

MODALIDAD: INVESTIGACIÓN

**EL IMPACTO DE LOS RIESGOS PERCIBIDOS EN LA ADOPCIÓN DE ENERGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA EN UN MARCO DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL: UN
ANÁLISIS CUANTITATIVO EN CONSUMIDORES DE SERVICIOS PUBLICOS**

AUTORES:

ANDRÉS FELIPE ARDILA CABAL

LUIS FELIPE AGUIRRE BONILLA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
SANTIAGO DE CALI

2025

MODALIDAD: INVESTIGACIÓN

**EL IMPACTO DE LOS RIESGOS PERCIBIDOS EN LA ADOPCIÓN DE ENERGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA EN UN MARCO DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL: UN
ANÁLISIS CUANTITATIVO EN CONSUMIDORES DE SERVICIOS PUBLICOS**

AUTORES

ANDRÉS FELIPE ARDILA CABAL

LUIS FELIPE AGUIRRE BONILLA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título
de Magíster en administración de empresas**

Directores del trabajo de grado:

Diana Marcela Escandón Barbosa

Economista

Jairo Antonio Salas Paramo

Administrador de Empresas

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
SANTIAGO DE CALI**

2025

Santiago de Cali, 16 de julio de 2025

Doctor (a)

Fabian Fernando Osorio Tinoco

Decano

Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas

Pontificia Universidad Javeriana

La Ciudad

Por medio de la presente estamos entregando a usted el Trabajo de Grado cuyo título es “Riesgos percibidos y adopción de energía solar en simbiosis industrial: Evidencia empírica desde Colombia con modelos SEM “.

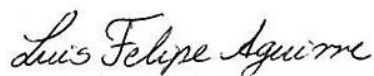
Esperamos que este Trabajo cumpla con los requisitos académicos exigidos y que alcance el propósito para el cual fue elaborado.

Atentamente



Andrés Felipe Ardila Cabal

C.C. 1.130.677.974



Luis Felipe Aguirre Bonilla

C.C. 94.495.695

Santiago de Cali, 30 de mayo de 2025

Doctor
Fabian Fernando Osorio Tinoco
Decano
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Pontificia Universidad Javeriana

La Ciudad

Por medio de la presente nos permitimos comunicarle, que en nuestra calidad de directores de trabajo de grado hemos leído detenidamente el informe final del estudio titulado **“El impacto de los riesgos percibidos en la adopción de energía solar fotovoltaica en un marco de simbiosis industrial: Un análisis cuantitativo en consumidores de servicios públicos”**, realizado por los estudiantes de Maestría en Administración de Empresas la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad Javeriana nombres: **Andrés Felipe Ardila C.C 1130677974 & Luis Felipe Aguirre C.C 94495695**, y consideramos que cumple con todos los requisitos requeridos para ser presentada a evaluación.

Atentamente



Jairo Antonio Salas
Director del Trabajo de Grado

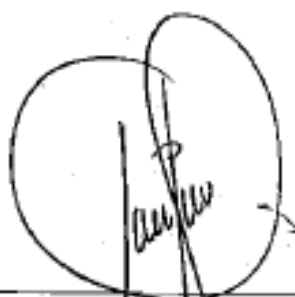


Diana Marcela Escandón
Directora del Trabajo de Grado

ARTÍCULO 23 de la resolución N° 13 de julio 6 de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de Tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque la Tesis no contenga ataques o polémicas puramente personales; antes bien, se vea en ellas al anhelo de buscar la Verdad y la Justicia”.

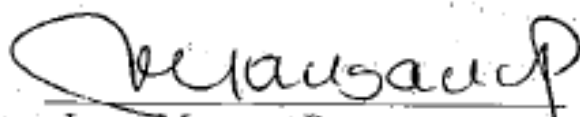
“RIESGOS PERCIBIDOS Y ADOPCIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN SIMBIOSIS INDUSTRIAL: EVIDENCIA EMPÍRICA DESDE COLOMBIA CON MODELOS SEM” Aprobado por el Comité de Trabajos de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar por el título de Magíster en Administración de Empresas”.



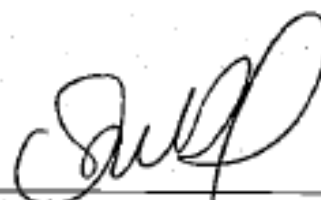
Fabian Fernando Osorio Tinoco

Decano

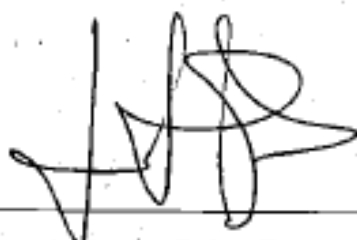
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas



Jenny Manzano Parra
Directora de Maestría en
Administración de empresas



Andrea Hurtado Ayala
Jurado



Jairo Antonio Salas Paramo
Director del Trabajo de Grado

Santiago de Cali, 16 de julio de 2025

Dedicatoria:

Dedico este trabajo, ante todo, a Dios, quien me ha sostenido con sabiduría, fuerza y propósito en cada paso de este camino académico. Cada decisión, desafío y logro fueron posibles gracias a Su guía y presencia constante.

A mi esposa, compañera de vida incansable, por su amor, paciencia y fortaleza. A mis hijas, Martina y Violeta, por su alegría, comprensión y por cederme tiempo que hubiera sido de juegos y abrazos para que yo pudiera alcanzar este sueño. Este logro también es de ustedes, porque sacrificaron momentos familiares sin entender del todo por qué. Ustedes son mi mayor inspiración.

A Gases de Occidente S.A. E.S.P., mi casa profesional, por confiar en mí y respaldarme con generosidad. Agradezco profundamente el apoyo brindado, tanto en tiempo como en recursos, para hacer posible este proceso. Este logro es reflejo de su compromiso con el desarrollo de quienes hacen parte de la organización.

A la memoria de mi tío José Vidarte, quien me enseñó con su ejemplo el valor del estudio y el esfuerzo como motores de vida. Su inspiración sigue presente en cada paso que doy.

A mis padres, por inculcarme desde pequeño la importancia del esfuerzo, el estudio y el respeto. Todo lo que hoy soy tiene raíz en sus enseñanzas y ejemplo constante.

A mi compañero de tesis, Luis Felipe Aguirre, por su compromiso, inteligencia y entrega. Gracias por remar a mi lado en cada etapa de esta investigación; sin tu dedicación, este trabajo no habría sido posible.

A mis compañeros del MBA, especialmente a la Fila de Atrás, esa familia que surgió desde el primer semestre. Gracias por cada risa, desvelo, palabra de ánimo y estrategia compartida. Ustedes hicieron de este camino algo más valioso.

Y a nuestros directores de tesis, Diana Marcela Escandón Barbosa y Jairo Antonio Salas, por guiar, acompañar y creer en este proyecto desde el inicio. Su apoyo y exigencia hicieron posible que este trabajo alcanzara la profundidad y el sentido que hoy tiene.

Este logro es el reflejo de una historia compartida, una etapa transformadora y el apoyo invaluable de todas las personas que caminaron conmigo. A cada una de ellas, mi gratitud eterna.

Andrés Felipe Ardila Cabal

Dedicatoria:

A mi esposa y a mis padres, porque sin decirlo, me prestaron su tiempo y su paciencia cuando más lo necesité.

A Gases de Occidente, por confiar en mí y brindarme el apoyo, el tiempo y los recursos para hacer esto posible.

A mi compañero de tesis, Andrés Felipe Ardiva, por el esfuerzo compartido, las ideas y la complicidad que hizo más liviano el camino.

A mis compañeros del MBA, por su fe incondicional en mí, incluso cuando yo dudaba.

Y a nuestros directores de tesis, por caminar —y correr— con nosotros hasta cruzar la meta.

A todos, gracias por estar ahí. Esta tesis también es suya.

Luis Felipe Aguirre

Contenido

Resumen.....	10
Summary	11
Introducción	15
Marco teórico	17
Simbiosis industrial y su evolución teórica.....	17
Economía circular y ecología industrial	18
Factores de adopción tecnológica	19
Riesgos percibidos en la adopción de tecnologías emergentes en contextos de simbiosis industrial.....	22
Metodología	27
Resultados.....	37
Evaluación del ajuste del modelo.....	37
Conclusiones	42
Referencias.....	49

Resumen

En el contexto de la economía circular y la necesidad de soluciones sostenibles, la simbiosis industrial emerge como una estrategia clave que permite a las empresas intercambiar subproductos y reducir residuos, optimizando así el uso de recursos. Este estudio examina cómo los riesgos percibidos —incluyendo riesgos de tiempo, financieros, sociales, psicológicos y de desempeño— condicionan la adopción de energía solar fotovoltaica por consumidores de servicios públicos en el Valle del Cauca, Colombia. Utilizando Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM), se analizan los datos recolectados de una muestra de 200 usuarios. Los hallazgos de esta investigación aportan una comprensión profunda de los factores que influyen en la implementación de tecnologías sostenibles dentro de la simbiosis industrial, ofreciendo implicaciones prácticas para la gestión de riesgos y el fomento de prácticas sostenibles en el sector energético.

Palabras clave: Simbiosis industrial, Energía solar fotovoltaica, Riesgos percibidos, Economía circular, Adopción de tecnología, Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM), Sector energético, Comportamiento del consumidor.

Summary

In the context of the circular economy and the urgent need for sustainable solutions, industrial symbiosis emerges as a key strategy that enables companies to exchange by-products and reduce waste, thus optimizing resource use. This study examines how perceived risks—including time, financial, social, psychological, and performance risks—influence the adoption of photovoltaic solar energy by public utility consumers in Valle del Cauca, Colombia. Using Structural Equation Modeling (SEM), data collected from a sample of 200 users are analyzed. The findings of this research provide a deep understanding of the factors that affect the implementation of sustainable technologies within industrial symbiosis, offering practical implications for risk management and the promotion of sustainable practices in the energy sector.

Keywords: Industrial symbiosis, Photovoltaic solar energy, Perceived risks, Circular economy, Technology adoption, Structural Equation Modeling (SEM), Energy sector, Consumer behavior.

Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de variables latentes, indicadores y escalas de medición.....	32
Tabla 2. Indica los ajustes estadísticos para toda la muestra resultantes de correr el modelo SEM	37
Tabla 3. Indica los coeficientes resultantes para cada una de las variables independientes.....	41

Lista de figuras

Figura1. Modelo conceptual.....	26
Figura 2. Modelo ilustrativo de ecuaciones estructurales aplicado a la adopción de tecnología solar en simbiosis industrial.....	30

Lista de Anexos

Anexo 1. Cuestionario.....	55
Anexo 2. Descripción de variables.....	60

El impacto de los riesgos percibidos en la adopción de energía solar fotovoltaica en un marco de simbiosis industrial: un análisis cuantitativo en consumidores de servicios públicos

Introducción

Los crecientes desafíos globales de la generación de desechos, el consumo de energía y las emisiones hacen necesaria la adopción urgente de soluciones sostenibles. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) prevé que, para 2060, estos factores se duplicarán, lo que subraya la necesidad crítica de una transición hacia una economía circular (OCDE, 2022). Recientemente, autores como Chertow et al. (2025) y Cagno et al. (2024) han reiterado que el rediseño sistémico de las cadenas de suministro será vital para mitigar estos impactos. Dentro de este marco, la simbiosis industrial se posiciona como una estrategia clave para optimizar la utilización de recursos a través de la colaboración entre empresas.

La simbiosis industrial, considerada uno de los pilares operativos de la economía circular, promueve la interconexión de las industrias para facilitar el intercambio de materiales y energía. Este enfoque colaborativo permite que los desechos o subproductos de una empresa sean utilizados como insumos valiosos por otra, reduciendo así la presión y la dependencia sobre recursos vírgenes y minimizando las emisiones (Cagno et al., 2024; Kalundborg Symbiosis, 2024). Además de sus beneficios ambientales, la simbiosis industrial ha demostrado generar oportunidades económicas significativas mediante el aumento de la eficiencia productiva y la generación de nuevas fuentes de ingresos (Ramasamy & Zhang, 2025).

El sector energético, particularmente la industria de la energía solar fotovoltaica juega un papel crucial en la transición hacia un futuro sostenible. Aunque la energía solar ofrece una alternativa limpia a los combustibles fósiles, también presenta desafíos en la gestión del fin de

vida de sus componentes. Según IRENA (2024), para 2030, el volumen global de desechos de paneles solares podría alcanzar los 8 millones de toneladas. Frente a este panorama, la simbiosis industrial ofrece una vía para abordar estos desafíos mediante la creación de cadenas de valor circulares que permitan la recuperación de materiales clave como silicio, vidrio, aluminio y otros metales como el litio, el grafito y el manganeso, presentes en paneles, inversores y sistemas de almacenamiento (Liu et al., 2025), facilitando su reciclaje o reutilización.

Sin embargo, la implementación exitosa de la simbiosis industrial no está exenta de complejidades. Su implementación conlleva desafíos organizacionales y conductuales. Diversos estudios recientes han identificado que los riesgos percibidos —ya sean financieros, de desempeño, sociales o psicológicos— juegan un rol determinante en la intensión de adopción tecnológica por parte de empresas y consumidores (Escandón-Barbosa & Salas-Páramo, 2024; Bahrami et al., 2024). Estos riesgos condicionan la confianza en los sistemas de intercambio simbiótico, así como la viabilidad de las alianzas interempresariales necesarias para cerrar ciclos productivos de manera efectiva (relaciones simbióticas).

Este estudio aporta evidencia empírica sobre cómo los riesgos percibidos afectan la adopción de tecnologías sostenibles, ofreciendo implicaciones relevantes para diversos actores. Para las empresas, los hallazgos permiten diseñar estrategias de comunicación y confianza que mitiguen percepciones negativas y favorezcan la adopción de innovaciones circulares (Bahrami et al., 2024). Desde la política pública, comprender el papel de los riesgos psicosociales puede ayudar a formular programas que incentiven la colaboración interempresarial, reduzcan la incertidumbre y generen condiciones habilitantes para la simbiosis industrial (Escandón-Barbosa & Salas-Páramo, 2024; Cagno et al., 2024). Finalmente, desde el ámbito académico, este trabajo contribuye al creciente interés por los factores subjetivos en la economía circular, alineándose

con la agenda internacional de investigación sobre percepción del riesgo, resiliencia organizacional e innovación ambiental (Chertow et al., 2025).

Para lograr el objetivo de la investigación, este trabajo se estructura de la siguiente manera: En la primera parte, se realiza un estudio de tipo cuantitativo que consistirá en la recolección de información mediante una encuesta aplicada a una muestra representativa de 200 consumidores de energía domiciliaria en el Valle del Cauca con un muestreo aleatorio estratificado. Los datos se obtendrán a través de cuestionarios digitales elaborados con escalas de medición avaladas por la literatura. La segunda parte presenta la metodología utilizada para analizar los datos de la investigación. La tercera parte presenta los diferentes resultados obtenidos. Finalmente, se reportan las principales conclusiones y las contribuciones del estudio.

Marco teórico

Simbiosis industrial y su evolución teórica

La simbiosis industrial (SI) se originó a partir del concepto de ecología industrial propuesto por Frosch y Gallopoulos (1989), enfocada en imitar los ciclos naturales en los procesos productivos. A partir de esta base conceptual, SI cobró identidad propia, ejemplificada en el parque eco-industrial de Kalundborg (Dinamarca) donde industrias intercambian energía, agua y subproductos de manera sistemática, generando beneficios conjuntos.

En la década de 2000, Chertow definió la SI como una colaboración entre industrias tradicionalmente separadas para lograr ventaja competitiva mediante el intercambio físico de materiales, energía, agua o subproductos, resaltando la colaboración y sinergia generadas por la proximidad geográfica. Posteriormente, Lombardi y Laybourn ampliaron el concepto, destacando la participación de organizaciones heterogéneas conectadas a través de redes

simbióticas que promueven ecoinnovación, aprendizaje interorganizacional y beneficios técnicos y económicos compartidos (Cagno et al., 2024; Chertow et al., 2025).

En suma, la literatura concibe a la SI como la creación de redes empresariales donde los residuos o flujos de valor de un actor sirven de recurso para otro, generando beneficios ambientales, económicos y sociales. Esta evolución teórica ha sido validada por numerosas revisiones recientes, como el de Wang et al. (2024), quienes subrayan su relevancia en sectores como manufactura, energía y tratamiento de efluentes, mientras que la revisión de Neves et al. (2018) identificó una expansión acelerada en el campo, con un crecimiento del 70 % en las publicaciones académicas desde 2007 hasta la actualidad.

Economía circular y ecología industrial

La SI encaja dentro de marcos conceptuales más amplios como la ecología industrial (EI) y la economía circular (EC). La EI estudia las relaciones sistémicas entre sociedad, economía y ambiente, promoviendo la adopción de tecnologías que reduzcan los impactos ambientales y armonicen las actividades humanas con la naturaleza. Según Erkman (1997), la EI consiste en entender cómo funciona el sistema industrial y rediseñarlo, inspirándose en el funcionamiento de los ecosistemas naturales, para establecer ciclos cerrados de materiales y energía. Recientes estudios han reafirmado este enfoque, señalando que la EI proporciona las bases teóricas para la transformación estructural hacia modelos circulares más resilientes (Chertow et al., 2025; Liu et al., 2024).

De hecho, la SI es considerada una subdisciplina de la EI, pues incentiva el intercambio de recursos entre actores industriales para optimizar el uso de materiales y cerrar ciclos productivos. Por su parte, la EC propone un modelo de producción y consumo sostenible en el que los materiales son retenidos dentro del sistema mediante estrategias como la reutilización, el

reciclaje, la reparación y el rediseño, es decir, nunca son residuos. En palabras de la Fundación Ellen MacArthur (2020), “la economía circular es un sistema donde los materiales nunca se convierten en desechos y la naturaleza se regenera” a través de mantener productos y materiales en uso mediante reutilización, reparación, reciclaje y compostaje. Dicho sistema basa su funcionamiento en tres principios diseñados para:

- Eliminar residuos y contaminación.
- Circular productos y materiales (maximizando su valor).
- Regenerar sistemas naturales (p.ej. mediante energía renovable).

Estudios recientes han mostrado que el diseño de políticas públicas y marcos colaborativos que integran EC y SI ha sido clave para acelerar la transición hacia sistemas más sostenibles (Cagno et al., 2024; Ramasamy & Zhang, 2025).

La SI contribuye con aplicaciones prácticas a estos marcos teóricos, al conectar empresas que pueden reutilizar residuos industriales como recursos útiles, facilitando la implementación de la EC a nivel territorial. Ejemplos contemporáneos incluyen ecoparques industriales donde los subproductos generados por una empresa alimentan procesos productivos en otra, lo cual ha sido particularmente relevante para sectores intensivos en materiales, como el solar fotovoltaico (Liu et al., 2025). En este sentido, la interacción entre EI, SI y EC promueve soluciones colaborativas y sistémicas que refuerzan la sostenibilidad ambiental, económica y social de la industria.

Factores de adopción tecnológica

La adopción de nuevas tecnologías se analiza mediante varios modelos teóricos clave. Entre ellos destacan el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM), el marco TOE (Tecnología-Organización-Entorno), la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de la Tecnología

(UTAUT) y la Teoría de la Difusión de Innovaciones (DOI). En conjunto, estos marcos describen cómo distintos factores influyen en la decisión de implementar innovaciones:

- TAM (Davis, 1989): propone que la intención de uso de una tecnología depende fundamentalmente de la *percepción de utilidad* (PU) y de la *percepción de facilidad de uso* (PFU) de esa tecnología. Es decir, mientras mayor sea la percepción de que la tecnología mejora el desempeño laboral y más fácil sea de usar, más probable será su adopción.
- TOE (Tornatzky y Fleischer, 1990): sostiene que la adopción tecnológica en una organización está influenciada por tres contextos: *tecnológico* (características de las tecnologías internas y disponibles), *organizacional* (recursos, tamaño, estructuras internas) y *del entorno* (condiciones externas, competencia, regulaciones). Este marco examina cómo la combinación de esos factores determina la adopción a nivel empresarial.
- UTAUT (Venkatesh et al., 2003): integra elementos de modelos previos para explicar la aceptación organizacional. UTAUT postula cuatro determinantes principales de la intención de uso y uso real: *expectativa de rendimiento* (creencia de que el sistema mejora el desempeño), *expectativa de esfuerzo* (facilidad percibida de uso), *influencia social* (presión de personas relevantes para usar la tecnología) y *condiciones facilitadoras* (existencia de infraestructura y apoyo técnico). Venkatesh et al. demostraron que UTAUT explica hasta el 70% de la varianza en la intención de uso en entornos organizacionales.
- DOI (Rogers, 2003): describe cómo y por qué las innovaciones se propagan en un sistema social a lo largo del tiempo. Según DOI, las innovaciones se difunden a través de

canales específicos y se ve afectado por atributos percibidos de la innovación (ventaja relativa, compatibilidad, complejidad, posibilidad de prueba y observabilidad). En el ámbito organizacional, la difusión está mediada por características de la empresa (liderazgo, cultura, estructura) y del mercado.

Este estudio utiliza principalmente marcos conceptuales centrados en cómo las organizaciones adoptan nuevas tecnologías, como los modelos TOE y DOI, e incorpora también elementos basados en la conducta individual. En especial, la Teoría del Comportamiento Planificado (TPB) de Ajzen (1991) nos ayuda a incluir variables como la actitud y la intención de adopción, que se han validado ampliamente en estudios sobre aceptación tecnológica (Davis, 1989; Venkatesh et al., 2003). La TPB sugiere que el comportamiento está determinado por la intención, que a su vez depende de la actitud hacia ese comportamiento, las normas subjetivas y el control percibido. Aunque no usamos esta teoría como nuestro marco principal, su influencia es clara en nuestro modelo, especialmente en cómo incluimos la actitud como un puente entre los riesgos percibidos y la intención de adoptar una tecnología. Esta combinación permite unir aspectos organizacionales, tecnológicos y psicológicos en un modelo adecuado para estudiar tecnologías limpias en contextos de simbiosis industrial.

Estos modelos coinciden en que la adopción tecnológica depende tanto de percepciones individuales como del contexto organizacional. Por ejemplo, TAM y UTAUT resaltan la importancia de la utilidad y facilidad percibida en la intención de uso (Venkatesh et al., 2003; Tanveer et al., 2021), mientras que TOE enfatiza la importancia de las características organizativas y del entorno externo, como la presión competitiva y el apoyo institucional (Tornatzky & Fleischer, 1990; Fu et al., 2024). DOI le da más importancia al papel de la

comunicación, las redes sociales y las propiedades percibidas de la innovación, como su compatibilidad, complejidad y observabilidad (Rogers, 2003).

En el contexto de la simbiosis industrial es crucial integrar estos factores para comprender la intención de las empresas a implementar tecnologías colaborativas. Las organizaciones no solo consideran atributos funcionales como el rendimiento, el costo o la facilidad de implementación, sino también factores contextuales como las normativas vigentes, las dinámicas de cooperación interempresarial y la existencia de redes de socios confiables (Escandón-Barbosa & Salas-Páramo, 2024; Cagno et al., 2024). Este enfoque integrador permite explicar mejor cómo se toman decisiones tecnológicas en esquemas simbióticos complejos.

Riesgos percibidos en la adopción de tecnologías emergentes en contextos de simbiosis industrial

La adopción de tecnologías emergentes, como los sistemas fotovoltaicos, está sujeta a múltiples factores inhibidores, entre los cuales la percepción de riesgo ocupa un lugar central. En contextos caracterizados por incertidumbre técnica, organizacional y relacional —como ocurre en los marcos de simbiosis industrial (SI)— los individuos y las organizaciones evalúan cuidadosamente los posibles efectos adversos que podrían derivarse de la implementación de una tecnología (Featherman & Pavlou, 2003; Bahrami et al., 2024). El concepto de riesgo percibido ha sido ampliamente estudiado en la literatura sobre innovación, identificándose al menos cinco dimensiones relevantes: riesgo de desempeño, financiero, de tiempo, social y psicológico (Sweeney et al., 1999; Tanveer et al., 2021).

El riesgo operativo (racional), integrado por las dimensiones de desempeño, tiempo y financiero, se refiere a preocupaciones prácticas vinculadas al funcionamiento de la tecnología, la duración y complejidad del proceso de implementación, y el retorno económico de la

inversión (Escandón-Barbosa & Salas-Páramo, 2024). Estas dimensiones afectan directamente la evaluación racional de costo-beneficio, inhibiendo la intención de adopción cuando los riesgos percibidos superan los beneficios esperados. Por ejemplo, Bahrami et al. (2024) reportan que la percepción de riesgo financiero constituye una de las barreras más importantes en la adopción de paneles solares en contextos residenciales, dada la elevada inversión inicial y la incertidumbre sobre su amortización.

En paralelo, los riesgos emocionales (humanos), compuestos por los riesgos psicológico y social, introducen un componente subjetivo y emocional al proceso decisorio. El riesgo psicológico se manifiesta en forma de ansiedad, temor al fracaso o pérdida de control frente al cambio tecnológico; mientras que el riesgo social implica la preocupación por la evaluación negativa por parte de colegas, clientes u otros actores relevantes (Tanveer et al., 2021; Sweeney et al., 1999). Estos riesgos impactan la confianza y disposición personal para liderar o apoyar procesos de transformación tecnológica, especialmente cuando el entorno institucional o cultural no respalda activamente la innovación.

La evidencia sugiere que estos riesgos no solo actúan de forma aislada, sino que se intensifican en sistemas colaborativos como la simbiosis industrial, donde las decisiones individuales están interdependientemente vinculadas a otros actores. Massari y Giannoccaro (2022) señalan que, en estos esquemas, los fallos tecnológicos en un nodo pueden generar efectos sistémicos, amplificando la percepción de vulnerabilidad organizacional. De igual forma, Cagno et al. (2024) subrayan que la toma de decisiones tecnológicas en entornos circulares implica altos niveles de coordinación interorganizacional, lo que incrementa la complejidad y los riesgos asociados a la adopción de innovaciones.

El sector fotovoltaico solar, particularmente en su intersección con esquemas de SI, representa un caso paradigmático de estas dinámicas. A pesar de los beneficios potenciales de la economía circular —como la reutilización de baterías de ion-litio o el reciclaje de paneles solares en parques eco-industriales (Liu et al., 2025; Wang et al., 2024)—, persisten múltiples barreras percibidas: desde restricciones técnicas y normativas, hasta limitaciones de financiamiento, información y espacio físico (Bahrami et al., 2024). Estas barreras no solo reflejan riesgos objetivos, sino también percepciones construidas social y psicológicamente por parte de los usuarios y decisores.

En general, la literatura respalda que tanto los riesgos operacionales (racionales) como los riesgos humanos (emocionales) configuran obstáculos significativos para la adopción de tecnologías solares en entornos de SI. Estas categorías de riesgo activan mecanismos de defensa organizacional que pueden limitar la intención de experimentar con tecnologías emergentes, incluso en presencia de incentivos económicos o regulatorios.

Este estudio muestra que los riesgos percibidos influyen en la intención de adoptar nuevas tecnologías, pero no lo hacen solos. Las variables psicológicas juegan un papel importante en este proceso. Por ejemplo, la actitud hacia la tecnología, que se refiere a cómo evaluamos el uso de una innovación, es una pieza clave en los modelos de adopción tecnológica (Ajzen, 1991; Davis, 1989). Investigaciones sobre tecnologías limpias y entornos circulares indican que una actitud positiva puede reducir el impacto negativo de los riesgos percibidos sobre la intención de adoptar (Tanveer et al., 2021; Bahrami et al., 2024). Esto respalda la inclusión de esta variable en el modelo conceptual y análisis de este estudio.

De acuerdo con los postulados anteriores se plantean las siguientes hipótesis:

H1. La percepción elevada de riesgo de desempeño se asocia negativamente con la intención de los consumidores de servicios públicos a adoptar tecnologías solares fotovoltaicas en contextos de simbiosis industrial.

Nota aclaratoria: En este estudio, el riesgo de desempeño hace referencia a preocupaciones relacionadas con el funcionamiento técnico, confiabilidad y eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos. En algunas menciones se empleó el término “riesgo tecnológico”. Ambos términos se utilizan de manera equivalente y aquí se ha optado por unificar como “riesgo de desempeño” para mayor coherencia con la literatura académica (Sweeney et al., 1999; Featherman & Pavlou, 2003).

H2. La percepción elevada de riesgo financiero disminuye significativamente la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas por parte de los consumidores de servicios públicos en esquemas de simbiosis industrial.

H3. La percepción elevada de riesgo de tiempo reduce la probabilidad de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas por parte de los consumidores de servicios públicos en entornos de simbiosis industrial.

H4. La percepción elevada de riesgo social afecta negativamente la intención de los consumidores de servicios públicos a adoptar tecnologías solares fotovoltaicas dentro de esquemas de simbiosis industrial.

H5. La percepción elevada de riesgo psicológico tiene un efecto negativo significativo sobre la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas por parte de los consumidores de servicios públicos en contextos de simbiosis industrial.

H6: La percepción elevada de riesgos específicos asociados a la simbiosis industrial, como la dependencia entre empresas, la falta de confianza interorganizacional o la incertidumbre

sobre los costos y beneficios compartidos, reduce significativamente la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas en esquemas de colaboración simbiótica.

Nota: Este estudio utiliza el concepto de “intención de adopción” como constructo clave derivado de la Teoría del Comportamiento Planificado (Ajzen, 1991). Aunque en algunas secciones se hace referencia a “disposición a adoptar”, ambos términos se utilizan aquí de forma equivalente, y se ha optado por unificar el término como “intención de adopción” para mantener coherencia conceptual y metodológica.

H7: Una actitud favorable hacia las tecnologías solares fotovoltaicas se asocia positivamente con la intención de adopción en contextos de SI.

De acuerdo con las variables y las hipótesis anteriores, se propone el modelo conceptual que se muestra en la Figura 1.

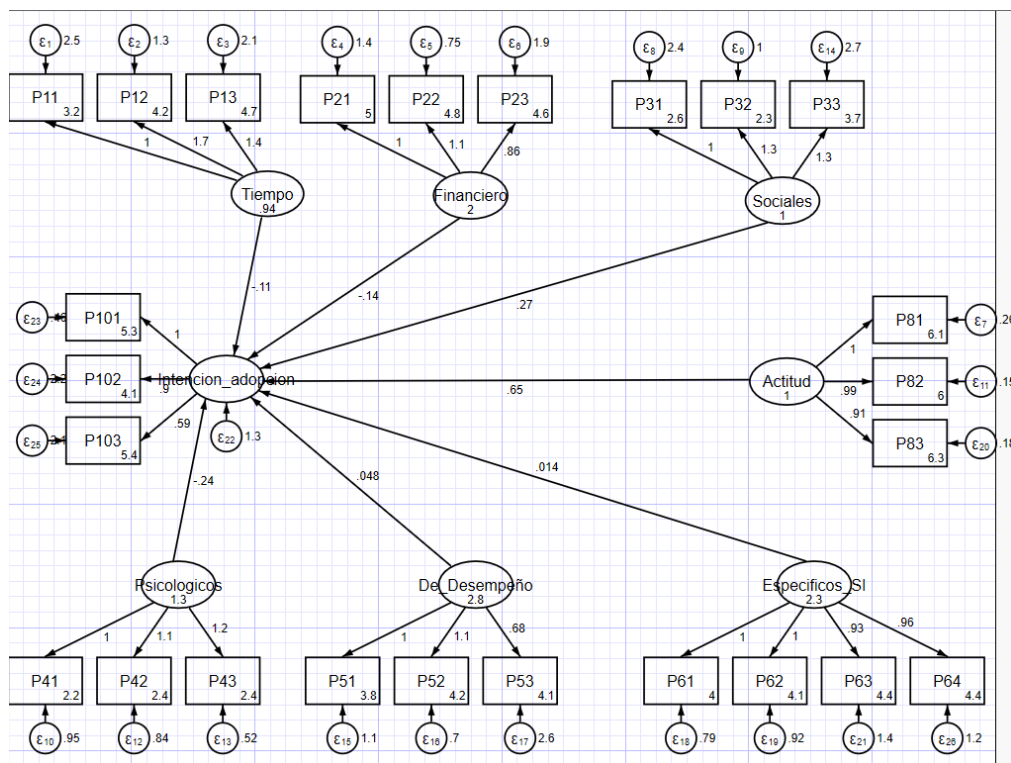


Figura1. Modelo conceptual.

Fuente: Software Stata. Ver descripción de las variables en el anexo 2

Metodología

Los Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM, por sus siglas en inglés) representan una técnica estadística robusta que combina el análisis factorial confirmatorio con modelos de regresión, lo que permite analizar relaciones complejas entre variables observadas y constructos latentes. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios que abordan fenómenos sociales, de comportamiento y tecnológicos, debido a su capacidad para modelar estructuras causales y simultáneamente incorporar errores de medición en los análisis (Schumacker & Lomax, 2010; Kline, 2016).

En el contexto de investigaciones relacionadas con la adopción tecnológica dentro de esquemas de economía circular y simbiosis industrial, SEM ofrece una ventaja significativa: permite representar y estimar modelos en los que intervienen múltiples dimensiones del comportamiento humano, tales como las percepciones, actitudes, creencias y la intención de adoptar innovaciones. Este enfoque multivariado resulta especialmente útil para analizar fenómenos donde intervienen constructos abstractos, como el riesgo percibido en sus distintas dimensiones (financiera, de desempeño, psicológica, social y temporal), que no son directamente observables pero que se pueden inferir a través de indicadores específicos (Sweeney et al., 1999; Hair et al., 2019).

Uno de los elementos centrales del enfoque SEM es la separación entre el modelo de medición y el modelo estructural. El primero define cómo los indicadores observados (como ítems de encuestas) representan las variables latentes, mientras que el segundo especifica las relaciones entre estos constructos. En otras palabras, este enfoque no sólo permite medir los factores teóricos a partir de datos empíricos, sino también probar hipótesis complejas sobre la relación entre ellos. Así, en el estudio de la simbiosis industrial y la adopción de tecnologías

solares, SEM proporciona una estructura lógica y estadísticamente fundamentada para explorar cómo el riesgo percibido impacta la intención de uso y las actitudes hacia la tecnología.

Fu et al. (2024) destacan que este enfoque estadístico resulta particularmente efectivo en estudios que implican incertidumbre tecnológica, como aquellos orientados a la innovación en industrias con fuerte presión regulatoria o ambiental. En el caso de la energía solar, por ejemplo, SEM se ha empleado para identificar factores clave que inhiben o promueven la adopción de sistemas fotovoltaicos, incluyendo barreras percibidas por los usuarios, disponibilidad de recursos, percepción de beneficios y riesgos asociados (Bahrami et al., 2021).

Otro beneficio importante de SEM es su capacidad para incorporar tanto efectos directos como indirectos entre variables. Esto es esencial para estudios que buscan entender no sólo si una variable influye en otra, sino también cómo ocurre dicha influencia. Por ejemplo, el riesgo percibido podría afectar la intención de adopción de manera directa, pero también a través de constructos intermedios como la actitud hacia la tecnología o la percepción de control sobre su uso. En ese sentido, SEM permite explorar modelos con mediaciones y moderaciones, proporcionando una comprensión más profunda de las relaciones causales (Hair et al., 2019).

Además, SEM es útil para evaluar modelos alternativos y comparar cuál estructura explicativa se ajusta mejor a los datos observados. Esto es especialmente relevante cuando existen múltiples teorías o hipótesis que podrían explicar un fenómeno determinado. En investigaciones centradas en la adopción tecnológica dentro de la simbiosis industrial, esta capacidad de contrastar modelos resulta fundamental para validar supuestos teóricos provenientes de marcos como el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM) o la Teoría de Difusión de Innovaciones (DOI), todos ellos aplicables al análisis de la intención de adoptar tecnologías sostenibles.

En la práctica, el proceso metodológico con SEM inicia con el diseño de instrumentos de medición que traduzcan los constructos teóricos en variables observables. Para el caso del riesgo percibido, es común utilizar escalas tipo Likert previamente validadas que cubren distintas dimensiones del constructo. Posteriormente, se realiza un análisis factorial confirmatorio para verificar la validez y confiabilidad de las escalas utilizadas. Una vez verificada la adecuación del modelo de medición, se procede al análisis estructural, en el cual se estiman las relaciones entre las variables latentes. Este enfoque no sólo garantiza rigurosidad estadística, sino que también proporciona una representación gráfica y cuantitativa del sistema de relaciones planteado por el investigador (Kline, 2016).

En estudios enfocados en la economía circular y la simbiosis industrial, esta aproximación metodológica ha sido clave para examinar cómo se configuran las decisiones de adopción tecnológica frente a diversas formas de incertidumbre. Escandón-Barbosa y Salas-Páramo (2021) aplicaron SEM para analizar la influencia del riesgo percibido y la ubicación geográfica sobre la intención de los usuarios a participar en iniciativas de simbiosis industrial, encontrando que tanto los factores psicológicos como contextuales juegan un papel determinante en la toma de decisiones.

SEM no sólo ofrece una plataforma estadística poderosa para modelar relaciones complejas entre constructos latentes, sino que también se alinea conceptualmente con los objetivos de estudios que buscan comprender el comportamiento de adopción tecnológica en entornos de innovación sostenible. En el caso de la energía solar aplicada a esquemas de simbiosis industrial, esta técnica permite medir las percepciones clave que condicionan la intención de uso y validar modelos explicativos que integran factores psicológicos, sociales, de desempeño y económicos en un marco cohesivo.

El modelo SEM incluye la actitud como variable mediadora entre el riesgo percibido y la intención de adopción, en línea con modelos de adopción tecnológica como TAM, TPB y UTAUT, que reconocen que la actitud actúa como canal intermedio entre creencias (riesgos, utilidad) y conductas futuras (intención de uso). Esta configuración permite analizar efectos indirectos dentro del modelo, fortaleciendo su capacidad explicativa y aportando una visión más completa del proceso de adopción tecnológica en contextos de simbiosis industrial.

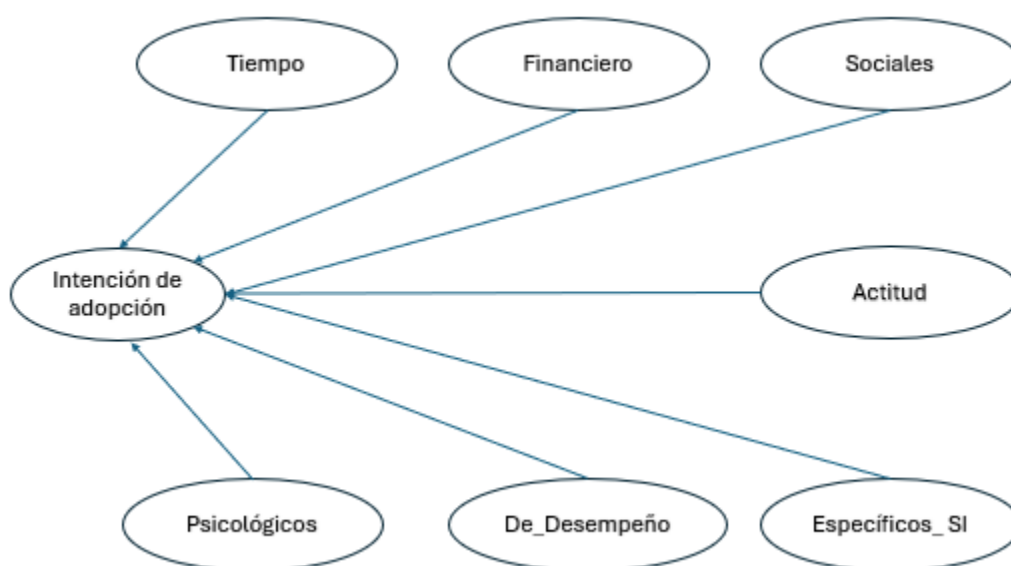


Figura 2. Modelo ilustrativo de ecuaciones estructurales aplicado a la adopción de tecnología solar en simbiosis industrial

Nota. Elaboración propia con fines ilustrativos, inspirada en los modelos propuestos por Hair et al. (2019) y Kline (2016). Representa la relación entre riesgo de tiempo, financiero, social, psicológico, de desempeño, específicos a la simbiosis industrial y la actitud, considerando variables latentes en la intención de adopción de sistemas solares fotovoltaicos.

La Figura 2 ilustra un modelo de ecuaciones estructurales hipotético utilizado para analizar los factores que influyen en la adopción de tecnología solar fotovoltaica dentro de esquemas de simbiosis industrial, incluyendo:

- Las variables latentes (en círculos): El modelo incluye siete variables latentes principales: riesgo percibido (que a su vez se divide en cinco dimensiones: Tiempo, Financiero, Sociales, Psicológicos, De Desempeño y Específicos de la Simbiosis Industrial), Actitud e Intención de Adopción. Cada una de estas variables latentes se vincula con múltiples indicadores observables (ítems de encuesta), reflejando cómo se operativizan los constructos teóricos.
- Las relaciones estructurales entre los constructos, con flechas sólidas para efectos directos.

En este esquema, el riesgo percibido se modela como una variable exógena que afecta directamente la actitud hacia la tecnología e indirectamente la intención de adopción. La configuración refleja las rutas causales que se estimarían a través de SEM, permitiendo medir el efecto de cada constructo sobre las decisiones de adopción, así como identificar mediaciones y relaciones indirectas entre ellos.

Este tipo de representación es clave para operacionalizar la teoría mediante datos empíricos y para evaluar modelos alternativos que permitan explicar el comportamiento del consumidor ante innovaciones tecnológicas sostenibles.

En el sector fotovoltaico, estudios recientes ilustran esta aplicación. Por ejemplo, Bahrami et al. (2021) aplican SEM al mercado solar, encontrando empíricamente que “el riesgo percibido y el costo del sistema PV tienen efectos negativos” sobre la intención de adopción. Esto confirma que, incluso en innovaciones limpias, la aversión al riesgo (latente) puede ser

obstáculo. De igual forma, SEM ha demostrado ser útil para examinar factores sociales y de beneficio percibido en adopciones sustentables, integrando elementos de economía circular (p.ej., subproductos y reuso) en la misma modelización. SEM es especialmente pertinente en estos contextos porque modela relaciones multivariadas complejas entre indicadores económicos, ambientales y psicológicos inherentes al marco de economía circular e industrial:

- Integración multivariada: SEM articula variables técnicas (rendimiento del panel, costos), psicológicas (percepción de riesgo) y sociales (normas colaborativas) en un único modelo analítico.
- Aplicación práctica: Permite comparar teorías alternativas de adopción en contextos circulares y extraer conclusiones sobre qué riesgos (tiempo, económicos, sociales, etc.) son más determinantes.
- Evidencia empírica: En la práctica, la adopción de tecnología solar se estudia con SEM en economías emergentes; los resultados respaldan que reducir la percepción de riesgo (e.g., garantizando financiamiento o soporte técnico) podría aumentar la adopción de la simbiosis solar.

La Tabla 1 muestra un resumen con las variables latentes principales del modelo SEM, sus dimensiones (cuando aplica), ejemplos de indicadores y la escala de medición:

Tabla 1. Resumen de variables latentes, indicadores y escalas de medición

Variable latente	Indicadores observables	Sigla en el modelo	Tipo de escala
Tiempo	Riesgos de tiempo. Me preocupa el tiempo que tomará instalar e implementar un sistema de energía solar fotovoltaica ²	P1.1	Likert 7 puntos

	Riesgos de tiempo. Me inquieta la vida útil y la durabilidad de la tecnología solar fotovoltaica ³	P1.2	Likert 7 puntos
	Riesgos de tiempo. Me preocupa el potencial retraso en el retorno de la inversión en un proyecto de energía solar fotovoltaica	P1.3	Likert 7 puntos
Financieros	Riesgos Financieros. Me preocupa el costo inicial de invertir en energía solar fotovoltaica ⁸	P2.1	Likert 7 puntos
	Riesgos Financieros. Me inquieta la posibilidad de gastos inesperados relacionados con la adopción de la energía solar ⁹	P2.2	Likert 7 puntos
	Riesgos Financieros. Me preocupa la disponibilidad y confiabilidad de las opciones de financiación para los sistemas de energía solar fotovoltaica	P2.3	Likert 7 puntos
Sociales	Riesgos Sociales. Me preocupa el impacto estético de los paneles solares en mi propiedad/comunidad ¹²	P3.1	Likert 7 puntos

	Riesgos Sociales. Me inquieta el potencial de percepciones sociales negativas sobre la adopción de energía solar ¹³	P3.2	Likert 7 puntos
	Riesgos Sociales. Me preocupa la falta de conciencia y aceptación comunitaria de la tecnología solar fotovoltaica ¹⁴	P3.3	Likert 7 puntos
Psicológicos	Riesgos Psicológicos. Siento ansiedad acerca de la complejidad de la tecnología solar fotovoltaica ¹⁶	P4.1	Likert 7 puntos
	Riesgos Psicológicos. Dudo en adoptar la energía solar debido a la falta de confianza en la tecnología ¹⁷	P4.2	Likert 7 puntos
	Riesgos Psicológicos. Me preocupa la posibilidad de sentirme abrumado(a) por el proceso de toma de decisiones para la adopción de energía solar ¹⁸	P4.3	Likert 7 puntos
De	Riesgos tecnológicos o de desempeño. Me preocupa la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de energía solar fotovoltaica ²⁰	P5.1	Likert 7 puntos
Desempeño	Riesgos tecnológicos o de desempeño. Me inquieta la posibilidad de problemas técnicos o fallos de funcionamiento con la tecnología solar ²¹	P5.2	Likert 7 puntos

	Riesgos tecnológicos o de desempeño. Me preocupa el impacto de las condiciones climáticas en el rendimiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica ²²	P5.3	Likert 7 puntos
Específicos a la Simbiosis Industrial	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. Me preocupa la confiabilidad de otros participantes en la red de simbiosis industrial ²⁴	P6.1	Likert 7 puntos
	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. Me inquietan los posibles conflictos o desacuerdos con otros participantes en la red ²⁵	P6.2	Likert 7 puntos
	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. Me preocupa la distribución equitativa de los costos y beneficios dentro de la red de simbiosis industrial ²⁶	P6.3	Likert 7 puntos
	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. No estoy seguro(a) acerca de la estabilidad y viabilidad a largo plazo de la asociación de simbiosis industrial ²⁷	P6.4	Likert 7 puntos
Actitud	Actitud. En general tengo una opinión positiva sobre el uso de esta tecnología ³¹	P8.1	Likert 7 puntos

	Actitud. Me sentiría satisfecho(a) si instalo esta tecnología en mi hogar ³²	P8.2	Likert 7 puntos
	Actitud. Usar energía solar es una buena idea ³³	P8.3	Likert 7 puntos
Intención de adopción	Intención de adopción. Estoy dispuesto(a) a instalar un sistema solar fotovoltaico en el futuro próximo ³⁷	P10.1	Likert 7 puntos
	Intención de adopción. Probablemente adoptaría esta tecnología en el próximo año ³⁸	P10.2	Likert 7 puntos
	Intención de adopción. Planeo informarme más para tomar una decisión sobre la instalación ³⁹	P10.3	Likert 7 puntos

Nota. Elaboración propia a partir de escalas adaptadas de Sweeney et al. (1999) para riesgo percibido; Ajzen (1991) para actitud e intención de adopción; y Tanveer et al. (2021) y Escandón-Barbosa & Salas-Páramo (2021) para aplicación en contextos de energía solar y simbiosis industrial.

Para la recolección de datos para el modelo se realizó una encuesta digital a una muestra representativa de 200 consumidores de energía domiciliaria del Valle del Cauca con un muestreo aleatorio estratificado tratando de abarcar todos los perfiles socioeconómicos y educativos del departamento. El cuestionario se elaboró con escalas de medición avaladas por la literatura midiendo que tan identificado se siente el encuestado con la afirmación, donde 1 era totalmente en desacuerdo y 7 era totalmente de acuerdo. De esta manera se consolidó la información para

posteriormente cargarla en el software Stata para correr el modelo y obtener los resultados para el análisis.

Resultados

Evaluación del ajuste del modelo.

Los resultados del modelo de ecuaciones estructuradas (SEM) muestran que el modelo que se propuso no presenta un ajuste adecuado a los datos obtenidos en las encuestas. Los ajustes estadísticos para toda la muestra muestran que el Chi-cuadrado para el modelo versus el modelo teórico fue considerable ($\chi^2 = 826.612$) lo que nos muestra una diferencia significativa entre los dos.

El índice Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA = 0,105) y el intervalo de confianza del 90% por encima del límite aceptable reflejan nuevamente la falta de ajuste del modelo (Hu & Bentler, 1999). Los índices de ajuste incremental como el Comparative Fit Index (CFI = 0,781) y el Tucker-Lewis Index (TLI = 0,755) presentan valores inferiores al 0,90 lo que indica que el modelo tiene baja capacidad para mejorar el ajuste en comparación con un modelo nulo (Hair et al., 2019). Finalmente, el índice SRMR = 0,233 fue mayor al 0,08 lo que deja en evidencia las diferencias entre las matrices de covarianza observada y estimada.

Tabla 2. Indica los ajustes estadísticos para toda la muestra resultantes de correr el modelo SEM.

Fit Statistic	Value	Description
Likelihood ratio	826,612	model vs saturated
χ^2_{ms} (268)		
$p > \chi^2$	0.000	
χ^2_{bs} (300)	2.854,762	baseline vs saturated

p > χ^2	0.000	
Population error		
RMSEA	0,105	Root mean squared error of approximation
90% CI, lower bound	0,097	
upper bound	0,113	
pclose	0,000	Probability RMSEA <= 0.05
Information criteria		
AIC	16720,667	Akaike's information criterion
BIC	16987,354	Bayesian information criterion
Baseline comparison		
CFI	0,781	Comparative fit index
TLI	0,755	Tucker-Lewis index
Size of residuals		
SRMR	0,233	Standarized root mean squared residual
CD	1,000	Coefficient of determination

Nota. Elaboración propia a partir del modelo SEM

En cuanto a las hipótesis de investigación se pueden presentar los siguientes resultados:

En la Hipótesis 1 (H1) Riesgo de desempeño *La percepción elevada de riesgo de desempeño se asocia negativamente con la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas en el contexto de simbiosis industrial.* Los resultados del modelo muestran que el riesgo de desempeño tiene un coeficiente negativo, aunque estadísticamente no significativo.

Esto sugiere que, si bien existen preocupaciones sobre el rendimiento técnico o la funcionalidad real de la tecnología, estas no constituyen una barrera crítica en la decisión de adopción. En contextos como el analizado, donde las tecnologías fotovoltaicas han ganado cierta madurez, es probable que el riesgo de desempeño sea percibido como manejable.

En cuanto a la Hipótesis 2 (H2) – Riesgo financiero. *La percepción elevada de riesgo financiero disminuye significativamente la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas por parte de los consumidores de servicios públicos en esquemas de simbiosis industrial.* Esta hipótesis fue confirmada de forma robusta. El coeficiente asociado al riesgo financiero fue negativo y estadísticamente significativo, lo que indica que los temores vinculados al retorno de la inversión, sobrecostos ocultos o falta de acceso a financiamiento constituyen un obstáculo importante para la adopción. Este hallazgo coincide con estudios previos que destacan el papel inhibitorio de los factores económicos en la implementación de tecnologías sostenibles, especialmente en economías emergentes.

En la Hipótesis 3 (H3) Riesgo de tiempo *una mayor percepción de riesgo de tiempo se asocia negativamente con la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas.* El análisis empírico respalda parcialmente esta hipótesis. Aunque el coeficiente fue negativo — confirmando que las preocupaciones sobre la duración de la instalación, la curva de aprendizaje o el tiempo requerido para ver beneficios pueden actuar como freno— su magnitud fue menor en comparación con otros riesgos. Esto sugiere que el riesgo de tiempo constituye una barrera secundaria, aunque no despreciable, que podría mitigarse mediante estrategias de instalación eficiente o asesoría técnica personalizada.

En la Hipótesis 4 (H4) Riesgo social *Una mayor percepción de riesgo social reduce la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas.* Contrario a lo esperado, esta

hipótesis no fue confirmada. El riesgo social mostró una relación positiva leve con la intención de adopción, lo cual puede interpretarse como un efecto cultural donde la implementación de tecnologías limpias se percibe positivamente por parte del entorno social. En este sentido, en lugar de actuar como inhibidor, el riesgo social podría convertirse en una fuente de presión positiva o validación social para la adopción, especialmente en comunidades que valoran las prácticas ambientalmente responsables.

En la Hipótesis 5 (H5) Riesgo psicológico, *una mayor percepción de riesgo psicológico se asocia negativamente con la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas*. Esta hipótesis fue confirmada. El riesgo psicológico presentó un coeficiente negativo y estadísticamente significativo, evidenciando que sentimientos como la ansiedad, la desconfianza hacia la tecnología, el temor al cambio o a cometer errores afectan de manera considerable la intención de adopción. Estos resultados subrayan la importancia de diseñar intervenciones comunicativas que reduzcan la incertidumbre, refuercen la autoconfianza del consumidor y promuevan experiencias piloto que disminuyan el temor al fracaso.

En la Hipótesis 6 (H6) Riesgos específicos de la simbiosis industrial *La percepción elevada de riesgos específicos asociados a la simbiosis industrial, como la dependencia entre empresas, la falta de confianza interorganizacional o la incertidumbre sobre los costos y beneficios compartidos, reduce significativamente la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas en esquemas de colaboración simbiótica*. Los resultados del modelo muestran que los riesgos específicos de SI presentan un coeficiente negativo, aunque sin significancia estadística. Esto sugiere que, si bien existe cierta percepción de riesgo en torno a los compromisos interempresariales, las posibles asimetrías de poder o la desconfianza en el

cumplimiento de acuerdos colaborativos, estos factores no constituyen una barrera determinante en la decisión de adoptar tecnologías solares en contextos de simbiosis industrial.

Finalmente, en la Hipótesis 7 (H7) Actitud, *Una actitud favorable hacia las tecnologías solares fotovoltaicas se asocia positivamente con la intención de adopción en contextos de SI*. El análisis del modelo confirma la hipótesis. Esto indica que una actitud favorable hacia estas tecnologías esta relacionada de manera positiva y significativa con la intención de adopción con un coeficiente positivo con una fuerte relación, lo que sugiere que, a medida que los individuos desarrollan percepciones positivas hacia las tecnologías solares fotovoltaicas su intención a adoptarlas también aumenta. Este resultado refuerza la importancia de incentivar las actitudes positivas como un mecanismo clave para lograr impulsar la transición hacia energías renovables.

Tabla 3. Indica los coeficientes resultantes para cada una de las variables independientes

OIM						
	Coefficient	std. Err.	z	P > z	[95% conf. Interval]	
Structural						
Intencion_adopcion						
Tiempo	-0,105803	0,1651149	-0,64	0,522	-0,4294222	0,2178162
Actitud	0,6487591	0,1115692	5,81	0	0,4300876	0,8674306
Financiero	-0,1401596	0,1057293	-1,33	0,185	-0,3473851	0,0670659
Sociales	0,2667381	0,1433839	1,86	0,063	-0,0142891	0,5477653
Psicológicos	-0,2355373	0,1215201	-1,94	0,053	-0,4737123	0,0026377
De Desempeño	0,0479879	0,0924953	0,52	0,604	-0,1332997	0,2292754
Específicos_SI	0,0136268	0,084166	0,16	0,871	-0,1513356	0,1785892

Measurement

P11

Tiempo	1	(constrained)				
_cons	3,162304	0,1340936	23,58	0	2,899485	3,425122

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del modelo SEM

Conclusiones

El propósito de esta investigación es analizar el efecto de los riesgos percibidos en la adopción de tecnologías solares fotovoltaicas dentro de esquemas de simbiosis industrial por parte de consumidores de servicios públicos domiciliarios en el Valle del Cauca, Colombia. La investigación se fundamentó en un modelo teórico que combina elementos de la economía circular, la simbiosis industrial y teorías de adopción tecnológica. A partir de un enfoque cuantitativo, se diseñó y aplicó una encuesta estructurada con escalas tipo Likert de 7 puntos a una muestra representativa de usuarios de energía domiciliaria y se empleó un modelo de ecuaciones estructurales (SEM) para analizar información y examinar las relaciones entre la intención de adopción de la tecnología fotovoltaica, la actitud hacia la tecnología y distintos tipos de riesgo percibido: de desempeño (tecnológico), financiero, de tiempo, social y psicológico. El objetivo es evaluar cómo variables relacionadas con riesgos percibidos y la actitud hacia la tecnología influyen sobre la intención de adopción de tecnologías solares bajo esquemas de simbiosis industrial.

La investigación se estructuró en torno a siete hipótesis específicas:

- H1: La percepción elevada de riesgo de desempeño se asocia negativamente con la intención de los consumidores de servicios públicos a adoptar tecnologías solares fotovoltaicas en contextos de simbiosis industrial.

- H2: La percepción elevada de riesgo financiero disminuye significativamente la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas por parte de los consumidores de servicios públicos en esquemas de simbiosis industrial.
- H3: La percepción elevada de riesgo de tiempo reduce la probabilidad de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas por parte de los consumidores de servicios públicos en entornos de simbiosis industrial.
- H4: La percepción elevada de riesgo social afecta negativamente la intención de los consumidores de servicios públicos a adoptar tecnologías solares fotovoltaicas dentro de esquemas de simbiosis industrial.
- H5: La percepción elevada de riesgo psicológico tiene un efecto negativo significativo sobre la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas por parte de los consumidores de servicios públicos en contextos de simbiosis industrial.
- H6: La percepción elevada de riesgos específicos asociados a la simbiosis industrial, como la dependencia entre empresas, la falta de confianza interorganizacional o la incertidumbre sobre los costos y beneficios compartidos, reduce significativamente la intención de adopción de tecnologías solares fotovoltaicas en esquemas de colaboración simbiótica.
- H7: *Una actitud favorable hacia las tecnologías solares fotovoltaicas se asocia positivamente con la intención de adopción en contextos de SI*

A partir de la visualización del modelo SEM se pueden extraer conclusiones relevantes respecto al comportamiento de las variables:

En primer lugar, la actitud se destaca como el factor con mayor influencia positiva sobre la intención de adopción. El modelo SEM indica que una actitud favorable hacia la energía solar

incrementa significativamente la intención de adopción, incluso en presencia de ciertos riesgos percibidos. Esto concuerda con la teoría del comportamiento planificado (Ajzen, 1991) y otros estudios de adopción tecnológica, donde la predisposición positiva del usuario promueve decisiones favorables. En este estudio, los consumidores con creencias y expectativas positivas acerca de la tecnología solar mostraron mayor propensión a participar en esquemas de simbiosis industrial. Este hallazgo destaca la importancia de la actitud como variable mediadora, coherente con modelos como el TAM, pues la actitud es influenciada directamente por la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida.

Respecto a la H1, el riesgo de desempeño mostró un coeficiente negativo en el modelo, pero estadísticamente no significativo. Esto indica que, aunque los consumidores reconocen que podrían existir fallos técnicos o limitaciones en el rendimiento de la tecnología solar, estas preocupaciones no son lo suficientemente fuertes como para frenar su intención de adopción. Es probable que la creciente madurez tecnológica del sector fotovoltaico haya reducido la percepción de este tipo de riesgo, al punto de volverlo marginal.

La H2 fue confirmada de forma robusta. El riesgo financiero se posicionó como una de las principales barreras para la adopción: la percepción de elevados costos iniciales, incertidumbre sobre el retorno de la inversión, posibles sobrecostos ocultos e incluso falta de acceso a financiamiento se asocia claramente con una menor intención de implementar soluciones solares. Muchos de los encuestados reportaron que el elevado costo inicial y la incertidumbre sobre el retorno de la inversión generan desconfianza. Este hallazgo destaca el papel inhibitorio de los factores económicos en la implementación de tecnologías sostenibles y enfatiza la necesidad de diseñar esquemas de financiamiento accesible y de comunicar con claridad los beneficios económicos de la tecnología a mediano y largo plazo.

La H3 también recibió respaldo empírico, aunque de manera parcial. El riesgo de tiempo, el cual está asociado a los retrasos en instalación, curva de aprendizaje y tiempo necesario para percibir beneficios, afecta negativamente la intención de adopción, aunque su peso es menor frente al riesgo financiero o psicológico. Aun así, constituye una barrera relevante que puede abordarse mediante estrategias que agilicen la implementación y mejoren el acompañamiento técnico al usuario.

En cuanto a la H4, los resultados fueron contrarios a lo esperado: el riesgo social mostró una relación positiva con la intención de adopción. Esto sugiere que, lejos de actuar como barrera, el contexto social podría estar actuando como un facilitador, ejerciendo una presión positiva o un efecto de validación que motiva a los consumidores a adoptar tecnologías limpias. En comunidades donde las prácticas sostenibles gozan de reconocimiento, la adopción de energía solar se convierte en un símbolo de responsabilidad ambiental. Este hallazgo contrasta con algunas teorías previas de innovación social que enfatizan la influencia de las normas sociales en la adopción (Ajzen, 1991). Una posible explicación es que, en el contexto específico de este estudio, la aprobación social general hacia la sostenibilidad ya es alta, de modo que la presión social no es un impedimento tan relevante. Por lo tanto, esta hipótesis no fue confirmada, pero el hallazgo revela un fenómeno cultural de interés para futuras investigaciones.

La H5 fue confirmada. El riesgo psicológico, el cual engloba miedos al cambio, miedo a cometer errores, ansiedad frente a lo desconocido o falta de confianza en la propia capacidad para gestionar una nueva tecnología, mostró un impacto negativo significativo. Este resultado evidencia que las barreras subjetivas y emocionales pueden tener tanto o más peso que los obstáculos técnicos, y subraya la importancia de las estrategias de sensibilización, educación y acompañamiento, como intervenciones comunicativas que reduzcan la incertidumbre, refuercen

la autoconfianza del consumidor y promuevan experiencias piloto que disminuyan el temor al fracaso.

Respecto a la H6, se observó que los riesgos específicos de la simbiosis industrial no generaron un impacto relevante en el modelo. Teóricamente se esperaba cierta influencia (p.ej., temor a dependencias interempresariales), pero el resultado sugiere que dichos riesgos no han sido aún un obstáculo claro en la muestra estudiada. Esto puede deberse a que, al ser un enfoque relativamente novedoso en el contexto colombiano, conceptos como la simbiosis industrial aún no están interiorizados en la cultura organizacional ni en la percepción del consumidor. Su bajo impacto puede reflejar desconocimiento, indiferencia o falta de incentivos claros para considerar estos factores en la toma de decisiones. Sin embargo, su dirección negativa sugiere que, a medida que se generalice el modelo de colaboración simbiótica, esta categoría de riesgo podría volverse más relevante y requerirá monitoreo continuo en futuras investigaciones. En este sentido, se evidencia una oportunidad de mejora en cuanto a la difusión, regulación y soporte técnico de estas prácticas. Esta dimensión mostró menos efecto del anticipado, señalando la necesidad de evaluarla con futuras muestras o métodos cualitativos.

Finalmente, frente a la H7, los resultados obtenidos aportan evidencia empírica sobre la importancia de los factores psicológicos y perceptuales en la adopción de tecnologías sostenibles. Al fomentar actitudes positivas no solo es lo deseado, sino de vital importancia para acelerar la transición energética y el desarrollo sostenibles.

En conclusión, esta investigación muestra que la intención de adoptar tecnologías solares dentro de esquemas de simbiosis industrial está influenciada tanto por factores racionales (riesgo financiero, tiempo) como emocionales (riesgo psicológico y social), aunque estos últimos no siempre actúan como barreras. De hecho, el riesgo social mostró un comportamiento atípico al

relacionarse positivamente con la intención de adopción, lo cual sugiere que, en ciertos contextos, las presiones sociales pueden convertirse en impulsores. La actitud positiva del consumidor es, además, un motor determinante en el proceso. La adopción efectiva dependerá de la capacidad del ecosistema institucional y empresarial para abordar estos riesgos, reinterpretarlos cuando sea el caso, y potenciar los motivadores. Comprender estas dinámicas es esencial para avanzar hacia modelos energéticos más sostenibles, colaborativos y resilientes.

En conjunto, los resultados evidencian que los riesgos percibidos no afectan de manera uniforme la intención de adopción. La percepción del riesgo financiero, psicológico y de tiempo influyen negativamente en la adopción. El riesgo social influye positivamente, incluso podría actuar como un catalizador. Los riesgos de desempeño y específicos de la simbiosis industrial no representan gran impacto. Esto sugiere que los consumidores perciben la transición energética como una decisión de alto riesgo, lo cual puede frenar su intención de participar en esquemas de simbiosis industrial. Estos hallazgos ofrecen una base sólida para el diseño de estrategias diferenciadas que aborden las preocupaciones específicas de los consumidores y fomenten la transición hacia modelos energéticos sostenibles en esquemas de simbiosis industrial.

Contribución al campo de la sostenibilidad energética: Este estudio aporta evidencia sobre cómo los factores emocionales (psicológicos y sociales) influyen en la adopción de tecnologías limpias, especialmente en contextos emergentes como el Valle del Cauca. Además, refuerza la importancia de considerar los marcos de simbiosis industrial como entornos complejos donde la percepción de riesgo puede ser un factor determinante en la toma de decisiones.

Limitaciones del modelo: Si bien el modelo SEM permitió validar las relaciones propuestas, lo cual era el objetivo de esta investigación, los indicadores de ajuste global

(RMSEA = 0.105, CFI = 0.781, TLI = 0.755, SRMR = 0.233) indican que el modelo presenta limitaciones en su capacidad para representar adecuadamente los datos observados. Esto sugiere la necesidad de revisar la especificación del modelo, incorporar variables adicionales o explorar estructuras alternativas que mejoren su ajuste.

Los resultados indican que la transición hacia fuentes de energía más sostenibles no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica o económica, sino también de la gestión efectiva de las percepciones de riesgo por parte de los consumidores. Futuros estudios podrían ampliar esta línea de investigación incorporando variables moderadoras como la confianza institucional, la experiencia previa con tecnologías limpias o el nivel de alfabetización energética.

Referencias

Bahrami, S., Zaim, S., & Günay, A. (2024). Understanding perceived risks in renewable energy adoption: A structural equation modeling approach. *Renewable Energy*, 225, 136–148.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.01.012>

Cagno, E., Negri, M., Neri, A., & Giambone, M. (2024). A multi-tier framework for industrial symbiosis assessment in circular economy transitions. *Journal of Cleaner Production*, 429,

139563. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.139563>

Chertow, M., Park, H., & Yun, S. (2025). Industrial symbiosis networks: Evolution, resilience, and climate imperatives. *Resources, Conservation and Recycling*, 195, 106748.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.106748>

Escandón-Barbosa, D., & Salas-Páramo, J. (2024). Risk perception and technology adoption in industrial symbiosis: A regional study. *Sustainability*, 16(2), 882.

<https://doi.org/10.3390/su16020882>

IRENA. (2024). *End-of-life management of solar PV panels: Circular pathways for a sustainable energy transition*. International Renewable Energy Agency.

<https://www.irena.org/publications/2024>

Kalundborg Symbiosis. (2024). *Annual report: Circular industrial networks in practice*.

<https://www.symbiosis.dk>

Liu, Z., Huang, Y., & Ashton, W. (2025). Reuse and recycling opportunities in solar panel end-of-life systems: A symbiotic approach. *Journal of Environmental Management*, 336, 118904.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.118904>

OCDE. (2022). *Global Material Resources Outlook to 2060*. OECD Publishing.

<https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>

Ramasamy, V., & Zhang, L. (2025). The economic potential of industrial symbiosis: Evidence from clean technology clusters. *Ecological Economics*, 215, 108948.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2025.108948>

Wang, J., Zhang, L., & Ramasamy, V. (2024). Industrial symbiosis in practice: A review of global implementations and future directions. *Sustainable Production and Consumption*, 38, 256–268. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.011>

Cagno, E., Negri, M., Neri, A., & Giambone, M. (2023). One framework to rule them all: An integrated, multi-level and scalable performance measurement framework of sustainability, circular economy and industrial symbiosis. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.016>

Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>

Ellen MacArthur Foundation. (2020). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>

Erkman, S. (1997). Industrial ecology: An historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1–2), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00003-6)

Hirunyawipada, T., & Paswan, A. K. (2006). Consumer innovativeness and perceived risk: Implications for high technology product adoption. *Journal of Consumer Marketing*, 23(4), 182–198. <https://doi.org/10.1108/07363760610674310>

Liu, Z., Ashton, W. S., Adams, M., Wang, Q., Cote, R. P., Walker, T. R., ... & Lowitt, P. (2022). Diversity in financing and implementation pathways for industrial symbiosis across the globe.

Environment, Development and Sustainability, 25(1), 960–978. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02086-5>

Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012). Industrial symbiosis in action: The case of the UK's National Industrial Symbiosis Programme (NISP). *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 703–712. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.003>

Massari, S., & Giannoccaro, I. (2022). Managing systemic risks in industrial symbiosis: A multi-level approach. *Sustainability*, 14(4), 2301. <https://doi.org/10.3390/su14042301>

Mathur, R., Pillai, R., & Upadhyay, R. (2020). Towards a circular economy in the solar photovoltaic sector: Opportunities and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123447. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123447>

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. (2020). A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). New York: Free Press.

Tanveer, M., Grigoriadis, E., Sadiq, M. W., & Shahbaz, M. (2021). Impact of consumers' perceived risk and perceived cost on photovoltaic technology acceptance in Pakistan. *Energy Reports*, 7, 1372–1385. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.044>

Tornatzky, L. G., & Fleischer, M. (1990). *The processes of technological innovation*. Lexington Books.

Tüzün, M., Ceylan, R. F., & Gungor, A. (2024). Drivers and barriers of solar photovoltaic adoption in industrial zones: Evidence from developing countries. *Renewable Energy*, 215, 118434. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118434>

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478.

<https://doi.org/10.2307/30036540>

Bahrami, S., Zaim, S., & Günay, A. (2021). Understanding the adoption of solar energy: A case study from Turkey using SEM. *Renewable Energy*, 178, 523–536.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.102>

Escandón-Barbosa, D., & Salas-Páramo, J. (2021). The moderating effect of geographic location on the risk perception in the industrial symbiosis. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(8), 1345–1353. <https://doi.org/10.30638/eemj.2021.121>

Fu, X., Fang, Y., & Jin, S. (2024). Technology adoption under uncertainty: Evidence from low-carbon innovations in industrial firms. *Technological Forecasting and Social Change*, 196, 122099. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122099>

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C., & Sarstedt, M. (2019). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). Sage Publications.

Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). The Guilford Press.

Madrigal-Moreno, J., Torres-Contreras, C. A., & Escandón-Barbosa, D. M. (2019).

Determinantes de la intención de uso de tecnología: un modelo integrado en el contexto colombiano. *Revista ESPACIOS*, 40(2), 1–8.

<https://www.revistaespacios.com/a19v40n02/19400201.html>

Schumacker, R. E., & Lomax, R. G. (2010). *A beginner's guide to structural equation modeling* (3rd ed.). Routledge.

Sweeney, J. C., Soutar, G. N., & Johnson, L. W. (1999). The role of perceived risk in the quality-value relationship: A study in a retail environment. *Journal of Retailing*, 75(1), 77–105.

[https://doi.org/10.1016/S0022-4359\(99\)80005-0](https://doi.org/10.1016/S0022-4359(99)80005-0)

Tanveer, M., Anjum, N., & Tariq, S. (2021). Analyzing renewable energy technology adoption in emerging economies: Extending UTAUT with perceived environmental risk. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101113. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101113>

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.

Leiva, H., Mainar-Toledo, M. D., González García, I., Martínez-Hernández, D., Galindo, F., & Cubero, A. (2025). Sustainable Potassium Nitrate Production Through Industrial Symbiosis Approach. *Sustainability*, 17(9), 3866.

Ali, M. U. (2025). Leveraging industry 4.0 technologies and industrial symbiosis: Advancing circular economy practices in BRICS economies. *Journal of Environmental Management*, 383, 125471.

Landázuri, A. C., Chimbo, L., Velasco, F., Tapia, D., Lagos, A. S., Gualle, A., ... & Álvarez, J. M. (2025). Miracle Fruit berry: Hedonic pleasure meets technological progress. *Journal of Berry Research*, 15(1), 26-47.

Feng, M., Liu, G., Yue, Q., & Wang, H. Energy Saving and Carbon Reduction in Steel Production: Synergy and Optimization Based on Long and Short Processes. *steel research international*, 2400924.

Alosi, A., Katana, K., Annunziata, E., Mirata, M., Rizzi, F., & Frey, M. (2025). Management of paradoxical tensions in industrial symbiosis: An exploration at the inter-organizational level.

Journal of Industrial Ecology.

Anexo 1. Cuestionario.

Encuesta: Riesgos Percibidos en la Adopción de Servicios de Energía Solar Fotovoltaica en Simbiosis Industrial

Estamos realizando una encuesta para entender mejor qué piensan las personas sobre los riesgos de usar servicios de energía solar fotovoltaica en un modelo colaborativo de simbiosis industrial. Tus respuestas nos ayudarán a descubrir cuáles son las principales barreras y cómo podemos facilitar la adopción de soluciones energéticas sostenibles. ¡Tu opinión es muy importante para nosotros!

Sección 7: Información Demográfica (Opcional)

1. Edad:
2. Nivel Educativo:
3. Genero:
4. Consume energía solar:
5. Hace cuanto:
6. Ubicación:
7. Tipo de Residencia:

Instrucciones:

Indique su nivel de acuerdo con las siguientes afirmaciones respecto a la adopción de sistemas de energía solar fotovoltaica en su hogar. Use una escala de 1 (Totalmente en desacuerdo) a 7 (Totalmente de acuerdo), de la siguiente manera:

- 1: Totalmente en desacuerdo
- 2: En desacuerdo
- 3: Ligeramente en desacuerdo

4: Ni de acuerdo ni en desacuerdo (neutral)

5: Ligeramente de acuerdo

6: De acuerdo

7: Totalmente de acuerdo

Sección 1: Riesgos de Tiempo

1. Me preocupa el tiempo que tomará instalar e implementar los sistemas de energía solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
2. Me inquieta la vida útil y la durabilidad de la tecnología solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]Me preocupa el potencial retraso en el retorno de la inversión de la energía solar. [1 2 3 4 5 6 7]
3. No estoy seguro(a) acerca de los requisitos de mantenimiento a largo plazo de los sistemas de energía solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
4. Aprender a usar esta tecnología podría tomar mucho tiempo. [1 2 3 4 5 6 7]
5. Me preocupa perder tiempo si la tecnología no cumple con mis expectativas. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 2: Riesgos Financieros

1. Me preocupa el costo inicial de invertir en energía solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
2. Me inquieta la posibilidad de gastos inesperados relacionados con la adopción de la energía solar. [1 2 3 4 5 6 7]
3. Me preocupa la disponibilidad y confiabilidad de las opciones de financiación para los sistemas de energía solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
4. No estoy seguro(a) acerca de los beneficios económicos de participar en un modelo de simbiosis industrial para la energía solar. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 3: Riesgos Sociales

1. Me preocupa el impacto estético de los paneles solares fotovoltaicos en mi propiedad/comunidad. [1 2 3 4 5 6 7]
2. Me inquieta el potencial de percepciones sociales negativas sobre la adopción de energía solar. [1 2 3 4 5 6 7]
3. Me preocupa la falta de conciencia y aceptación comunitaria de la tecnología solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
4. No estoy seguro(a) acerca de las implicaciones de equidad social de la distribución y el acceso a la energía solar. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 4: Riesgos Psicológicos

1. Siento ansiedad acerca de la complejidad de la tecnología solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
2. Dudo en adoptar la energía solar debido a la falta de confianza en la tecnología. [1 2 3 4 5 6 7]
3. Me preocupa la posibilidad de sentirme abrumado(a) por el proceso de toma de decisiones para la adopción de energía solar. [1 2 3 4 5 6 7]
4. Me inquieta tomar la decisión equivocada con respecto a la energía solar y arrepentirme después. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 5: Riesgos Tecnológicos o De Desempeño

1. Me preocupa la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de energía solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
2. Me inquieta la posibilidad de problemas técnicos o fallos de funcionamiento con la tecnología de energía solar. [1 2 3 4 5 6 7]

3. Me preocupa el impacto de las condiciones climáticas en el rendimiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica. [1 2 3 4 5 6 7]
4. No estoy seguro(a) acerca de la compatibilidad tecnológica de los sistemas de energía solar con la infraestructura existente. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 6: Riesgos Específicos de la Simbiosis Industrial

1. Me preocupa la confiabilidad de otros participantes en la red de simbiosis industrial. [1 2 3 4 5 6 7]
2. Me inquietan los posibles conflictos o desacuerdos con otros participantes en la red. [1 2 3 4 5 6 7]
3. Me preocupa la distribución equitativa de los costos y beneficios dentro de la red de simbiosis industrial. [1 2 3 4 5 6 7]
4. No estoy seguro(a) acerca de la estabilidad y viabilidad a largo plazo de la asociación de simbiosis industrial. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 7: Percepción de utilidad

1. Creo que esta tecnología mejoraría la eficiencia energética de mi hogar. [1 2 3 4 5 6 7]
2. El uso de esta tecnología me ayudaría a ahorrar dinero a largo plazo. [1 2 3 4 5 6 7]
3. Considero que esta tecnología es beneficiosa para el medio ambiente. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 8: Actitud

4. En general, tengo una opinión positiva sobre el uso de esta tecnología. [1 2 3 4 5 6 7]
5. Me sentiría satisfecho si instalo esta tecnología en mi hogar. [1 2 3 4 5 6 7]
6. Usar energía solar es una buena idea. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 9: Condiciones facilitadoras

7. Tengo acceso a información confiable sobre esta tecnología. [1 2 3 4 5 6 7]

- 8. Puedo acceder a financiamiento o subsidios para instalarla. [1 2 3 4 5 6 7]
- 9. Conozco proveedores confiables que ofrecen esta tecnología en mi región. [1 2 3 4 5 6 7]

Sección 10: Intención de adopción

- 10. Estoy dispuesto a instalar un sistema solar fotovoltaico en el futuro próximo. [1 2 3 4 5 6 7]
- 11. Probablemente adoptaría esta tecnología en el próximo año. [1 2 3 4 5 6 7]
- 12. Planeo informarme más para tomar una decisión sobre su instalación. [1 2 3 4 5 6 7]

Fuente: Elaboración propia con base en Sweeney et al. (1999), Davis (1989), Ajzen (1991), Tanveer et al. (2021), y Escandón-Barbosa & Salas-Páramo (2021).

Anexo 2. Descripción de variables

Riesgo	Indicador	Sigla en el modelo
Tiempo	Riesgos de tiempo. Me preocupa el tiempo que tomará instalar e implementar un sistema de energía solar fotovoltaica ²	P1.1
	Riesgos de tiempo. Me inquieta la vida útil y la durabilidad de la tecnología solar fotovoltaica ³	P1.2
	Riesgos de tiempo. Me preocupa el potencial retraso en el retorno de la inversión en un proyecto de energía solar fotovoltaica	P1.3
	Riesgos de tiempo. No estoy seguro(a) de los requisitos de mantenimiento a largo plazo de los sistemas de energía solar fotovoltaica ⁵	P1.4
	Riesgos de tiempo. Aprender a usar esta tecnología podría tomar mucho tiempo ⁶	P1.5
	Riesgos de tiempo. Me preocupa perder tiempo si la tecnología no cumple con mis expectativas ⁷	P1.6
Financieros	Riesgos Financieros. Me preocupa el costo inicial de invertir en energía solar fotovoltaica ⁸	P2.1
	Riesgos Financieros. Me inquieta la posibilidad de gastos inesperados relacionados con la adopción de la energía solar ⁹	P2.2

	Riesgos Financieros. Me preocupa la disponibilidad y confiabilidad de las opciones de financiación para los sistemas de energía solar fotovoltaica	P2.3
	Riesgos Financieros. No estoy seguro(a) acerca de los beneficios económicos de participar en un modelo de simbiosis industrial para la energía solar ¹¹	P2.4
Sociales	Riesgos Sociales. Me preocupa el impacto estético de los paneles solares en mi propiedad/comunidad ¹²	P3.1
	Riesgos Sociales. Me inquieta el potencial de percepciones sociales negativas sobre la adopción de energía solar ¹³	P3.2
	Riesgos Sociales. Me preocupa la falta de conciencia y aceptación comunitaria de la tecnología solar fotovoltaica ¹⁴	P3.3
	Riesgos Sociales. No estoy seguro acerca de las implicaciones de equidad social de la distribución y el acceso a la energía solar ¹⁵	P3.4
Psicológicos	Riesgos Psicológicos. Siento ansiedad acerca de la complejidad de la tecnología solar fotovoltaica ¹⁶	P4.1
	Riesgos Psicológicos. Dudo en adoptar la energía solar debido a la falta de confianza en la tecnología ¹⁷	P4.2
	Riesgos Psicológicos. Me preocupa la posibilidad de sentirme abrumado(a) por el proceso de toma de decisiones para la adopción de energía solar ¹⁸	P4.3
	Riesgos Psicológicos. Me inquieta tomar la decisión equivocada con respecto a la energía solar y arrepentirme después ¹⁹	P4.4

De Desempeño	Riesgos tecnológicos o de desempeño. Me preocupa la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de energía solar fotovoltaica ²⁰	P5.1
	Riesgos tecnológicos o de desempeño. Me inquieta la posibilidad de problemas técnicos o fallos de funcionamiento con la tecnología solar ²¹	P5.2
	Riesgos tecnológicos o de desempeño. Me preocupa el impacto de las condiciones climáticas en el rendimiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica ²²	P5.3
	Riesgos tecnológicos o de desempeño. No estoy seguro(a) acerca de la compatibilidad tecnológica de los sistemas de energía solar con la infraestructura existente ²³	P5.4
Específicos a la Simbiosis Industrial	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. Me preocupa la confiabilidad de otros participantes en la red de simbiosis industrial ²⁴	P6.1
	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. Me inquietan los posibles conflictos o desacuerdos con otros participantes en la red ²⁵	P6.2
	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. Me preocupa la distribución equitativa de los costos y beneficios dentro de la red de simbiosis industrial ²⁶	P6.3
	Riesgos específicos de la simbiosis industrial. No estoy seguro(a) acerca de la estabilidad y viabilidad a largo plazo de la asociación de simbiosis industrial ²⁷	P6.4

Precepción de utilidad	Percepción de utilidad. Creo que esta tecnología mejoraría la eficiencia energética de mi hogar ²⁸	P7.1
	Percepción de utilidad. El uso de esta tecnología me ayudaría a ahorrar dinero a largo plazo ²⁹	P7.2
	Percepción de utilidad. Considero que esta tecnología es beneficiosa para el medio ambiente ³⁰	P7.3
Actitud	Actitud. En general tengo una opinión positiva sobre el uso de esta tecnología ³¹	P8.1
	Actitud. Me sentiría satisfecho(a) si instalo esta tecnología en mi hogar ³²	P8.2
	Actitud. Usar energía solar es una buena idea ³³	P8.3
Condiciones facilitadoras	Condiciones facilitadoras. Tengo acceso a información confiable sobre esta tecnología ³⁴	P9.1
	Condiciones facilitadoras. Puedo acceder a financiamiento o subsidios para instalarla ³⁵	P9.2
	Condiciones facilitadoras. Conozco proveedores confiables que ofrecen esta tecnología en mi región ³⁶	P9.3
Intención de adopción	Intención de adopción. Estoy dispuesto(a) a instalar un sistema solar fotovoltaico en el futuro próximo ³⁷	P10.1
	Intención de adopción. Probablemente adoptaría esta tecnología en el próximo año ³⁸	P10.2
	Intención de adopción. Planeo informarme más para tomar una decisión sobre la instalación ³⁹	P10.3

