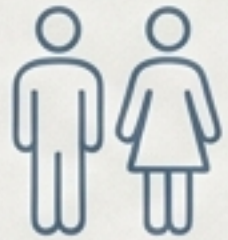


# El Plano Humano de la Ingeniería

Mapeando el Impacto Social con la  
Evaluación del Ciclo de Vida Social (ACVS)





# La ingeniería ha evolucionado más allá de la eficiencia técnica y el costo.

El rol del ingeniero ha experimentado un cambio significativo. Tradicionalmente impulsada por la innovación tecnológica y la optimización de procesos, la profesión ahora exige una consideración más amplia de la sostenibilidad.

- **Mandato Ético:** Los organismos profesionales globales ahora requieren que los ingenieros integren la sostenibilidad en el núcleo de sus prácticas.
  - **ASME (American Society of Mechanical Engineers):** Exige considerar el impacto ambiental y el desarrollo sostenible.
  - **UK-SPEC (UK Standard for Professional Engineering Competence):** Requiere que el trabajo de los ingenieros contribuya al desarrollo sostenible.
- **El Tercer Pilar:** Junto con los impactos ambientales y económicos, los impactos sociales se han convertido en una consideración no negociable para el desarrollo responsable de proyectos.





# La Evaluación del Ciclo de Vida Social (ACVS) es la herramienta para medir el impacto humano.

Desarrollada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC), la ACVS es una metodología para evaluar los impactos sociales y socioeconómicos de productos y procesos a lo largo de todo su ciclo de vida.

- **Enfoque:** A diferencia del ACV tradicional que se centra en los impactos ambientales, la ACVS se enfoca en las dimensiones sociales como: Derechos humanos, Condiciones laborales, Salud y seguridad, Patrimonio cultural, Impactos socioeconómicos.
- **Objetivo:** Facilitar la toma de decisiones informada para garantizar que los proyectos de ingeniería contribuyan positivamente a la sociedad.

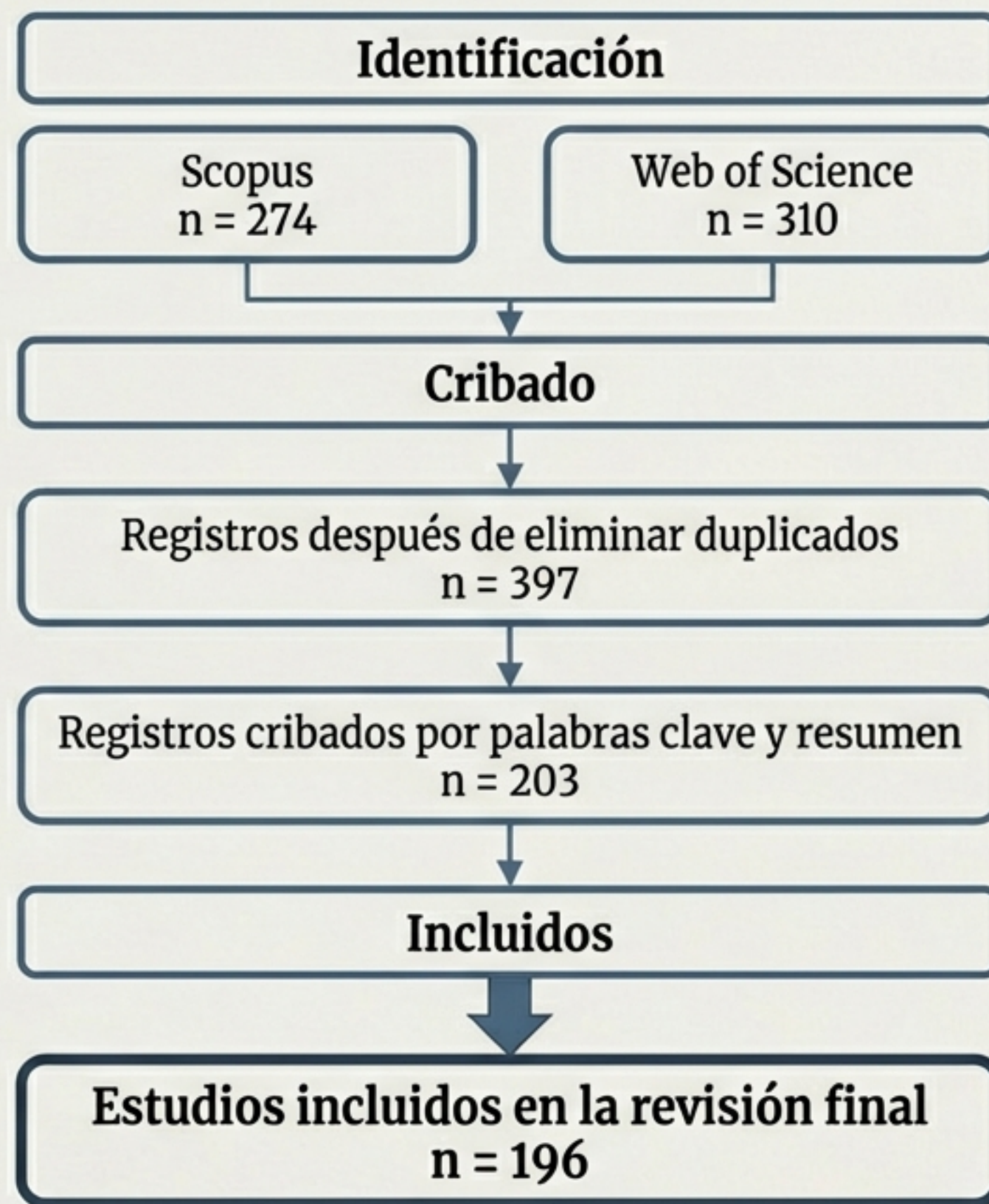




## Nuestro análisis se basa en una revisión sistemática de 196 estudios de ingeniería.

Para comprender el estado actual de la ACVS en la ingeniería, se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo el protocolo PRISMA.

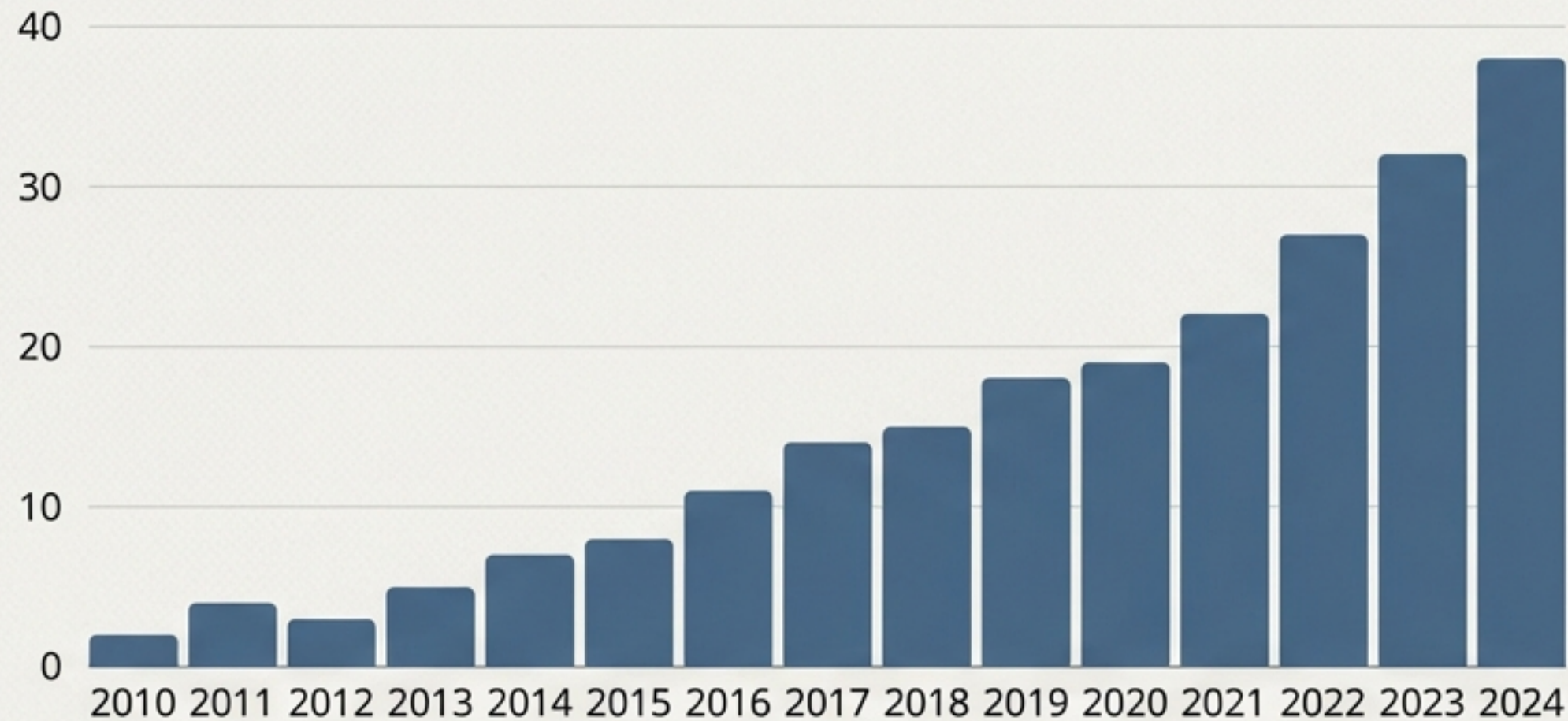
- **Alcance:** 196 estudios revisados por pares publicados entre 2010 y 2024.
- **Fuentes:** Búsqueda exhaustiva en las bases de datos Scopus y Web of Science.
- **Enfoque:** Artículos que aplican la ACVS a proyectos o productos de ingeniería.





# El interés académico e industrial en la ACVS está creciendo de manera constante.

El número de publicaciones sobre ACVS en ingeniería ha mostrado una tendencia ascendente continua durante la última década, lo que refleja un mayor compromiso para integrar las dimensiones sociales en las evaluaciones del ciclo de vida.



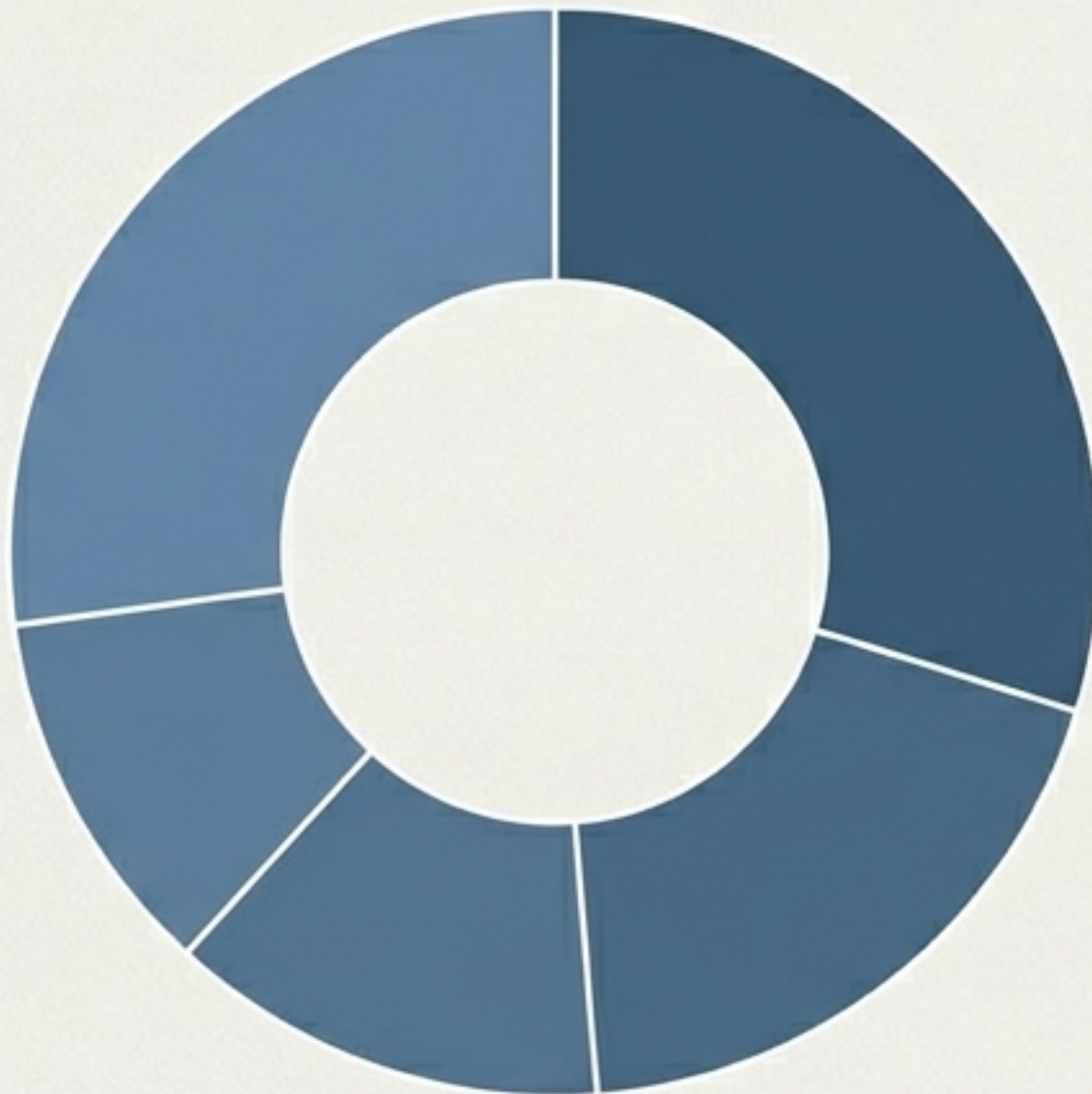
## Principales Fuentes de Publicación

- *International Journal of Life Cycle Assessment* (58 estudios)
- *Journal of Cleaner Production* (32 estudios)



# Los sectores de energía y manufactura lideran la aplicación de la ACVS.

El análisis de 196 artículos revela una concentración de la investigación en ACVS en áreas de ingeniería con impactos sociales significativos.



- **Energía:** 30% (Generación eléctrica, biocombustibles, baterías)
- **Ingeniería Mecánica:** 19% (Manufactura, automotriz, aeroespacial)
- **Ingeniería Civil:** 13% (Edificios, pavimentos, infraestructura)
- **Ingeniería Química:** 11% (Producción de productos químicos)
- **Otras áreas:** 27% (Materiales, minería, cadena de suministro, etc.)



# La metodología de la ACVS se centra en las personas: los grupos de interés.

Siguiendo el marco de la ISO 14040, la ACVS evalúa los impactos en grupos de interés clave a lo largo del ciclo de vida de un producto. Las directrices del PNUMA/SETAC sugieren seis categorías principales de grupos de interés.





# Las condiciones de los trabajadores y el impacto en la comunidad son las principales preocupaciones sociales en todas las disciplinas.

El análisis de las subcategorías de impacto revela un fuerte enfoque en los trabajadores y las comunidades locales, aunque cada campo de la ingeniería tiene sus propias prioridades sociales únicas.

## Preocupaciones Dominantes (En todos los sectores)



### Trabajadores

- **Salud y Seguridad** (mencionado en **112** estudios)
- **Salario Justo** (mencionado en **92** estudios)
- Trabajo Forzoso/Infantil



### Comunidad Local

- Empleo Local (mencionado en **82** estudios)
- Condiciones de Vida Seguras y Saludables (mencionado en **65** estudios)

## Ejemplos Específicos del Sector



### Energía

Preocupaciones únicas como Seguridad Energética y Agotamiento de los combustibles fósiles.



### Ingeniería Mecánica

Énfasis en Formación y Educación de los Trabajadores y Calidad del Producto/Servicios.



### Ingeniería Civil

Fuerte enfoque en Calidad de los Productos y Servicios y Acceso a Recursos Materiales.



## El mayor obstáculo de la ACVS es la disponibilidad y calidad de los datos sociales.

A diferencia de los datos ambientales o económicos, los datos sociales a menudo son cualitativos, difíciles de cuantificar y no están disponibles sistemáticamente.

- **El Reto de la Especificidad:** Los datos a menudo se recopilan a nivel organizacional o sectorial, lo que dificulta vincular directamente los impactos sociales con un producto específico o una unidad funcional (UF).
- **Cadenas de Suministro Opacas:** La complejidad de las cadenas de suministro globales dificulta la obtención de datos fiables y específicos del sitio.
- **Brecha de Datos:** Existe una notable falta de bases de datos numéricas, lo que obliga a depender de interpretaciones subjetivas y datos genéricos.





# Se han desarrollado bases de datos especializadas para abordar la escasez de datos.

Para ayudar a los profesionales a navegar por la complejidad de los datos sociales, se han creado dos bases de datos principales que proporcionan información a nivel de sector y país.



## Social Hotspots Database (SHDB)

- **Función:** Identifica riesgos sociales potenciales o "puntos críticos" en las cadenas de suministro globales.
- **Uso:** Ayuda a priorizar la recopilación de datos específicos del sitio en áreas de alto riesgo. Utiliza un modelo de insumo-producto para mapear 6,441 procesos en 113 regiones.



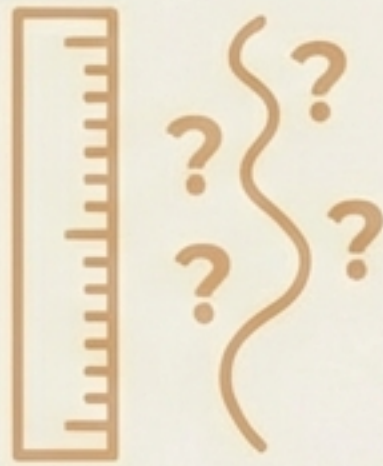
## Product Social Impact Life Cycle Assessment (PSILCA)

- **Función:** Proporciona datos de impacto social a nivel de sector y país específico (CSS).
- **Uso:** Cubre 189 países y ~15,000 sectores, proporcionando datos sobre riesgos y oportunidades sociales cuantificados utilizando horas de trabajo como variable de actividad.



# Tres desafíos principales impiden la adopción generalizada de la ACVS.

A pesar de su creciente relevancia, la implementación efectiva de la ACVS en la ingeniería se enfrenta a importantes obstáculos metodológicos, de datos y de integración.



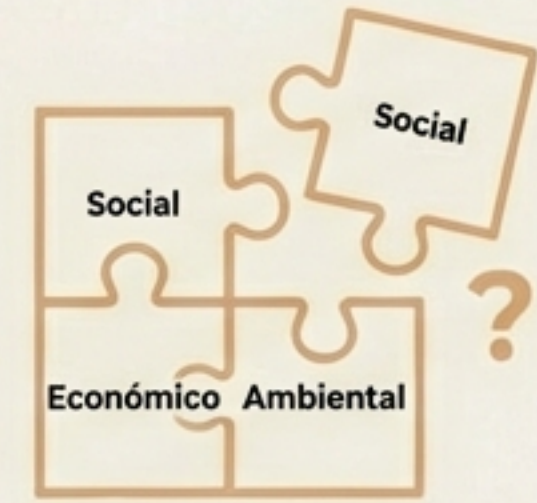
## 1. Estandarización Metodológica

- Falta de un marco universalmente aceptado.
- Ausencia de modelos de caracterización de impacto causal.
- Selección y ponderación subjetiva de indicadores.



## 2. Disponibilidad y Calidad de Datos

- Escasez de datos sociales sistemáticos y cuantificables.
- Dificultad para obtener datos específicos del sitio y del producto.
- Los datos a menudo están desactualizados, incompletos o sesgados.



## 3. Integración en la Toma de Decisiones

- Complejidad percibida y subjetividad de los resultados.
- Falta de orientación clara sobre cómo equilibrar los factores sociales, ambientales y económicos.
- La participación de los grupos de interés puede ser compleja y requiere muchos recursos.



# La integración de la ACVS con las evaluaciones ambientales (ACV) y económicas (CCV) sigue siendo un reto complejo.

Lograr una evaluación de sostenibilidad holística requiere combinar métricas fundamentalmente diferentes, lo que presenta desafíos significativos.



## Soluciones Emergentes

Se utilizan técnicas de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) como AHP, PROMETHEE y lógica difusa (FELICITA) para ponderar y agregar estos diversos tipos de datos, aunque introducen su propia capa de juicio de valor.



# Un mapa de ruta estructurado para fortalecer la aplicación de la ACVS en ingeniería.

Para superar los desafíos actuales, proponemos un mapa de ruta enfocado en tres pilares de desarrollo. Este plan está diseñado para guiar la evolución de la ACVS hacia una herramienta más robusta, basada en evidencia y accionable.

## Pilar 1: Estandarización de la Metodología



**Acción clave:** Alinear la ACVS con los ODS y desarrollar modelos de caracterización causal.

## Pilar 2: Disponibilidad y Calidad de los Datos



**Acción clave:** Introducir tecnologías de Industria 4.0 para la trazabilidad y utilizar IA para el análisis de datos.

## Pilar 3: Integración con ACV y CCV



**Acción clave:** Vincular los indicadores mediante una ontología unificada e implementar esquemas de datos compartidos.



# Las innovaciones futuras transformarán la ACVS de una evaluación estática a una herramienta de gestión dinámica.

Dos áreas clave de desarrollo prometen mejorar radicalmente la forma en que recopilamos, analizamos e interpretamos los datos sociales.



## 1. Digitalización y Datos en Tiempo Real

- La integración de herramientas de la **Industria 4.0** puede transformar la ACVS en una metodología en tiempo real.
- La recopilación de datos digitales desde el entorno de fabricación permite el monitoreo continuo del desempeño social, especialmente en el contexto de la economía circular.



## 2. Pensamiento Sistémico y Modelado Predictivo

- Herramientas como la **Dinámica de Sistemas (DS)** pueden capturar las complejas interrelaciones entre las variables sociales y de ingeniería.
- El **Modelado Basado en Agentes (ABM)** puede integrar las elecciones individuales para crear evaluaciones sociales más dinámicas y predictivas.



# De la evaluación a la acción: Construyendo una ingeniería socialmente responsable.

La ingeniería tiene un mandato social claro. La ACVS es la herramienta esencial para cumplirlo, pero es un campo en plena maduración. Los desafíos de estandarización, datos e integración son significativos, pero el camino a seguir es claro. El objetivo final no es simplemente generar un puntaje de sostenibilidad. Es utilizar este conocimiento para tomar mejores decisiones de diseño, de adquisición y de políticas.

**\*\* Mensaje Final Clave:** El propósito del ACVS no es solo medir el impacto, sino guiar a la ingeniería hacia la creación de un futuro más justo y sostenible.

**Mensaje Final Clave:** El propósito del ACVS no es solo medir el impacto, sino guiar a la ingeniería hacia la creación de un futuro más justo y sostenible.

