de la red. Para el tipo de red igualitaria, las empresas poseen cierta independencia y la simbiosis entre ellas es baja. Se intercambia una gran cantidad de material e información entre las empresas y el mundo exterior, pero pocos se intercambian dentro del sistema.

Tabla 9. Criterio formación del personal.

Criterio	Concepto
Formación del personal	La adquisición de tecnologías avanzadas demanda personal capacitado para su mantenimiento, esto puede representar un costo adicional (Monroy, 2016); ya que se debe tener en cuenta el aumento económico generado por el aumento de personal, otros aspectos de este criterio son que la seguridad de las condiciones de empleo y la prosperidad, son fundamentales para generar confianza en la simbiosis industrial (Morales, 2019). A la hora de implementar simbiosis industrial se debe tener en cuenta cambios en el proceso productivos, el incremento en el número de actividades, los procesos de intercambio requieren que al interior de las empresas se desarrollen actividades de recolección, clasificación y limpieza de los residuos o subproductos; por medio

de las capacidades que la empresa le enseñe por medio capacitaciones. Estas nuevas actividades pueden llegar a crear nuevos puestos de trabajo o pueden incrementar las actividades a realizar por parte de los empleados actuales, favoreciendo la retención de trabajadores en la empresa (Organización internacional de trabajo, 2021), sin embargo esto representa el aumento de tareas e incluso jornadas de trabajo, por lo que un criterio a tener en cuenta a la hora de pensar en la simbiosis industrial es la disponibilidad de tiempo debido a las exigencias de la jornada laboral y tareas de mayor prioridad en la empresa (Morales, 2019).

Ibáñez (2019) conceptualiza sobre el desempeño social de los sistemas de gestión de residuos, demostrando con sus resultados, como aún se tiene problemáticas asociadas con la calidad de vida de los trabajadores; los indicadores sociales con mejor desempeño fueron el horario de trabajo y condiciones de vida seguras y saludables, además se relacionan con un desempeño reducido; las regulaciones laborales y salario justo, seguidos de empleo legal con beneficios, favorecen al aumento de un desempeño óptimo en la empresa. El estudio de la Organización internacional del trabajo realizado en el 2021 sobre las redes de simbiosis industrial y el empleo muestran, que en los tres estudios de casos, los procesos de simbiosis industrial, tienen la capacidad de generación de empleo, tres de las empresas encuestadas reportaron la creación de nuevos puestos de trabajo (33 trabajos nuevos reportados), se debe tener en cuenta que estos resultados fueron en dos empresas grandes, y en una microempresa; la simbiosis industrial está encaminada a la sostenibilidad y esta se relaciona con la calidad de vida, por lo que un criterio fundamental no solo para la eficiencia de los procesos sino también para el cumplimiento de diferentes políticas sostenibles es aumentar el desempeño social.

Tabla 10. Criterio avances en investigación e innovación.

Criterio	Concepto
Avances investigación Innovación	<p>en Este criterio se define como todos los recursos ya sea de información e o de avances en la tecnología, o innovación en los procesos que se requieren a la hora de aplicar simbiosis industrial. Este criterio se basa en mantener constante el interés en simbiosis industrial, por medio del uso de estrategias eco-innovadoras, estas aumentan la sinergia de los flujos de materiales (Morales, 2019), además facilitan procesos y vuelven más eficientes las cadenas productivas. Los avances en investigación permiten que las redes de simbiosis tengan una mayor estabilidad y que el uso de estas redes traiga cada vez más beneficios disminuyendo las barreras y los errores, en el caso de (Morales, 2019) se observa como el surgimiento de un proceso de aprendizaje innovador introdujo un nuevo enfoque en los estudios de simbiosis industrial. Esto muestra cómo los mecanismos para mejorar el aprendizaje y la innovación, disminuyen los costos de transacción e impulsan la sostenibilidad, además de permitir con los nuevos enfoques mayor eficiencia en los procesos de simbiosis industrial e incluso un desarrollo de nuevos tipos de la misma. Las innovaciones enfocadas en la sostenibilidad siempre implican aspectos técnicos, colaborativos y de modelo de negocio, por lo que los tres pilares deben ser considerados simultáneamente (Baldassarre, 2019), las actualizaciones en información nos permiten conocer sobre modelos de negocio y aspectos técnicos y colaborativos más eficientes.</p> <p>En esta situación, expresada por Liu, (2016) menciona que el régimen está implementando una tecnología creativa a su aplicación en TEDA (Parque Industrial de China). Para remediar este caso, el régimen de TEDA ha tratado de robustecer las colaboraciones con las universidades e instituciones locales y entablar mecanismos de comunicación en medio de las piezas interesadas.</p> <p>Wu (2018) realiza una evaluación retrospectiva y prospectiva de la</p>

energía, las emisiones de carbono del ciclo de vida y la huella hídrica para la evolución de la red de coque en China, se muestra cómo la tecnología de una empresa debe ser cambiada debido a su alta contaminación, después del análisis del artículo se definen técnicas innovadoras para poder realizar la transición incluso sin necesidad de reemplazar toda la maquinaria usada en el proceso.

Tabla 11. Criterio combinación de simbiosis industrial con otros conceptos de economía circular.

Criterio	Concepto
Combinación	<p>de Según el 7% de los artículos revisados, la simbiosis industrial debe ir acompañada de prácticas de producción más limpia pues esta forma de economía circular por sí sola no es una solución a todas las problemáticas económicas y ambientales de una empresa. En el caso de (Oliveira,2018) sobre empresas fabricantes de muebles se muestra que el 87% de las empresas de muebles, optó e implemento tecnologías ecoeficientes como cabinas de pintura en seco, estas aplicaciones de producción limpia, han generado un aumento en la conciencia ambiental de los empleados, la cual vuelve a la empresa, competitiva en el mercado, reduciendo impactos al medio ambiente y generando un mayor aprovechamiento y eficiencia de los subproductos y los procesos; así pues las empresas tienen la capacidad de cualificar a sus empleados en torno a una conciencia de la economía circular y el cuidado del medio ambiente.</p> <p>Uno de los objetivos de la simbiosis industrial debe ser la sostenibilidad y el equilibrio con el medio, por lo que un criterio importante a la hora de aplicar la simbiosis industrial, son las estrategias para cuidar los recursos, para beneficio económico de la empresa y el cuidado del medio ambiente. Existen estrategias como la restauración de ecosistemas locales para desarrollos sostenibles de parques industriales; el ecosistema en el que se ubicaba una red ya sea en zonas geográficas</p>

diferentes o en parques industriales, es un sistema de soporte fundamental de la vida puesto que no solo proporciona servicios locales y recursos esenciales, sino que también es un vehículo para las actividades económicas (Fan, 2016).

El estudio de caso sobre el grupo de teñido de textiles de Banwol-Sihwa (Corea del Sur) también revela que han surgido patrones de mejoramiento ambiental como el control de la contaminación, producción más limpia y simbiosis industrial. La combinación de los mismos permite a la empresa generar confianza social, aumenta el interés institucional en apoyar los proyectos y genera beneficios sociales y privados ya que permite mayor eficiencia a la empresa generando mayor ganancia a largo plazo, puesto que la red muestra que las externalidades ambientales negativas se pueden redirigir a externalidades ambientales positivas conduciendo a ahorros de costos, mejor productividad de los recursos, reducción de energía, entre otros (Yoon, 2018).

Otro estudio de caso sobre el análisis de implicaciones potenciales del desarrollo de la red de simbiosis industrial en indicadores clave de sostenibilidad regional, realizado en una red urbana de simbiosis industrial en Suecia, basada en la interacción de empresas como industrias de procesamiento de pescado, producción de algas y un criadero de salmón muestra que las prácticas conscientes (implementación de un sistema para el reciclaje de residuos plásticos del mar) permitieron la reducción en los impactos de eutrofización y la reducción significativa de las emisiones de GEI. (Martin, 2018)

La propuesta y la puesta en práctica de la ecología industrial generan condiciones para la creación de dinámicas de eco-innovación que responden al entorno cambiante, a un uso ineficiente de materias primas y a un problema de generación de residuos que impactan negativamente al medio ambiente.

Tabla 12. Criterio capacidad de resiliencia y estabilidad.

Criterio	Concepto
Capacidad de resiliencia y estabilidad	<p>de Para Ashton (2009) la resiliencia es una característica de un sistema de y interacciones ecológicas y económicas; indicando que la interacción entre el movimiento económico y la red es el factor clave para determinar la vulnerabilidad del sistema, pero todas los <i>stakeholders</i> deben participar en el proceso de cambio (Morales, 2019). Identificar la vulnerabilidad del sistema es un criterio fundamental para promover la capacidad de resistir los riesgos de las variantes económicas (Wang, 2017) y evolucionar después de ellos. Existen diferentes métodos y herramientas para evaluar la estabilidad económica, en el estudio de (Yanqiu, 2019) se nos presenta un modelo de crecimiento logístico como un método eficaz para evaluar la estabilidad de la red de parques eco industriales.</p> <p>Liu (2019) muestra una herramienta para evaluar la vulnerabilidad a una perturbación en la red es en donde el efecto de vulnerabilidad por una perturbación se simuló con el software Simulink. Como resultados, se encontró que el efecto de la perturbación era menor después de implementar reguladores (empresas que satisfacen problemas en comunicación, actualización de información, evaluación del mercado, etc.) estos mismos resultados se encontraron en (Morales, 2019) donde los reguladores hacen parte importante de una red resiliente; los resultados también mostraron que el regulador juega un papel clave en la resiliencia del sistema a la vulnerabilidad, además, entre mayor sea el control de las variables de la red, se reducirá la vulnerabilidad, por ejemplo, al optimizar la estructura de la red como cadena industrial, permite que el control integral gubernamental sea implementado por innovación tecnológica, regulando de manera proactiva y así permite una mitigación de la vulnerabilidad por adelantado (Wang, 2018).</p> <p>Estos casos nos muestran que un criterio fundamental a la hora de implementar simbiosis industrial es tener un protocolo, una red y estudios que permitan generar resiliencia a largo plazo.</p>

Otros mecanismos pueden ser identificar las empresas clave, solicitar regulación integral del gobierno y es imperativo construir la red alrededor de las empresas centrales para mejorar la estabilidad (Wang, 2018).

En el caso de (Kuznetsova, 2016) un estudio de caso sobre un modelo de inoperatividad (input-output) para el análisis de riesgo de parques eco industriales, usó acciones para ser más resilientes, donde implementó soluciones a su logística para conseguir un sistemas de control y comunicación alternativos evitando una falla en las telecomunicaciones. Todas estas acciones son realizadas para aumentar la estabilidad y resiliencia que permiten que una red de simbiosis industrial sea más eficiente y segura.

Por último, cabe mencionar que este criterio nos ayuda afrontar las problemáticas que se puedan generar en una red permitiendo a una empresa evaluar antes de ingresar a una red por medio de herramientas de análisis de riesgo y de definiciones sobre transmisión del riesgo, la viabilidad y las limitaciones que se puedan presentar a futuro para así decidir si es o no beneficiosos involucrarse (Wu, 2017).

Tabla 13. Criterio entorno social, cultural, geográfico y económico.

Criterio	Concepto
Entorno social, cultural, geográfico y económico	La inestabilidad de un sistema simbiosis industrial puede surgir gracias a sus características especiales en las conexiones ecológicas y el entorno en el que se encuentra (Li, 2017). Por este motivo es que el entorno en el que se desarrolla la simbiosis toma un papel fundamental. Es decir, en un medio urbano, se requiere el uso de recursos del entorno para propiciar el desarrollo industrial y económico. Teniendo en cuenta esto para realizar simbiosis industrial se debe tener en cuenta diferentes aspectos del entorno no solo para evaluar la factibilidad de realizar la simbiosis industrial sino también para definir los requerimientos, límites y beneficios que encierra esta actividad.

Un ejemplo de este tipo de perspectiva es el estudio de (Efrain, 2022), puesto que los modelos comerciales y los marcos regulatorios probados y practicados en casos de estudio revisados en los países desarrollados no eran aplicables a países de mercados emergentes o países de mercados fronterizos debido a la diferencia, no solo en las etapas de desarrollo, sino también en los marcos sociales, deficiencias en el campo político por falta de incentivos, normativas y recursos, además del mercado definido por aspectos culturales. Depende de muchos de estos factores que un caso de simbiosis industrial sea exitoso, por lo que un criterio a tener en cuenta y a evaluar antes de implementar cualquier tipo de simbiosis industrial es identificar las características del entorno que favorecen o limitan la misma.

De igual forma otro factor del entorno a tener en cuenta para estudios de mercado y de factibilidad es la biodisponibilidad. Al igual que las plantas en nuestros sistemas industriales, las entidades biológicas forman el motor de los ciclos materiales, que son alimentados principalmente por energía solar. La pérdida material indirecta, o más bien la pérdida de disponibilidad económica de materiales, puede utilizarse para el desarrollo sostenible (Verhoef, 2016). Esto hace referencia a que también se debe tener en cuenta la materia de explotación disponible ya que no siempre va a estar de acuerdo con las necesidades del mercado, además la materia disponible en un entorno puede ser más limitada que en otros, por lo que los estudios de mercado deben realizarse a profundidad, no solo para evitar la pérdida de inversión sino también para evitar el desperdicio de materia prima y por el contrario encontrar nuevos mercados que generen valor y permitan el aprovechamiento económico de subproductos (Chunyang Lu, 2019).

Un ejemplo de esto son las medidas de desarrollo eco-industrial, implementadas en una red de simbiosis urbana generada en Guiyang China, en donde se promueve el desarrollo económico, a través de la optimización de la interacción de las industrias y las áreas urbanas (el entorno y sus potenciales mercados) (Fang, 2017).

El entorno geográfico no solo es necesario para definir la ruta, sino también los costos de transporte, los limitantes climáticos y los limitantes de aproximación como lo es un camino dañado, una zona de peligro o un clima que no beneficie las propiedades del subproducto. Este fue el caso de (Chance,2017), una red de simbiosis industrial ubicada en un edificio de Chicago. La adaptación de algunos procesos y de nuevos mercados, fue complicada por el hecho de que tales negocios, especialmente los que se encontraban al aire libre, a menudo se encontraban bajo las variables climáticas debido a las estaciones que surgen en una ciudad templada fría como Chicago.

La aplicación de Simbiosis Industrial ha puesto de manifiesto positivo a casi 90 sinergias potenciales tanto entre las 10 empresas participantes como entre otras empresas ubicadas en el entorno. Los resultados del proyecto parecen ser interesantes no solo por la gran cantidad de participantes, sino también por el interés en la Simbiosis Industrial como herramienta para potenciar la economía, el ahorro de recursos, dar y mantener oportunidades en el área local mostrada por las empresas y las autoridades locales, directa e indirectamente involucradas en el proyecto según (Cutaia, Scagliarino, Mencherini, & Iacondini, 2016)

La simbiosis industrial destaca la importancia del aprendizaje de los sistemas de descomposición y reutilización del medio natural, y consecuentemente su reproducción, lo más eficientemente posible para la promoción de sistemas de producción y consumo razonable, así como la reducción de cantidades de residuos materiales y emisiones) producidas para convertir subproductos en productos y recursos reutilizables. En este sentido, la ubicación e integración de empresas que puedan utilizar los residuos de los demás es crucial. La simbiosis industrial puede ofrecer importantes beneficios económicos, ambientales y sociales, tanto a las empresas de forma individual como a una red de firmas. (Mestre Martinez, 2016)

Tabla 14. Criterio cooperación.

Criterio	Concepto
Cooperación	<p>Para poder tomar en cuenta este criterio primero se deben identificar las partes interesadas que necesitan colaborar para que la red de simbiosis industrial se implemente y opere con éxito (Baldassarre, 2019). Como ha demostrado la revisión documental sobre simbiosis industriales, la cooperación, la cultura empresarial y las relaciones sociales existentes en una red puede contribuir a facilitar y mejorar los procesos de una red (Yoon, 2018).</p> <p>Algunos de los muchos beneficios de la creación y el intercambio de conocimientos, materiales, personal, tecnologías, infraestructura, transportes, herramientas de mercado, entre otras interacciones que se pueden generar través de una red son transacciones mutuamente rentables para el abastecimiento novedoso de insumos requeridos, aumentando el valor agregado para salidas que no son productos y procesos comerciales, productivos y técnicos mejorados (Cui, 2018). (Yanqiu Wang, 2019) También nos habla sobre cómo las empresas por medio de la cooperación sin importar si son empresas centrales o empresas satélite pueden adquirir la capacidad de compartir recursos y a su vez compartir información a otras redes puesto que todas son partes interesadas.</p> <p>Teniendo en cuenta esto y la definición de roles las redes de simbiosis industrial pueden en un futuro ser mucho más eficientes gracias a la cooperación, puesto que la transferencia de información y recursos puede derivarse en innovación que permita desarrollar mejores y más eficientes casos de simbiosis industrial.</p> <p>Por ejemplo, el parque industrial Burnside en China promueve historias de éxito empresarial y contribuye a la educación de los estudiantes a través de pasantías, empleos de verano y proyectos de investigación. Además de usar medios como periódicos para informar al público en general sobre beneficios ambientales y avances (Liu, 2016). Cada una de las acciones mencionadas anteriormente, pueden</p>

tener un desarrollo óptimo con el apoyo mancomunado de la comunidad científica, en sinergia con los gobiernos de cada país que implementen, o tengan en cuenta los avances científicos.

Tabla 15. Criterio entorno institucional.

Criterio	Concepto
Entorno institucional	<p>En l criterio institucional se debe concebir desde 3 puntos de vista: los recursos económicos, de información y de disponibilidad del entorno institucional, las políticas y normas disponibles y el acompañamientoeconomía</p> <p>Políticas y normas disponibles: comprende el papel de una política de economía circular a largo plazo para acelerar la transición urbana es fundamental para introducir a las empresas a estas prácticas (Fang, 2017); en su caso de estudio la planificación de las actividades de anclaje se realizaron con el propósito de crear condiciones propicias para el desarrollo de la simbiosis industrial y estas fueron patrocinadas y monitoreadas por el entorno institucional por medio de implementación de leyes y reglamentos que propiciaron un lecho positivo para la simbiosis industrial.</p> <p>En el caso de comparación de parques industriales de Canadá y China, se evidencia que China ha estado tratando de enfrentar sus desafíos de sostenibilidad mediante la promoción de nuevas políticas sobre parques eco industriales y la economía circular, mientras que Canadá no ha adoptado tales políticas (Liu,2016). Estos casos ponen en evidencia que a la hora de aplicar una red de simbiosis industrial primero debemos analizar nuestro entorno institucional ya que las políticas no solo pueden incentivar estas prácticas, sino que también las pueden limitar .</p> <p>Recursos institucionales: Por otro lado, se encuentran los recursos institucionales con los que cuenta un sector (Efrain, 2022). En el estudio de caso que analiza diferentes parques industriales de Canadá y China se encontró que, debido al rápido crecimiento de Canadá, este se</p>

enfrenta a un gran desafío para equilibrar el crecimiento económico sostenido con la protección del medio ambiente (Liu, 2016). En Canadá, los parques industriales son pequeños en comparación a los parques industriales de China, como ejemplo se encuentra el Parque Industrial de Burnside (Canadá) que continúa creciendo y, si bien existen presiones ambientales, no son de la misma magnitud que TEDA (parque industrial de China), esto se debe no solo a que China lleva más años implementando este tipo de economía sino también porque se han destinado mayor cantidad de recursos al óptimo funcionamiento de los mismos y a la implementación de economía circular y el gobierno ha desempeñado un papel clave en China para impulsar el desarrollo industrial (Liu, 2016).

Acompañamiento institucional: Por otro lado, se encuentra el acompañamiento institucional que se basa en la facilitación de información, conexiones de red y recursos para implementar correctamente simbiosis industrial. (Morales, 2019) en su estudio define que la proximidad a la cooperación y la resistencia de la red estimula a su vez la cooperación con estructuras institucionales, generando mayor confiabilidad, otro caso es el de (Muhtasim, 2022) en donde se plasma que el compromiso y el apoyo inadecuados de la alta dirección, para la utilización de residuos afectan a las aspiraciones de las empresas de crear relaciones de simbiosis industrial, puesto que suelen estar motivadas por consideraciones económicas, aumento de competitividad, disminución de impuestos y la confiabilidad de una red. El uso de facilitadores como los gobiernos locales y las asociaciones industriales puede ayudar a superar varios obstáculos, como la necesidad de garantías, la falta de voluntad de las empresas para divulgar su conocimiento y el temor de depender de otros establecimientos (Kasmi, 2021), por lo que el acompañamiento gubernamental facilita la solución de estas barreras y aumentaría las empresas interesadas en implementar SI. Adicional a esto En el caso de Guitang, la adopción de un sistema de gestión burocrático este sistema reduce la complejidad de la gestión, facilitando estructuras como las

estructuras administrativas, facilitadores, empresas logísticas entre otras (Shi, 2017).

5.4.Otros criterios para la implementación de procesos de simbiosis industrial de residuos.

Los criterios que se presentan a continuación constituyen aquellos que no superan un umbral de menciones superior al 5%; no obstante, a juicio del equipo investigador, se consideró importante enseñarlos de manera individual, en cuanto tienen relación con las diferentes herramientas que forman parte de este apartado. Definición de rutas, requerimiento de nuevos procesos que se deben implementar en la cadena productiva o de modificaciones a los mismos, capacidad de generación y recepción de materia prima, seguridad y mejoramiento ambiental.

Especificaciones propias de simbiosis industrial en zonas distantes

“el proceso de cooperación desarrollado por actores en una red y en un entorno geográfico, organizativo e institucional común, la participación voluntaria de las autoridades locales y las empresas deben promover sinergias (vínculos) destinadas a mejorar la ecoeficiencia y la resiliencia del sistema de simbiosis industrial” (Diemer, 2017). Cabe

5.4.1. Todas las herramientas mencionadas en los resultados y todos los criterios expuestos son fundamentales a la hora de considerar e implementar una red de simbiosis industrial, esto según los documentos revisados y que se plasman en las estadísticas evidenciadas en las figuras 4 y 5. Sin embargo, para las características de este trabajo de grado, es necesario especificar y profundizar en ciertas herramientas y criterios teniendo en cuenta que deben ser aplicados a las condiciones de una simbiosis industrial enfocada en residuos y teniendo en cuenta que las empresas puedan estar ubicadas en zonas geográficas distantes , además de incluir diferentes sectores productivos, esto con el objetivo de ampliar las posibilidades de una aplicación de red, y ampliar el porcentaje de estudios en donde se muestre otras posibilidades de simbiosis además de parques industriales puesto que en este tipo de simbiosis industrial se centran la mayoría de estudios, tal como se evidencia en el figura 4.

5.4.2. Debido a las características de este tipo de redes en donde el intercambio entre empresas no comparte la misma ubicación, se encuentran beneficios como facilitar el intercambio y aprovechamiento de materiales y residuos más variados y se pueden implementar mayor cantidad de vínculos o sinergias entre las empresas involucradas, es decir, que permite la identificación potencial de intercambios que se pueden llevar a cabo y que se incrementen considerablemente. Otra ventaja es que se pueden expandir los beneficios de la simbiosis industrial a una comunidad económica regional (Organización internacional del trabajo, 2021). Este tipo de intercambio depende de las conexiones entre empresas en lugar de su ubicación, lo importante aquí más que la proximidad geográfica es la proximidad comercial (Branson, 2015).

5.4.3. Teniendo en cuenta esto entre las herramientas y criterios deben plasmarse especificaciones que se deben tener en cuenta para crear redes de simbiosis con estas características y que sean eficientes.

5.4.4. Especificaciones en los criterios que se deben tener en cuenta:

- Tipos de red: De acuerdo con Chertow et al. (2008) se pueden distinguir tres tipos de intercambios entre empresas mediante la simbiosis industrial, una de estas es el intercambio de subproductos, en el cual las empresas utilizan materiales desechados y desperdicios como materia prima. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de formar una red en zonas distantes ya que según el intercambio que puedas hacer se limita el tipo de simbiosis, es decir, en el caso de simbiosis en zonas distantes no es posible realizar un intercambio de servicios o de ciertos recursos como agua y energía, todo esto depende de la distancia, por lo que a la hora de formar la red se debe tener en cuenta estas limitaciones.

Además, el tipo de red también depende del tipo de simbiosis industrial, puesto que cuando se realiza en zonas geográficas distantes y con diferentes sectores productivos la red debe formarse con empresas centrales (Wang,2018) esto se debe a que este tipo de red es más resiliente y al tener distancia con otras empresas se debe tener una gran estabilidad.

Rutas por establecer: Es importante establecer rutas de recolección y entrega,

esto además de permitir un mayor control, permite aplicar herramientas de análisis de costo y beneficio, facilita la conexión entre las empresas involucradas e incluso permite formar más vínculos, además que mejora la logística para promover a una ejecución más eficiente.

- **Facilitadores y mediadores:** Los actores no son solo las empresas que proveen los residuos sino también las que ayudan en la logística, esto en el caso de la simbiosis industrial en zonas distantes a nuestra consideración es lo más importante puesto que las empresas encargadas de la logística permiten una mejor organización y facilitan otras necesidades específicas de este tipo de simbiosis industrial como lo es el transporte, tecnología, infraestructura y almacenamiento, personal experimentado, obtención de información, herramientas de comunicación y cualquier otra necesidad logística variable debido a las características individuales de la red.
- **Entorno social, cultural, geográfico y económico:** La elección del escenario de referencia es de suma importancia para revisar los impactos y beneficios potenciales de los cambios (o desarrollo) de la red de simbiosis industrial (Martin,2018). Al ser una simbiosis generada en diferentes partes de una región debe tenerse en cuenta el entorno social, cultural, geográfico y económico de cada una de las empresas, en otro tipo de redes los estudios de entorno pueden ser generales, sin embargo, en este tipo de red se requiere estudios específicos para cada una de las empresas involucradas y sus entornos ya que las condiciones del entorno de una empresa podría no ser compatible con otra. Un ejemplo es el caso de (Zhang, 2018) en donde las diferencias entre los casos estudiados y su éxito se relacionaban principalmente con los factores compatibles (por ejemplo, entorno de mercado, sistemas de políticas). En resumen, los factores como el entorno de mercado y los sistemas de políticas afectaron la evolución y desarrollo de la red estudiada en este artículo.

El artículo “The vulnerability of industrial symbiosis: a case study of Qijiang Industrial Park, China” nos corrobora además que la inestabilidad de un sistema simbiosis industrial puede surgir por efecto de variables propias de cada caso dependientes del entorno y que no se pueden establecer en unas condiciones generales (Li,2017).

- **Cooperación:** En la cooperación lo más importante para este tipo de simbiosis industrial es la comunicación y las herramientas que permitan una comunicación eficiente puesto que de esto también depende el éxito de una red, al estar en zonas distantes y trabajar con residuos y sectores variados, cada uno debe conocer e informarse muy bien sobre cómo aprovechar sus subproductos y la importancia y potencial de cada sector involucrado, la información debe ser compartida y debe haber apoyo entre todos los involucrados. En el estudio de (Chance,2017) “La planta: un experimento de sostenibilidad alimentaria urbana”. La estrecha interacción entre los inquilinos brindó muchas oportunidades para el aprendizaje compartido y la colaboración, esto concluyó en un mayor capital.
- **Capacidad de materia prima:** En las empresas multinacionales las sinergias de subproductos dependen de los procesos de producción primarios, dando lugar a una relación directa en la que, a mayor producción final, más subproductos se generan (Morales, 2019) Francia. La capacidad que tenga una empresa de recibir o de entregar materia prima también es fundamental ya que al recorrer mayores distancias y al no contar con aliados en el mismo sector la capacidad de almacenamiento se debe suplir por la misma empresa, además para realizar este tipo de simbiosis es mucho más recomendable manejar grandes cantidades, entre las condiciones de tener capacidad para involucrar mayor cantidad de materia prima se debe tener en cuenta los seguimientos y monitoreos de la misma.
- **División de funciones:** Para que exista un orden y buen funcionamiento el punto inicial de toda organización o proyecto es designar funciones a realizar, cronograma y chequeo para establecer la correcta ejecución del mismo, cada persona con un rol asignado estará centrada en su función creando un ambiente de eficacia mayor al que se tiene en donde todo el mundo realiza un poco de todo sin sentido, un ejemplo de la división de funciones la podemos encontrar en (Perero & Rodríguez, 2020) ya que al generar un proceso de simbiosis industrial requiere de una labor de coordinación, dinamización, motivación y activación de agentes, además de la evaluación, seguimiento y comunicación continúa con los actores para mantener una conexión duradera y de confianza, estableciendo roles definidos a cada participante.

Entorno institucional: Muchos gobiernos son promotores de la aplicación de la economía circular en las empresas, creando y entregando incentivos tal como es el caso mencionado en (Salamanca Torres & Ortiz Sáenz, 2016) donde se dice que es recomendable que los parques ecoeficientes reciban financiación e incentivos por parte de las entidades públicas y privadas, al ser proyectos de desarrollo que involucran un beneficio directo para la región donde se encuentran. En China tanto las empresas estatales como privadas, el gobierno y las infraestructuras privadas, así como los consumidores, tienen un papel en el proceso de conseguir una economía circular sostenible, buscando ser líderes en esta temática (Ruiz & Hernández, 2020). Ahora revisando algo un poco más local podemos encontrar la política pública de economía circular en Medellín, siendo esta la primera ciudad de Colombia en llegar a un acuerdo, según (Minambiente, 2021) con la política pública se busca garantizar recursos que serán definidos dentro de los lineamientos en el proceso de estructuración, para fortalecer programas y estrategias educativas de buenas prácticas ambientales y fomentar el manejo y aprovechamiento de recursos, como la separación en la fuente, el reciclaje, la recuperación y reutilización de residuos, el aprovechamiento de estos para compostaje y las eco huertas, entre otras, entrando acá la metodología para aplicar simbiosis industrial.

5.4.5. Especificaciones sobre las herramientas que se deben tener en cuenta

- Transporte: Dentro del transporte se debe tener en cuenta el análisis de riesgo por el tipo de producto que se va a transportar y las distancias, un ejemplo son los productos químicos (Wu, 2017). Otro factor a tener en cuenta es que entre menor sea la cantidad de subproductos, los gastos de transporte y relleno sanitario, menores serán los costos de producción y una buena red de simbiosis debe disminuir costos de transporte y recursos a usar (Morales, 2019) Francia. Otro punto a tener en cuenta es el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad, para ejecutar las rutas logísticas adecuadas.
- Almacenamiento e infraestructura: Esta herramienta que fue mencionada en un 14% es de las más atractivas, ya que es un beneficio para poder emplear una simbiosis industrial apta entre empresas, puesto que, en un sistema ideal de Simbiosis Industrial, los residuos, los materiales, la energía y las

infraestructuras, se comparten o intercambian entre los actores del sistema. De esta forma la Simbiosis Industrial se focaliza en los flujos físicos de materia y energía en sistemas industriales locales (AIDIMME, 2020), lo que conlleva a la reducción de costos para optimizar al máximo los recursos del sector, además de establecer relaciones de simbiosis que impliquen el flujo de materiales, puede potenciarse el uso compartido de infraestructuras o sistemas logísticos entre empresas del sector que utilicen los mismos recursos con el fin de incrementar su eficiencia y minimizar costes. (Hernandez Sancho, 2019), sin embargo, esta herramienta es muy importante en parques industriales ya que por su cercanía la pueden ejecutar con facilidad.

- Bases de datos para formulación de redes: Al realizar este tipo de simbiosis industrial se debe contar con bases de datos o plantillas que contengan datos que puedan entregar datos sobre los tipos de vínculos y la eficiencia de los mismos, el propósito es que progresivamente al agregar nuevos elementos clave de acuerdo con las aportaciones basadas en la práctica proporcionadas por los involucrados las redes se vuelvan más resilientes y productivas. (Baldassarre, 2019). Es el caso de (Oliviera, 2018) en donde nos muestran un Sistema Integrado de Bancos de Residuos que ofrece la oportunidad de negociar sobre residuos diversos en tiempo real y crear valor.
- Tipo de producto: En este caso la herramienta sería el subproducto y la consideración a tener en cuenta sería el tipo de subproducto que comercializará la empresa. El tipo de subproducto también es un factor fundamental a tener en cuenta específicamente para este tipo de simbiosis ya que según las características de cada subproducto se tienen unas limitaciones de transporte, almacenamiento y comercialización, combinando esto con el entorno se debe tener en cuenta el tipo de mercado y si el subproducto puede ser agregado a otros mercados, además es mucho más rentable comercializar con materia prima que con algún tipo de recurso y en el caso de este tipo de simbiosis la mayor eficiencia solo es posible comercializando subproductos (Kuznetsova, 2016).

5.4.6. Se debe aclarar algo importante y es que existen variables que dependen de cada red. Por ejemplo, la innovación técnica de la simbiosis industrial implica un tipo de sistema específico, cualquier tipo de maquinaria o innovación implementada debe

ser adaptada a cada caso (Baldassarre,2019). Dependiendo de las características de la red se definirán algunos de los requerimientos específicos, las limitaciones y los beneficios

5.4.7. Especificaciones propias de la ciudad de Medellín

Actualmente la economía de la ciudad de Medellín, depende de diferentes sectores productivos, según un informe (*Medellín*, s. f.) las principales actividades económicas en la ciudad son la moda y fabricación avanzada siendo este sector el principal aportante al PIB con un 10,72% en 2020; producción de energía sostenible; construcción de infraestructura sostenible; turismo de negocios; negocios digitales y producción industrial y agrícola en las áreas rurales. Estos sectores productivos dependen de las macros y micro empresas, según un informe de la administración de la ciudad (Informe de calidad de vida de Medellín, 2020) solo en el 2020 se encontraron 352.287 micro empresas, la distribución de las mismas se define en el Plan de ordenamiento territorial en donde se muestra que las zonas comerciales e industriales se encuentran repartidas entre las comunas 15. Guayabal, 14. Poblado, 10. La Candelaria, 11. Laureles, 4. Aranjuez y 5. Castilla. Adicional a esto las zonas rurales de ocupación industrial se encuentran mayormente en el corregimiento de San Cristóbal y de explotación agrícola y agropecuaria corregimientos como los de AltaVista, San Antonio de Prado, Santa Elena, entre otros. (Departamento administrativo de planeación, 2014). Los sectores productivos dentro del área urbana se encuentran centrados alrededor de la autopista principal llamada la autopista regional. Respecto a la movilidad relacionada con los sectores rurales, según el mapa de subsistemas de movilidad (*Departamento administrativo de planeación, 2014*) Medellín cuenta con vías secundarias o arterias que comunican el área urbana con el área rural, además de vías llamadas primarias rurales.

Cabe mencionar que en Medellín existen prestadores de servicios logísticos y de recolección de residuos, estos prestadores privados, cuentan con maquinaria, camiones de transporte, personal, sitios de acopio y disposición especializados en los diferentes tipos de residuos, además cuentan con rutas de transporte ya establecidas y con proveedores que compran los residuos para recircularlos como nueva materia prima, esto se debe tener en cuenta a la hora de analizar criterios que se requieren en la simbiosis industrial puesto que estas empresas podrían actuar como mediadores y actores logísticos y facilitar la formulación de las redes, además de conectar empresas que se encuentren en diferentes zonas de la ciudad.

Esta información es fundamental a la hora de pensar en aplicar una red de simbiosis industrial

en zonas distantes, puesto que como se menciona anteriormente el entorno geográfico es fundamental a la hora de tener en cuenta este tipo de simbiosis, otro factor a tener en cuenta es el entorno institucional, según la agenda ambiental propuesta para el 2030 (Departamento Administrativo de Planeación, 2022) existen diferentes políticas e incentivos que propician un ambiente favorable para implementar redes de simbiosis industrial, esto gracias a los objetivos de cumplir con algunos de los ODS, algunas de las políticas son mencionadas en el plan de desarrollo Medellín futuro (Alcaldía de medellín,2020), aquí se definen metas como el acceso a la información sobre alternativas sostenibles y la elaboración de instrumentos para el seguimiento y control de proyectos sostenibles, entre otras.

Teniendo en cuenta esto, es posible realizar simbiosis industrial en un área tan extensa como Medellín, esto gracias a que las zonas industriales se encuentran concentradas alrededor de las vías principales, propiciando y facilitando no solo el tema del transporte y las rutas que se deban establecer si no también, criterios como la comunicación entre los actores y facilitando el cumplimiento de criterios como los tipos de red aptos para aplicar simbiosis industrial en zonas distantes por los tamaños de las empresas que se encuentran en estos sectores. El entorno económico es favorable no solo por la variedad de sectores, que permite la circulación de una variedad de productos, sino también porque el sector infraestructura y tecnología son uno de los fuertes de la ciudad por lo que facilitan los criterios que han sido limitantes en otros casos de simbiosis industrial, por falta de acceso a los mismos. Por otro lado, el entorno institucional que según los estudios de caso analizados es uno de los principales criterios a tener en cuenta, en el caso de Medellín es favorable puesto que se tienen políticas de acceso a la información que suple uno de los criterios mencionados en el presente trabajo, además cuenta con mecanismos de seguimiento como canales de postulación vía página web para proyectos económicos sostenibles.

6. Conclusiones

Respondiendo el objetivo principal planteado en este documento, en el caso de la simbiosis industrial aplicada en diferentes sectores, si es posible adecuar una red en distancias de una ciudad como Medellín, esto, siempre y cuando se le dé la relevancia necesaria a las herramientas y criterios mencionados en el presente trabajo, claro está que existen criterios y herramientas variables según el caso, sin embargo, en este documento se mencionan las principales y las más mencionadas en la literatura estudiada.

El apoyo y compromiso que el gobierno puede brindar a las empresas que apliquen simbiosis industrial es fundamental para ejecutar de manera eficiente estas alternativas de economía circular, además permite el desarrollo de nuevas formas de sostenibilidad y el mejoramiento de las acciones para lograr la misma. A pesar de que en Medellín actualmente las políticas desarrolladas no están directamente dirigidas a formar redes de simbiosis industrial y que aún faltan mecanismos de apoyo y promoción, la alcaldía propicia el incentivo a la participación en proyectos de economía circular por lo que con un adecuado desarrollo de estas políticas se podría tener apoyo en futuras redes de simbiosis industrial en zonas distantes.

Tras realizar el debido análisis de literatura, se han podido establecer que, la mayoría de las herramientas requeridas para poder implementar y ejecutar simbiosis industrial en zonas distantes, evidenciando que herramientas como la infraestructura, la tecnología y tipo de producto son fundamentales para realizar cualquier tipo de simbiosis industrial según nuestro análisis.

Para la ciudad de Medellín es muy compatible el uso y manejo de herramientas tales como el uso de tecnología, ya que gracias a esta era, son más las personas que están buscando un enfoque hacia el mundo digital, donde promueven la educación y comparten informaciones con otros en distancias mayores.

El tipo de red generado entre las empresas involucradas, su entorno específico y la cooperación entre las mismas son los criterios más mencionados en la literatura analizada, esto se debe a que en todos los casos de aplicación se debieron tener en cuenta estos criterios ya sea como bases para la implementación de las diferentes redes como también un obstáculo a solucionar por las mismas.

El compromiso y confianza entre los actores involucrados en la red es algo de gran importancia, ya que de eso depende la colaboración y acuerdos a los que se pueda llegar para ejecutar una unión entre empresas, y mejoramiento en los procesos.

7. Recomendaciones y futuras líneas de investigación

Según el análisis obtenido de estos ejemplos de simbiosis industrial en diferentes zonas del mundo, podemos recomendar la implementación de nuevas empresas logísticas especializadas al estudio, seguimiento y aplicación de redes de simbiosis para empresas en diferentes puntos de la ciudad, donde se evalúe la eficacia y rentabilidad del proceso.

Adicional a esto, crear incentivos para el sector académico para promover investigaciones sobre el tema en la ciudad y así se puedan crear nuevas alternativas e innovaciones para mejorar el proceso y volverlo aún más sostenible.

Por último, la simbiosis industrial no es beneficiosa en todos los casos y de forma contraria puede ser beneficiosa para muchas empresas, todo depende de las características individuales de las mismas y de la correcta aplicación de las herramientas y criterios mencionados en este trabajo. Por otro lado, una red de simbiosis industrial debe tener objetivos ambientales y sociales explícitos además de económicos, puesto que de los intereses dependen otros factores ya sea limitantes o beneficiosos para una red.

8. Referencias

- Alcaldía de Medellín. (2020). *Plan de desarrollo de Medellín: Medellín futuro, 2020-2023. Medellín*
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2003). *Webidu*. Obtenido de: https://webidu.idu.gov.co/pmb/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2519
- Ashton, W., (2009). *La estructura, función y evolución de un ecosistema industrial regional*. *J. Ind. Ecol.* 13, 228–246.
- Baldassarre, B., Schepers, M., Bocken, N., Cuppen, E., Korevaar, G., Calabretta, G.,2019. *Industrial Symbiosis: towards a design process for eco-industrial clusters by integrating Circular Economy and Industrial Ecology perspectives*. *J. Clean. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.091*.
- Boons, F., Chertow, M., Park, J., Spekkink, W., & Shi, H. (2016). Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence: Proposal for a Comparative Framework. En Wiley, *Journal of industrial ecology* (págs. 038-952). Massachusetts: Internacional society for industrial ecology.
- Branson, R., (2016). *Re-constructing Kalundborg: the reality of bilateral symbiosis and other insights*. *J. Clean. Prod.* 112, 4344e4352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.069>

- Burström, F., & Korhonen, J. (2001). Municipalities and industrial ecology: reconsidering municipal environmental management. *Sustainable Development*, 36-46.
- CAR. (2020). *Red de Empresas Sostenibles*. Obtenido de <http://www.redescar.org/rutas-de-cambio/simbiosis-industrial>
- Chance, E., Ashton, W., Pereira, J., Mulrow, J., Norberto, J., Derrible, S. y Guilbert, S. (2018). *La planta: un experimento de sostenibilidad alimentaria urbana. Progreso Ambiental y Energía Sostenible*, 37 (1), 82-90.
- Chertow, M. (2000). *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy*. Annual Review of Energy and the Environment.
- "Chunyang Lu, Shanshan Wang, Ke Wang, Yu Gao, Ruiqin Zhang,(2020) *Uncovering the benefits of integrating industrial symbiosis and urban symbiosis targeting a resource-dependent city: A case study of Yongcheng, China*,*Journal of Cleaner Production*, Volume 255, 120210, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120210>."
- Circular Market. (2021). *Circular Market*. Obtenido de <https://www.circularmarket.es/economia-circular/que-es-la-simbiosis-industrial>
- Comisión, E., Innovación, D.-G. for R., Sommer, K., (2020). *Estudio y revisión de la cartera de proyectos sobreLa simbiosis industrial en la DG Investigación e Innovación: hallazgos y recomendaciones*. <https://doi.org/10.2777/381211>.
- Congreso de Colombia. (2008). *Minsalud*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/ley-1252-de-2008.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social . (2018). *Documento CONPES*. Bogotá.
- Criterio. (2022). La preocupante acumulación de basuras en varias zonas de Colombia. *Diario Criterio*.
- Cui, H., Liu, C., Cote, R., Liu, W., (2018). *Understanding the evolution of industrial symbiosis with a system dynamics model: a case study of Hai Hua industrial symbiosis, China. Sustainability* 10. <https://doi.org/10.3390/su10113873>.

- Daddi, T., Nucci, B., and Iraldo, F. (2017). *Use of life cycle assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial group of SMEs. Cleaner Production Journal*, 147, 157-164.
- DANE. (2020). *DANE: Economía circular: primer reporte 2020*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/economiacircular-1-reporte.pdf>
- DANE e IDEAM. (2020). *Economía circular: primer reporte 2020*. DANE.
- De Abreu, M.C.S., Ceglia, D., (2018). *On the implementation of a circular economy: the role of institutional capacity-building through industrial symbiosis. Resour. Conserv. Recycl.* 138, 99e109. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.001>.
- De la Cruz, J. L. (2020). *OSMA*. Obtenido de <https://www.osmapsoemadrid.org/index.php/2020/03/21/las-pymes-y-el-desarrollo-de-la-economia-circular-el-ejemplo-de-la-region-sueca-de-vastragotaland/#:~:text=Un%20nuevo%20estudio%20realizado%20en%20Suecia%2C%20ha%20analizado,de%20desecho%20de%20otras%2>
- Departamento administrativo de planeación Medellín. (2014). *Plan de ordenamiento territorial Medellín [Conjunto de datos]. En usos generales del suelo urbano y rural (versión 2014)*. <https://www.medellin.gov.co/es/transparencia/plan-de-ordenamiento-territorial-de-medellin/>
- Departamento Administrativo de Planeación Medellín. (2022). *Objetivos de desarrollo sostenible. agenda medellín 2030*. <https://www.medellin.gov.co>
- Diemer, A., (2017). *Simbiosis industrial y política europea. En: Diemer, A., Dierickx, F., Gladkyk, G., Morales, M., Parrique, T., Torres, J. (Eds.), Desarrollo Sostenible y Europa, Oportunidades y Retos Oeconomia*
- Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D. y Roman, L. (2019). *Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe tipologías de redes, características, rendimiento y contribución a la Economía Circular. Recursos, conservación y reciclaje*, 141, 76-98.

- Dong, L., Fujita, T., Dai, M., Geng, Y., Ren, J., Fujii, M., Ohnishi, S. (2016). *Towards preventative eco-industrial development: an industrial and urban symbiosis case in one typical industrial city in China*. China: ELSEVIER.
- Dong, L., Liang, H., Zhang, L., Liu, Z., Gao, Z., & Hu, M. (2017). *Highlighting regional eco-industrial development: Life cycle benefits of an urban industrial symbiosis and implications in China*. China: ELSEVIER.
- Efrain A. Boom Cárcamo, Rita Peña baena-Niebles (2022), *Opportunities and challenges for the waste management in emerging and frontier countries through industrial symbiosis*, *Journal of Cleaner Production*, Volume 363, 132607, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132607>.
- EPM, & EMVARIAS. (2020). *Informe de sostenibilidad 2020*. Medellín: Grupo EPM.
- europarl. (2020). *Noticias parlamento Europeo*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180328STO00751/gestion-de-residuos-en-la-ue-hechos-y-cifras-infografia>
- Fan, Y., Qiao, Q., Fang, L. y Yao, Y. (2017). *Análisis de emergencia sobre la simbiosis industrial de un parque industrial: un estudio de caso del área de desarrollo económico y tecnológico de Hefei*. *Revista de producción más limpia* , 141 , 791-798.
- Fang, K., Dong, L., Ren, J., Zhang, Q., Han, L., Fu, H., (2017). *Carbon footprints of urban transition: tracking circular economy promotions in Guiyang, China*. *Ecol. Model.* 365, 30e44. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.09.024>.
- Fan, Yupeng; Lin Fang; Qi Qiao; Yang Yao(2017)"Emergy analysis on industrial symbiosis of an industrial park A case study of Hefei economic and technological development area"
- Feng Han, Yeye Liu, Wei Liu, Zhaojie Cui, (2017) *Circular economy measures that boost the upgrade of an aluminum industrial park*, *Journal of Cleaner Production*, Volume 168, Pages 1289-1296, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.115>.
- Ferreira, I.de A., de Castro Fraga, M., Godina, R., Souto Barreiros, M., Carvalho, H., (2019). *A proposed index of the implementation and maturity of the circular economy practices the case of the pulp and paper industries of Portugal and Spain*.*Sustainability 11"*

- Fissac. (2020). *FISSAC*. Obtenido de <https://fissacproject.eu/es/que-es-la-simbiosis-industrial/>
- Freitas, L. A. & Magrini, A. (2017). *Waste management in industrial construction: investigating the contributions of industrial ecology*. *Sustainability*, 9(7), 1251.
- Gobierno de Colombia, M. d. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*.
- Graham , A., Brant, N., Lysenkova, M., & Smedeberg, N. (2015). *Looplocal – a heuristic visualization tool to support the strategic facilitation of industrial symbiosis*. ELSEVIER.
- Grant, GB, Seager, TP, Massard, G., Nies, L., (2010). *Tecnologías de la información y la comunicación para lasimbiosis industrial*. *J. Ind. Ecol.* 14 (5), 740–753. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00273.x>."
- Hein, AM, Jankovic, M., Feng, W., Farel, R., Yune, JH, & Yannou, B. (2017). *The power of stakeholders in industrial symbioses: a stakeholder value network approach*. *Cleaner Production Magazine*, 148, 923-933.
- Hernández, S., Fernandez, y Batista. (2014) *Metodología de la investigación*.
- Ibáñez-Forés, V., Bovea, M. D., Coutinho-Nóbrega, C., & de Medeiros, H. R. (2019). *Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in developing countries: Proposal of indicators and a case study*. *Ecological indicators*, 98, 164-178.
- Informe de calidad de vida de Medellín, (2020). *Medellín cómo vamos*. Recuperado 7 de diciembre de 2022, de <https://www.medellincomovamos.org/medellin>
- Junta de Andalucía. (2021). *Junta de Andalucía*. Obtenido de: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/econom-c3-ada-circular-y-simbiosis-industrial/20151
- Kasmi, F., (2021). *Simbiosis industrial y desarrollo territorial: la fertilización cruzada de las dinámicas de proximidad y el papel de los flujos de información y conocimiento*. *J. Knowl. economía* 12 (1), 342–362. <https://doi.org/10.1007/s13132-020-00631-7>.

- Kim, H.-W., Dong, L., Earvin SyChoi, A., Fujii, M., Fujita, T., & Park, H.-S. (2018). *Co-benefit potential of industrial and urban symbiosis using waste heat from industrial park in Ulsan, Korea*. Korea: ELSEVIER.
- Kuznetsova, E., Louhichi, R., Zio, E., Farel, R., (2017). *Input-output Inoperability Model for the risk analysis of eco-industrial parks*. *J. Clean. Prod.* 164, 779e792. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.250>
- Ledesma, M. (2022). *Reúso de desechos industriales*. (D. Céspedes , Entrevistador)
- Li, B., Xiang, P., Hu, M., Zhang, C., Dong, L., (2017). *The vulnerability of industrial symbiosis: a case study of Qijiang Industrial Park, China*. *J. Clean. Prod.*
- Li, H., Dong, L., & Ren, J. (2015). *Industrial symbiosis as a countermeasure for resource dependent city: a case study of Guiyang, China*. China: ELSEVIER.
- Liu, Z., Adams, M., Cote, RP, Geng, Y., & Li, Y. (2018). *Comparative study on the paths of industrial parks towards sustainable development between China and Canada*. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 417-425.
- Low, J.S.C., Tjandra, T.B., Yunus, F., Chung, S.Y., Tan, D.Z.L., Raabe, B., Ting, N.Y., Yeo, Z., Bressan, S., Ramakrishna, S., Herrmann, C., (2018). *A collaboration platform for enabling industrial symbiosis: application of the database engine for waste-to-resource matching*. *Procedia CIRP* 69, 849e854. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.075>.
- Marchi, B., Zanoni, S., & Zavanella, L. E. (2017). *Symbiosis between industrial systems, utilities and public service facilities for boosting energy and resource efficiency*. *Energy procedia*, 128, 544-550.
- Marinelli, S., Butturi, MA, Rimini, B., Gamberini, R. y Marinello, S. (2020). *Evaluación del beneficio ambiental de las redes de simbiosis energética en parques ecoindustriales*. *IFAC-PapersOnLine* , 53 (2), 13082-13087.
- Martin, M., Harris, S., (2018). *Prospecting the sustainability implications of an emerging industrial symbiosis network*. *Resour. Conserv. Recycl.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.026>
- Medellín. (s. f.). *Medellín Cómo Vamos*. <https://www.medellincomovamos.org/medellin>

- Minambiente. (2021). *Medellín es la primera ciudad de Colombia en tener un acuerdo para definir los lineamientos de la Política Pública de Economía Circular*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/medellin-es-la-primera-ciudad-de-colombia-en-tener-un-acuerdo-para-definir-los-lineamientos-de-la-politica-publica-de-economia-circular/#:~:text=%E2%80%99CLA%20Pol%C3%ADtica%20P%C3%ABlica%20de%20Econo>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Dapre*. Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201784%20DEL%2002%20DE%20NOVIEMBRE%20DE%202017.pdf>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019). *Con apoyo de Suiza, MinComercio lanza un proyecto de economía circular para cuatro parques industriales*. Obtenido de <https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/industria/con-apoyo-de-suiza-mincomerciolanza-proyecto-de-e>
- Ministerio de vivienda, ciudad y desarrollo. (2016). *Dapre*. Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20596%20DEL%2011%20DE%20ABRIL%20DE%202016.pdf>
- Monroy, N., & Ramírez, D. (2016). *Parques industriales ecoeficientes en Bogotá: ¿una alternativa ambiental, económica y/o social?* Bogotá: Uniandes.
- Monterrosa Blanco, H. (2019). *Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente*. *La república*.
- Morales, E.M., Diemer, A., Cervantes, G., Carrillo-Gonzalez, G., (2019). "By-product synergy" changes in the industrial symbiosis dynamics at the Altamira-Tampico industrial corridor: 20 Years of industrial ecology in Mexico.
- Morales, M.E., Diemer, A., (2019). *Industrial symbiosis dynamics, a strategy to accomplish complex analysis: the dunkirk case study*. *Sustainability* 11. <https://doi.org/10.3390/su11071971>.
- Muhtasim Taqi, A., Erin Jahan Meem, Prattusha Bhattacharjee, Sheak Salman, Syed Mithun Ali, Bathrinath Sankaranarayanan, (2022) *What are the challenges that make the*

journey towards industrial symbiosis complicated?, *Journal of Cleaner Production*, Volume 370, 133384, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133384>.

Neves, A., Godina, R., Azevedo G., S., Pimentel, C., y Matias, J. (2019). *The Potential of Industrial Symbiosis: Case Analysis and Main Drivers and Barriers to Its Implementation*. Sustainability. Portugal: MDPI.

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S., & Matias, J. (2020). *A comprehensive review of industrial symbiosis*. ELSEVIER.

Noticias caracol. (2020). *Informe especial: rellenos sanitarios en Colombia, un problema de salud pública*. Colombia.

O'carroll, S., Basson, L., Lyons, J., Smout, S., & Nuwarinda, H. (2017). *The Nature and Role of Industrial Symbiosis in South Africa*. TIPS ANNUAL FORUM 2017 Industrialisation and Sustainable Growth. University of Johannesburg.

Oliveira, F.R.de, França, S.L.B., Rangel, L.A.D., (2018). *Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil*. *Resour. Conserv.Recycl.* 135, 202e209.

Pai, J. T., Hu, D., & Liao, W. W. (2018). *Research on eco-efficiency of industrial parks in Taiwan*. *Energy Procedia*, 152, 691-697.

Park, J., Duque-Hernández, J., & Díaz-Posada, N. (2018). *Facilitating business collaborations for industrial symbiosis: The pilot experience of the sustainable industrial network program in Colombia*. Sustainability. MDPI.

Perez, J. (2019). *Idoc*. Obtenido de <https://idoc.pub/documents/idocpub-pnxxk9x22ye4v>

Pinzón Latorre, A. (2009). *La Simbiosis Industrial en Kalundborg , Dinamarca*. *de-arq*, 155-161.

Presidencia de la República. (1975). *Secretaria senado*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html

Rodriguez, D. (17 de Mayo de 2022). *portafolio*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/colombia-genera-12-millones-de-toneladas-de-basura-al-ano-565581>

Røyne, F., R. Hackl, E. Ringström y J. Berlin. (2017). *Evaluación ambiental de las Estrategias de clúster de la industria con una perspectiva de ciclo de vida: Reemplazo de materia prima fósil con materia prima basada en bosques y aumento de la integración de energía térmica. Revista de Ecología Industrial*

saneamiento, C.(2000). Gov.co. Obtenido de https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0133_2000.htm

Semana. (2020). *Colombia solo recicla 17% de sus residuos y la meta es 40% a 2030. Semana.*

Shi, L. and Chertow, M. (2017). *Changing organizational boundaries in industrial symbiosis: Revisiting the Guitang Group in China. Sustainability, 9(7), 1085.*

Sonel, E., Gür, S., Eren, T., (2022). *Análisis de los factores que afectan la simbiosis industrial de la colaboración. Reinara. ciencia contaminar serie de control 29 (6), 8479–8486. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16213-2>*

Sun, Li, Spekkink, W., Cuppen, E., Korevaar, G., (2017)b. *Coordination of industrial symbiosis through anchoring. Sustainability 9. <https://doi.org/10.3390/su9040549>.*"

Sun, Lu, Li, H., Dong, L., Fang, K., Ren, J., Geng, Y., Fujii, M., Zhang, W., Zhang, N., Liu, Z., (2017)a. *Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and emergy evaluation approach: a case of Liuzhou city, China. Resour. Conserv. Recycl. 119, 78e88. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.007>.*
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Colombia. (2021). *superservicios*. Obtenido de www.superservicios.gov.co

Taddeo, R., Simboli, A., Morgante, A., & Erkman, S. (2017). *The development of industrial symbiosis in existing contexts. Experiences of three Italian clusters. Ecological Economics, 139, 55-67.*

Tao, Y., Evans, S., Wen, Z., Ma, M., (2019). *La influencia de la política en la simbiosis industrial desde la perspectiva de la empresa: un marco. J. Limpio. Pinchar. 213, 1172–1187. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.176>.*"

- Umbral. (2021). *Umbral propiedad raiz*. Obtenido de <https://umbral.co/que-es-un-parque-industrial-caracteristicas-y-beneficios/>
- United Nations Industrial Development Organization. (2017). *An International framework for Eco-industrial parks*. Obtenido de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29110>
- van Beers, D., Alhilali, S., Mueller, E., Meylan, F., & Zuodar, N. (2017). *Manial de implementación para parques eco-industriales*. UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION.
- Van Hoof, B., & Duque Hernández, J. (2020). *Uniandes*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/46246>
- Vico López, A. (2015). *Reciclaje de lodos de depuradora: Estudio del efecto del agente estructurante usado y de la rporción de lodo*. Alicante-España: Escuela superior de Orihuela.
- Wang, D., Li, J., Wang, Y., Wan, K., Song, X., Liu, Y., (2017)a. *Comparing the vulnerability of different coal industrial symbiosis networks under economic fluctuations*. *J. Clean. Prod.* 149, 636e652. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.137>.
- Wang, D., Wang, Y., Song, X., (2018). *Evolution model with time lag effects for the coal industrial symbiosis system: a case study of Ordos, China*. *J. Clean. Prod.* 187, 863e876. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.231>.
- Wang, Q., Tang, H., Qiu, S., Yuan, X., & Zuo, J. (2018). *Robustness of the eco-industrial symbiosis network: a case study from China*. *Pollution and Environmental Science Research*, 25(27), 27203-27213.
- Wang, Q., Tang, H., Yuan, X., Zuo, J., Zhang, J., Gao, Z., & Hong, J. (2018). *Investigation of the vulnerability of the ecological industrial symbiosis network based on the theory of automatic control*. *Pollution and Environmental Science Research*, 25(27), 27321-27333.
- Wassenaar, T., Paillat, J.-M., Guerrin, F., Lecomte, P., Médoc, J.-M., Parrot, L., Vayssières, J. (2017). *Inter-supply Chain Recycling of Residues*. Springer Link.

- Wu, J., Guo, Y., Li, C., and Qi, H. (2017). *The redundancy of an industrial symbiosis network: a case study of a hazardous waste symbiosis network. Cleaner Production Magazine, 149, 49-59.*
- Wu, J., Pu, G., Guo, Y., Lv, J., & Shang, J. (2018). *Retrospective and prospective evaluation of exergy, life cycle carbon emissions and water footprint for coke network evolution in China. Applied Energy, 218, 479-493.*
- Wu, J., Pu, G., Ma, Q., Qi, H., & Wang, R. (2017). *Quantitative environmental risk assessment for the iron and steel industry symbiosis network. Cleaner Production Magazine, 157106-117.*
- Wu, Y. y Gao, X. (2022). *¿Puede el establecimiento de parques eco-industriales promover la innovación verde urbana? Evidencia de China. Revista de Producción más Limpia , 341 , 130855.*
- Xinhua (2022). *China promoverá simbiosis de pequeñas, medianas y grandes empresas. CGTN.*
- Yanqiu Wang, Xueting Ye, Zhiwei Zhu, Yi Wang, (2019) *Logistic-based network stability study of industrial coupling symbiosis applied to oil-gas-based eco-industrial parks, Journal of Cleaner Production, Volume 225, Pages 256-261,ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.259>.*"
- Yoon, S. and Nadvi, K. (2018). *Industrial clusters and industrial ecology: building 'collective ecological efficiency' in a South Korean cluster. Geoforum, 90, 159-173.*
- Yun Zhang, Shasha Duan, Jinhua Li, Shuai Shao, Wenqiang Wang, Shushen Zhang, (2017) *Life cycle assessment of industrial symbiosis in Songmudao chemical industrial park, Dalian, China, Journal of Cleaner Production, Volume 158,,Pages 192-199, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.119>.*
- Zhang, X., Chai, L., (2019). *Structural features and evolutionary mechanisms of industrial symbiosis networks: comparable analyses of two different cases. J. Clean. Prod. 213, 528e539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.173>.*