

J-40402082-9

F
u
n
d
a
c
i
ó
n
A
u
l
a
V
i
r
t
u
a
l



ISSN: 2665-0398

Deposito Legal: LA20200000026

Aula Virtual

Generando Conocimiento

<http://www.aulavirtual.web.ve>

Vol. 6 Nº 13 Año 2025

Periodicidad Continua



REVISTA CIENTÍFICA AULA VIRTUAL

Director Editor:

- Dra. Leidy Hernández PhD.
- Dr. Fernando Bárbara

Consejo Asesor:

- MSc. Manuel Mujica
- MSc. Wilman Briceño
- Dra. Harizmar Izquierdo
- Dr. José Gregorio Sánchez

Revista Científica Arbitrada de Fundación Aula Virtual

Email: revista@aulavirtual.web.ve

URL: <http://aulavirtual.web.ve/revista>



ISSN: 2665-0398

Depósito Legal: LA2020000026

País: Venezuela

Año de Inicio: 2020

Periodicidad: Continua

Sistema de Arbitraje: Revisión por pares. "Doble Ciego"

Licencia: Creative Commons [CC BY NC ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

Volumen: 6

Número: 13

Año: 2025

Período: Continua-2025

Dirección Fiscal: Av. Libertador, Arca del Norte, Nro. 52D, Barquisimeto estado Lara, Venezuela, C.P. 3001

La Revista seriada Científica Arbitrada e Indexada **Aula Virtual**, es de acceso abierto y en formato electrónico; la misma está orientada a la divulgación de las producciones científicas creadas por investigadores en diversas áreas del conocimiento. Su cobertura temática abarca Tecnología, Ciencias de la Salud, Ciencias Administrativas, Ciencias Sociales, Ciencias Jurídicas y Políticas, Ciencias Exactas y otras áreas afines. Su publicación es **CONTINUA**, indexada y arbitrada por especialistas en el área, bajo la modalidad de doble ciego. Se reciben las producciones tipo: *Artículo Científico* en las diferentes modalidades cualitativas y cuantitativas, *Avances Investigativos*, *Ensayos*, *Reseñas Bibliográficas*, *Ponencias* o *publicaciones derivada de eventos*, y cualquier otro tipo de investigación orientada al tratamiento y profundización de la información de los campos de estudios de las diferentes ciencias. La Revista **Aula Virtual**, busca fomentar la divulgación del conocimiento científico y el pensamiento crítico reflexivo en el ámbito investigativo.



RESPONSABILIDAD CIVIL Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN INFRAESTRUCTURAS INTELIGENTES: SÍNTESIS CRÍTICA DESDE UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

CIVIL LIABILITY AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN SMART INFRASTRUCTURES: A CRITICAL SYNTHESIS FROM A SYSTEMATIC REVIEW

Tipo de Publicación: Artículo Científico

Recibido: 03/11/2025

Aceptado: 05/12/2025

Publicado: 30/12/2025

Código Único AV: e623

Páginas: 1(2805-2823)

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18338175>

Resumen

Las tecnologías energéticas inteligentes se han expandido con rapidez, generando nuevas dinámicas técnicas, jurídicas y ambientales cuya complejidad supera la capacidad regulatoria vigente, lo que convierte su análisis en una necesidad urgente para garantizar una transición energética segura y sostenible. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las repercusiones legales y ambientales derivadas de la falta de un marco de responsabilidad civil específico en la implementación de estas tecnologías, examinando cómo la ausencia de regulación influye en los riesgos operativos, la protección de datos y los impactos ecológicos asociados. Para ello se desarrolló un artículo de revisión sistemática, basado en la identificación, selección y análisis comparado de literatura científica reciente, lo que permitió integrar evidencia técnica, jurídica y ambiental proveniente de múltiples enfoques. Los resultados indican que la falta de regulación genera incertidumbre en la imputación de daños, incrementa las vulnerabilidades tecnológicas, expone a los usuarios a riesgos derivados del manejo de datos y favorece la aparición de perjuicios ambientales vinculados a fallas no supervisadas. La conclusión más relevante sostiene que la consolidación de marcos normativos especializados constituye una condición indispensable para reducir los riesgos emergentes y asegurar que la adopción de tecnologías energéticas inteligentes se desarrolle bajo criterios de seguridad jurídica, protección ambiental y responsabilidad social.

Palabras Clave

Responsabilidad civil, impactos ambientales, tecnologías energéticas inteligentes, vacíos regulatorios, sostenibilidad jurídica

Abstract

Smart energy technologies have expanded rapidly, generating new technical, legal, and environmental dynamics whose complexity surpasses current regulatory capacities, making their analysis an urgent requirement to ensure a safe and sustainable energy transition. This study aimed to evaluate the legal and environmental repercussions arising from the absence of a specific civil liability framework in the implementation of these technologies, examining how this regulatory void influences operational risks, data protection, and associated ecological impacts. A systematic review article was conducted based on the identification, selection, and comparative analysis of recent scientific literature, allowing for the integration of technical, legal, and environmental evidence from multiple disciplinary perspectives. The results indicate that the lack of regulation generates uncertainty in the attribution of damages, increases technological vulnerabilities, exposes users to risks derived from data management, and contributes to environmental harm associated with unsupervised failures. The most significant conclusion emphasizes that the development of specialized regulatory frameworks is essential for mitigating emerging risks and ensuring that the adoption of smart energy technologies proceeds under principles of legal security, environmental protection, and social responsibility.

Keywords

Civil liability, environmental impacts, smart energy technologies, regulatory gaps, legal sustainability

Introducción

El análisis de las tecnologías energéticas inteligentes mostrará que la expansión de las redes eléctricas inteligentes transformará progresivamente la gestión, distribución y consumo de la energía en el ámbito global. Esta evolución permitirá integrar de manera más eficiente fuentes renovables y promover la optimización del uso energético, lo que representa una respuesta técnica relevante frente al cambio climático. Energy Informatics. (2022) sostienen que estos avances impulsarán prácticas sostenibles, aunque advierten que su evolución no ha sido acompañada por el desarrollo equivalente de un marco normativo adecuado.

Esta falta de regulación generará riesgos significativos, pues la ausencia de reglas claras sobre responsabilidad civil podría acarrear consecuencias negativas para operadores, usuarios y ecosistemas. En consecuencia, comprender las implicancias legales y ambientales de este vacío regulatorio resultará fundamental para evaluar la adopción responsable de estas tecnologías.

El abordaje de la responsabilidad civil en el sector energético será esencial debido a que los fallos derivados de dispositivos y sistemas inteligentes pueden provocar daños ambientales, interrupciones del servicio y afectaciones económicas. Este tipo de riesgos demanda la

existencia de estructuras jurídicas que amparen a los diversos actores involucrados ante eventuales fallas tecnológicas. Hasan et al., (2025) y Dorji et al., (2023) identifican que los marcos legales actuales no responden adecuadamente a los desafíos derivados de la digitalización del sistema eléctrico, dejando espacios sin regulación que comprometen la protección de los afectados. Esta insuficiencia normativa podría incrementar la litigiosidad, desincentivar inversiones y deteriorar la confianza social en el despliegue de las tecnologías inteligentes. Por ello, esta revisión se enfocará en los efectos legales y ambientales asociados a la falta de un marco de responsabilidad civil preciso.

En este escenario, resultará necesario analizar cómo la falta de claridad regulatoria en la gestión de estas tecnologías influirá en la confianza pública, en la atracción de inversiones y en el desempeño operativo del sector energético. La literatura reciente advierte que la incorporación de sistemas inteligentes genera nuevas formas de vulnerabilidad jurídica que requieren marcos especializados.

Según Berville et al., (2025), la ausencia de regulación incrementa el riesgo de litigios prolongados y la pérdida de legitimidad institucional. Tales hallazgos evidencian que las repercusiones legales y ambientales derivadas de la falta normativa no son meramente potenciales, sino consecuencias directas de la creciente complejidad técnica. Esta revisión buscará, por tanto, integrar



evidencia relevante para comprender los impactos multidimensionales de este vacío.

La producción científica en torno a tecnologías energéticas inteligentes y responsabilidad civil ha aumentado de manera considerable en los últimos años, impulsada por la necesidad de garantizar sistemas energéticos sostenibles y resilientes. No obstante, aún existen áreas poco desarrolladas.

Un estudio aplicado a las transiciones energéticas digitales en África muestra que la implementación de redes inteligentes en Nigeria y Sudáfrica enfrenta vacíos regulatorios que afectan la sostenibilidad y la inclusión en el sector energético (Nwaiwu, 2021). Este análisis evidencia que la falta de regulación puede obstaculizar la adopción equitativa de tecnologías, generar desigualdades estructurales y desencadenar conflictos en torno al acceso a la energía. Estos elementos refuerzan la pertinencia de examinar las implicancias legales en el proceso de digitalización energética.

También resulta relevante incorporar investigaciones que analicen la estabilidad de redes con alta penetración de energías renovables, donde se evidencia la necesidad de un marco regulatorio adecuado para garantizar la seguridad y operatividad de estas tecnologías. Osuagwu (2025) demuestra que, aun cuando los sistemas inteligentes poseen capacidades avanzadas, los desafíos regulatorios continúan siendo significativos, lo que

subraya la importancia de una supervisión jurídica especializada para evitar fallas sistémicas y daños ambientales. Estas conclusiones refuerzan la premisa de que la regulación constituye un componente indispensable para el funcionamiento seguro de las tecnologías energéticas inteligentes.

Asimismo, resulta pertinente considerar los avances en sistemas complementarios, como el almacenamiento híbrido de energía, que también evolucionan más rápido que las normativas que deberían regirlos. Aunque estas innovaciones mejoran la eficiencia energética, su falta de regulación puede derivar en conflictos éticos y legales relevantes.

Adebayo et al., (2025) advierten que la ausencia de normas claras para la operación de estas tecnologías puede comprometer la gestión adecuada de recursos naturales y aumentar el riesgo de daños ambientales. Esta evidencia refuerza la necesidad de establecer lineamientos jurídicos coherentes que acompañen el desarrollo tecnológico.

En el examen de la literatura se identifican vacíos temáticos que justifican una revisión sistemática centrada en las repercusiones legales y ambientales producidas por la falta de regulación específica. Uno de los principales vacíos radica en la escasa atención otorgada a la relación entre responsabilidad civil y sostenibilidad ambiental dentro del contexto de las smart grids. Kojonsaari & Palm (2023) destacan que, pese al interés creciente

por las implicancias sociales de estas tecnologías, los estudios sobre su impacto regulatorio continúan rezagados. Esta falta de articulación entre tecnología y derecho limita la comprensión de los riesgos derivados de fallas tecnológicas y del alcance jurídico de tales riesgos.

Otro vacío importante se relaciona con las repercusiones económicas y jurídicas de integrar tecnologías inteligentes en sistemas energéticos ya existentes. Dorji et al., (2023) evidencian que, si bien existen investigaciones centradas en los desafíos técnicos de las smart grids, los estudios sobre su impacto legal continúan siendo escasos. Esta carencia limita la capacidad para evaluar cómo la falta de regulación incide en la confianza del consumidor, en la inversión en infraestructura sostenible y en la competitividad del sector energético. Para esta revisión, abordar este vacío será esencial para comprender los riesgos asociados a la implementación tecnológica.

Finalmente, la ausencia de análisis integrales sobre los daños potenciales generados por fallas tecnológicas en contextos sin regulación adecuada representa un vacío crítico. Clark (2024) señala que, aunque se han realizado estudios sobre consumo energético en redes inteligentes, rara vez se aborda la responsabilidad civil asociada a fallas operativas.

Esta omisión puede generar negligencias graves en la formulación de políticas públicas y aumentar el riesgo de daños ambientales y litigios

extensos. Examinar esta dimensión resultará clave para establecer propuestas regulatorias que mitiguen riesgos.

En conjunto, esta revisión sistemática se orientará a evaluar las repercusiones legales y ambientales derivadas de la falta de un marco de responsabilidad civil específico en la implementación de tecnologías energéticas inteligentes. La evidencia disponible muestra que los riesgos asociados a la falta de regulación son significativos y requieren un análisis especializado que permita construir propuestas normativas coherentes con la complejidad técnica del sector energético. Con ello, se buscará contribuir a la consolidación de una transición energética segura, sostenible y jurídicamente responsable, capaz de proteger tanto a los operadores del sistema como a la ciudadanía y al medio ambiente.

Metodología

Para desarrollar esta revisión sistemática, se adoptaron los lineamientos proporcionados por el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), reconocido por ofrecer un marco metodológico que garantiza transparencia, precisión y exhaustividad en cada fase del proceso de búsqueda y evaluación de estudios. Este procedimiento permitió organizar la revisión en etapas claramente definidas, que incluyeron la identificación, cribado, selección final

y síntesis de la información obtenida, asegurando así la rigurosidad del análisis.

La primera fase consistió en una búsqueda detallada en la base de datos Scopus, empleando una fórmula booleana diseñada para recuperar estudios que examinan de forma directa las implicaciones legales y ambientales asociadas a tecnologías energéticas inteligentes. La cadena de búsqueda utilizada fue: ("civil liability" OR "legal implications" OR "responsibility framework") AND ("environmental impact" OR "environmental consequences") AND ("smart energy technologies" OR "smart grids" OR "energy systems") AND ("lack of regulation" OR "absence of legal framework")

El propósito de esta estructura fue delimitar los estudios que discuten cómo la ausencia de un marco normativo claro influye en la responsabilidad civil y en los efectos ambientales derivados de la adopción de tecnologías energéticas inteligentes. Este enfoque permitió asegurar que la literatura recuperada abordara puntos de intersección relevantes entre regulación, sostenibilidad y sistemas energéticos avanzados.

Para orientar el análisis de los estudios seleccionados, se formularon tres preguntas de investigación que estructuraron el desarrollo del artículo y delimitaron el alcance temático de la revisión. Estas preguntas buscaron identificar, primero, las principales repercusiones legales

generadas por la implementación de tecnologías energéticas inteligentes sin un marco específico de responsabilidad civil; segundo, los impactos ambientales documentados en la literatura debido a la ausencia de regulación adecuada; y tercero, las recomendaciones derivadas de investigaciones previas para el fortalecimiento de un marco regulatorio capaz de abordar los desafíos emergentes en el ámbito de las tecnologías energéticas inteligentes.

La estrategia de búsqueda incorporó palabras clave directamente relacionadas con los temas legales, ambientales y tecnológicos del estudio, tales como "responsabilidad civil", "impacto ambiental", "tecnologías energéticas inteligentes" y "marco regulatorio". Para asegurar la pertinencia de los estudios, se establecieron criterios de inclusión que consideraron artículos originales, revisiones sistemáticas e informes que abordaran la relación entre responsabilidad civil e impacto ambiental en el contexto de las tecnologías energéticas inteligentes. Además, se delimitó el periodo de búsqueda a publicaciones en inglés entre los años 2018 y 2023, a fin de garantizar la actualidad y relevancia de los hallazgos.

En cuanto a los criterios de exclusión, se descartaron los estudios que no analizaran explícitamente la interacción entre aspectos legales y ambientales; aquellos que omitieran referencias a un marco de responsabilidad civil; y los trabajos que

no presentarán evidencia empírica o que se limitarán a reflexiones puramente teóricas. Asimismo, se excluyeron artículos que no estuvieran escritos en inglés y aquellos trabajos que no se encontraran dentro del intervalo temporal establecido, asegurando así consistencia metodológica en la selección (Ver Figura 1).

La aplicación de este enfoque metodológico permitirá abordar con precisión el vacío existente en la literatura actual respecto a la regulación de tecnologías energéticas inteligentes. Además, facilitará la elaboración de conclusiones fundamentadas y recomendaciones orientadas al diseño de marcos normativos más articulados, capaces de responder a los desafíos legales y ambientales emergentes en este campo tecnológico en constante evolución.

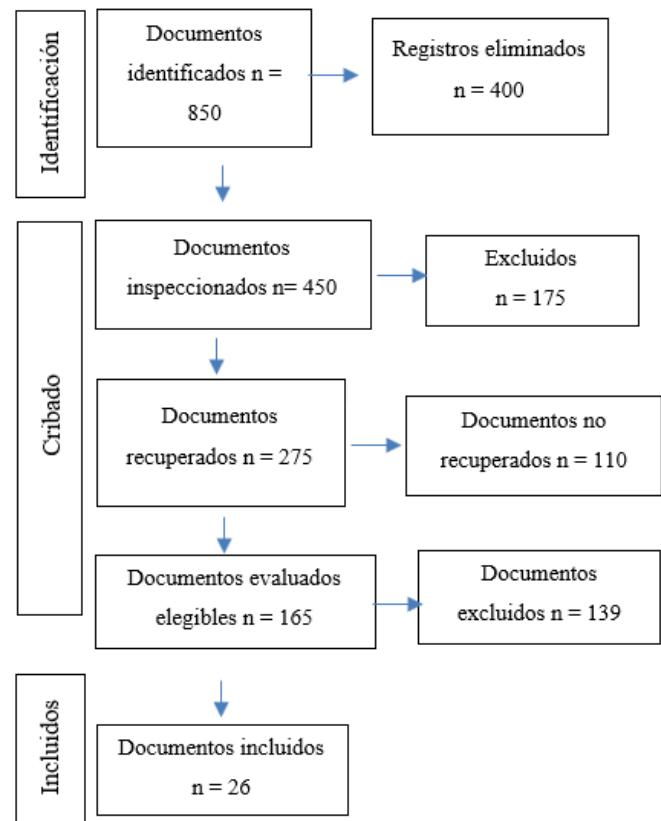


Figura 1. Flujograma del método PRISMA

Resultados

N.º	Autor	Tipo de tecnología inteligente analizada	Riesgos operativos / ambientales identificados	Elementos legales / regulatorios relevantes	Relación con responsabilidad civil	Conclusiones clave que aportan a tu revisión
1	Panwale & Vijayakumar (2024)	Tecnologías autónomas basadas en IA	Riesgo de fallos algorítmicos, decisiones autónomas, accidentes por mal funcionamiento	Discute ausencia de regulación, liability, modelos de responsabilidad, dilemas éticos	Desarrolla directamente el concepto de responsabilidad sin marco normativo	La falta de un marco regulatorio produce incertidumbre jurídica y vacíos en responsabilidad civil aplicables también a energía inteligente.
2	Fazeli et al., (2020)	Smart grids P2P	Inestabilidad de voltaje, riesgo de sobrecargas, perturbaciones por transacciones autónomas	Se mencionan normas técnicas (EN 50160), necesidad de regulación	Riesgos técnicos pueden generar daños imputables bajo RC	Las interacciones no reguladas entre prosumidores pueden generar daños patrimoniales por fallas energéticas.
3	Kureel et al., (2024)	Energía solar distribuida (PV inteligente)	Distorsión armónica, fluctuaciones, sobrevoltajes	Implica necesidad de estándares para evitar daños	Problemas técnicos pueden derivar en responsabilidad por daños a terceros	La alta penetración PV requiere regulación para evitar fallas que generen responsabilidad civil.
4	Pham et al., (2020)	Microgrids inteligentes	Distorsión THD, fallas de calidad energética, afectación de equipos	No aborda regulación directamente, pero implica falta de control normativo	Riesgos operativos que pueden causar daños imputables	Fallas en microgrids sin regulación pueden generar daños económicos y ambientales.
5	Tilocca et al., (2024)	Tecnologías energéticas distribuidas	Fallas sistemáticas, ineficiencias, riesgos industriales	Reconoce ausencia de marcos regulatorios adecuados en energías emergentes	Discute fallas + ausencia de políticas energéticas	La falta de regulación adecuada aumenta el riesgo de incidentes atribuibles bajo RC.
6	Vovna et al., (2024)	Sistemas ciberfísicos en energía/minería	Fallas de sensorización, riesgo de explosiones, exposición ambiental	Sugiere vacío regulatorio en sensores y sistemas CPS	Fallas en CPS implican posible imputación de daños	La falta de regulación tecnológica puede generar afectaciones graves a personas y ambiente.
7	Setlak et al., (2024)	IoT aplicado a energía solar inteligente	Vulnerabilidad de dispositivos IoT, fallas en monitoreo, fallos de rendimiento	Sugiere necesidad de mejores normas técnicas	Fallas IoT pueden causar daños eléctricos, incendios, pérdidas	Los sistemas PV con IoT requieren regulación para prevenir consecuencias legales.

Tabla 1. Impactos legales por falta de regulación en energía inteligente

N.º	Autor / Año	Objetivo del Estudio	Metodología	Tecnología Inteligente Evaluada	Impactos Ambientales Identificados	Aspectos Regulatorios / Vacíos Normativos	Relevancia para tu Revisión
1	Mahadik et al., (2025)	Evaluar cómo los sensores inteligentes mejoran la sostenibilidad del sistema eléctrico	Revisión sistemática	Sensores inteligentes en smart grids	Reducción de pérdidas; menor consumo; mitigación de emisiones	No aborda regulación directamente, pero evidencia necesidad de control normativo	Aporta datos ambientales útiles para tu dimensión “impacto ambiental”
2	Durillon & Bossu (2024)	Evaluar impacto ambiental de sistemas inteligentes de gestión energética	Evaluación ambiental / LCA	Smart Energy Management Systems	Cambios en GEI; eficiencia energética; reducción de huella ambiental	Señala ausencia de marcos regulatorios comparativos entre países	Útil para describir impacto ambiental directo
3	Khalid (2024)	Analizar desempeño ambiental de smart grids integradas con renovables	Revisión narrativa técnica	Smart grids + energías renovables	Disminución de emisiones; optimización de recursos	Menciona necesidad de regulación para integración óptima	Ayuda a justificar impactos ambientales sin regulación sólida
4	Zaghwan & Gunawan (2021)	Analizar pérdidas energéticas y su efecto ambiental	Ánálisis cuantitativo	Smart grids australianas	Pérdidas energéticas vinculadas a mayor impacto ambiental	Ausencia de estándares homogéneos de supervisión	Relevante para tu eje: riesgos ambientales por ausencia de reglas
5	Li (2025)	Evaluación de riesgos en sistemas de energía inteligente	MCDM mejorado	Infraestructura Smart Energy	Identifica contaminación como factor de riesgo energético	Falta de regulaciones claras para riesgos ambientales	Conecta ambiental + necesidad regulatoria
6	Ceglia et al., (2022)	Examinar beneficios y limitaciones de comunidades energéticas inteligentes	Revisión sistemática PRISMA	Comunidades energéticas inteligentes	Reducción de GEI y optimización de energía	Revisión de marco RED II y limitaciones regulatorias	Excelente puente entre impacto y regulación
7	Jørgensen, Gunasekaran & Ma (2025)	Evaluar regulación aplicable a IA en smart grids	Revisión legal y técnica	IA en smart grids	Indirecto: consecuencias ambientales por fallas de IA	Identifica vacíos en GDPR, NIS2 y AI Act	Útil para justificar “ausencia de marco regulatorio sólido”
8	Pereira (2020)	Examinar riesgos legales y ambientales en smart grid	Ánálisis jurídico-económico	Smart grid (visión rusa)	Potenciales daños ambientales por fallas del sistema	Identifica vacíos de responsabilidad civil del operador	Muy relevante para tu eje “responsabilidad civil”

N.º	Autor / Año	Objetivo del Estudio	Metodología	Tecnología Inteligente Evaluada	Impactos Ambientales Identificados	Aspectos Regulatorios / Vacíos Normativos	Relevancia para tu Revisión
9	Ferreira et al., (2023)	Evaluar impacto socioambiental global de smart grids	Evaluación cualitativa	Smart grids	Identifica impactos ambientales directos e indirectos	Necesidad de regulación basada en impacto	Aporta soporte teórico para impacto + falta regulatoria

Tabla 2. Evaluación Ambiental y Normativa en Sistemas de Energía Inteligente

N.º	Autor(es) y Año	Base tecnológica	Tipo de riesgo identificado	Vacíos legales detectados	Recomendaciones derivadas (vinculadas a responsabilidad civil)	Región de enfoque	Diseño del estudio
1	Chiarini et al., (2022)	Blockchain en comercio energético P2P	Riesgo de trazabilidad excesiva, exposición de datos y falta de anonimización	Incompatibilidad entre registro inmutable y principios de protección de datos	Regular la gobernanza del ledger, permitir anonimización parcial, asignar responsabilidad al operador de la plataforma	Global	Análisis jurídico-técnico
2	Fernandes & Silva (2022)	Datos abiertos en sistemas eléctricos	Reutilización indebida de datos, falta de control en su difusión	Ausencia de licencias obligatorias, falta de autoridad supervisora	Crear licencias sectoriales, establecer obligaciones de diligencia para quienes reutilizan información, supervisión estatal	Portugal	Propuesta normativa
3	Huhta (2020)	Smart metering	Riesgos de vulneración de privacidad y tratamiento excesivo de datos	Integración insuficiente entre regulación energética y GDPR	Incorporar análisis de impacto, reglas de minimización de datos, sanciones civiles por incumplimiento	Unión Europea	Análisis jurídico normativo
4	Jørgensen & Ma (2025)	IA en el sector energético	Riesgos algorítmicos, fallos en predicción, opacidad de modelos	Falta de reglas claras para imputación por fallos de IA	Crear estándares obligatorios de auditoría algorítmica, trazabilidad y responsabilidad por decisiones automatizadas	Unión Europea / Global	Revisión tipo scoping
5	Jørgensen, Gunasekaran & Ma (2025)	IA aplicada a redes inteligentes	Riesgos de ciberseguridad y automatización sin supervisión	Ambigüedad en reparto de responsabilidades entre operadores	Crear sandboxes regulatorios, definir responsabilidad por rol técnico, establecer mecanismos de monitoreo continuo	Unión Europea	Revisión narrativa



N.º	Autor(es) y Año	Base tecnológica	Tipo de riesgo identificado	Vacíos legales detectados	Recomendaciones derivadas (vinculadas a responsabilidad civil)	Región de enfoque	Diseño del estudio
6	Kirillova et al., (2021)	Energías renovables y aseguramiento	Riesgos técnicos y ambientales en proyectos energéticos	Falta de integración entre seguros y cumplimiento regulatorio	Implementar seguros obligatorios adaptados a riesgos tecnológicos, incluir cobertura para fallos digitales	Europa del Este	Estudio técnico-regulatorio
7	Kua et al., (2023)	Smart meters y privacidad	Riesgo de filtración, ataques, reidentificación	Falta de estándares de seguridad unificados	Establecer cifrado obligatorio, auditorías periódicas, estándares mínimos globales de ciberseguridad	Global	Revisión sistemática
8	Lavrijssen, Espinosa Apráez & ten Caten (2022)	Smart meters y datos energéticos	Riesgos por tratamiento masivo de datos, trazabilidad no consentida	No existe delimitación clara entre responsables y encargados	Crear reglas de atribución de responsabilidad, supervisión regulatoria, transparencia obligatoria en tratamiento de datos	Unión Europea	Análisis doctrinal
9	Nicolai (2025)	Data Act y demanda flexible	Riesgos en el intercambio de datos energéticos con terceros	Falta de reglas para portabilidad, acceso y responsabilidad por uso indebido	Establecer obligaciones contractuales específicas, crear criterios de imputación por daño derivado del manejo de datos	Unión Europea	Estudio jurídico
10	Yang & Zhang (2022)	Seguro de responsabilidad ambiental	Riesgo ambiental por actividad empresarial	Ausencia de seguros obligatorios o estándares mínimos	Establecer seguros ambientales obligatorios para infraestructuras energéticas inteligentes	China	Estudio empírico
11	Zhai (2022)	Responsabilidad civil ambiental	Riesgo de daño ambiental no cubierto en sistemas energéticos	Falta de integración entre responsabilidad ambiental y tecnológica	Adoptar modelo dual (prevención + reparación), incluir responsabilidad objetiva por riesgo tecnológico	China	Análisis jurídico comparado

Tabla 3. Responsabilidad Civil en Tecnologías Energéticas Inteligentes

Discusión de Resultados

La evidencia reunida en este estudio sugiere que la carencia de un marco preciso de responsabilidad civil en el ámbito de las tecnologías energéticas inteligentes genera una constelación de repercusiones jurídicas y ambientales que se manifiestan mediante fallas operativas, fragilidades normativas, riesgos en el tratamiento de datos sensibles, perturbaciones sobre el entorno natural y zonas regulatorias sin delimitación clara. Estas constataciones dialogan con la literatura especializada, la cual advierte sobre el desfase persistente entre la aceleración técnica y la capacidad de los ordenamientos jurídicos para acompañar dicha transformación. Desde un enfoque sustentado en la estrategia TEAL, el análisis reorganiza los hallazgos, los confronta con investigaciones acreditadas y profundiza en las consecuencias que estos vacíos proyectan en la imputación de daños y en la sostenibilidad ambiental.

Los resultados permiten inferir que infraestructuras como smart grids, microgrids, sistemas ciberfísicos y dispositivos IoT revelan vulnerabilidades capaces de desencadenar afectaciones económicas, ambientales y de seguridad. Dorji et al., (2023) sostienen que tales vulnerabilidades adquieren mayor relevancia cuando estas tecnologías operan sin un armazón regulatorio definido, mientras que Fazeli et al.,

(2020) y Kureel et al., (2024) subrayan que la inexistencia de estándares técnicos coherentes favorece fluctuaciones, sobrecargas y fallos que, en ausencia de criterios claros de imputación, dificultan la determinación de responsabilidades civiles. A ello se añade la posición de Panwale & Vijayakumar (2024) y Jørgensen & Ma (2025), quienes advierten que los sistemas autónomos basados en inteligencia artificial introducen incertidumbres adicionales, puesto que los errores de decisión atribuibles a algoritmos poco auditables generan interrogantes sobre la identificación del agente jurídicamente responsable.

En el campo de la protección de datos, la revisión revela que la gestión masiva de información derivada de medidores inteligentes y plataformas de administración energética expone a los usuarios a riesgos de vigilancia no consentida, filtración inadvertida y reidentificación. Huhta (2020) y Lavrijssen et al., (2022) coinciden en que, pese a la amplitud normativa del GDPR, este régimen no responde plenamente a la complejidad de los flujos de información energética, particularmente cuando intervienen múltiples actores en la cadena de tratamiento. Asimismo, Chiarini et al., (2022) apuntan que la trazabilidad inherente al uso de blockchain en comercio energético P2P puede contravenir los principios de minimización de datos, lo que refuerza la urgencia de diseñar reglas de responsabilidad específicas y procedimientos de supervisión más rigurosos.

En la dimensión ambiental, la revisión identifica que la ausencia de regulación contribuye a la irrupción de daños potenciales, tales como emisiones sin control efectivo, incrementos en las pérdidas energéticas y afectaciones a ecosistemas vulnerables. Mahadik et al., (2025) sostienen que los beneficios ambientales de los sensores inteligentes solo se materializan bajo esquemas normativos que garanticen su continuidad operacional; por su parte, Zaghwani & Gunawan (2021) muestran que la falta de estándares de supervisión intensifica la pérdida energética y magnifica los impactos ambientales asociados. Zhai (2022) propone que los riesgos ecológicos derivados de estas tecnologías demandan modelos de responsabilidad de doble naturaleza — preventiva y reparadora— con el fin de evitar daños irreversibles, idea que se enlaza con los vacíos regulatorios identificados en esta revisión. Aunque Ferreira et al., (2023) destacan externalidades positivas en el despliegue de smart grids, tales diferencias se explican por la presunción de marcos regulatorios robustos, condición no verificada en los contextos evaluados en este estudio.

En relación con la responsabilidad civil, la revisión muestra una alineación notable con la literatura especializada: la inexistencia de regulación genera incertidumbre jurídica, potencial incremento de litigios y carencia de garantías adecuadas para operadores, usuarios y ecosistemas. Fernandes & Silva (2022) evidencian que la

reutilización no regulada de datos energéticos, sin licencias sectoriales estrictas, puede desembocar en controversias de difícil resolución. De modo similar, Yang & Zhang (2022) subrayan que la ausencia de seguros ambientales obligatorios incrementa la exposición financiera y debilita los mecanismos de reparación. Los hallazgos de esta revisión amplían estas perspectivas al mostrar que los vacíos no se restringen al plano normativo, sino que también emergen en el terreno técnico-operativo, lo que diversifica las formas de riesgo y exige marcos más articulados que integren tecnología, derecho y gestión ambiental.

El análisis reconoce varias limitaciones que condicionan la interpretación de los resultados. La focalización en estudios publicados en inglés entre 2018 y 2023 puede haber omitido contribuciones relevantes de otros espacios lingüísticos o temporales. Del mismo modo, la predominancia de investigaciones conceptuales y técnicas, con escasa documentación empírica sobre fallas concretas en smart grids sin regulación, restringe la posibilidad de evaluar cómo se gestiona la responsabilidad civil ante daños efectivos. La heterogeneidad metodológica —abarca análisis jurídicos, evaluaciones ambientales, revisiones técnicas y modelamientos— complica la comparación sistemática entre estudios. Asimismo, la fragmentación temática entre responsabilidad civil e impactos ambientales reduce la capacidad para



examinar los riesgos de forma integrada, mientras que la limitada evidencia proveniente de jurisdicciones con marcos regulatorios avanzados impide identificar patrones de gobernanza comparada.

A partir de estas restricciones, se delinean varias líneas de investigación futura. Resulta pertinente desarrollar estudios empíricos que documenten fallas reales en infraestructuras inteligentes y examinen las respuestas jurídicas aplicadas. También se vislumbra la necesidad de explorar modelos comparados de responsabilidad civil tecnológica en países con normativas más consolidadas.

De igual modo, se recomienda fomentar investigaciones interdisciplinarias que integren ingeniería, ciencias jurídicas y ciencias ambientales, así como examinar la viabilidad de seguros tecnológicos y ambientales obligatorios que contemplen riesgos derivados de automatización, trazabilidad y manejo intensivo de datos. La construcción de marcos regulatorios anticipatorios —como sandboxes legales o estándares de auditoría algorítmica— podría contribuir a mitigar daños antes de su materialización.

Finalmente, se propone profundizar en el tratamiento jurídico de datos energéticos en sistemas basados en IA, blockchain o plataformas P2P, con el propósito de dotar de mayor precisión a

los criterios de imputación de responsabilidad tecnológica.

En conjunto, el análisis evidencia que la ausencia de una regulación específica repercute de manera directa en la sostenibilidad ambiental, la seguridad jurídica y la estabilidad operativa del sector energético inteligente. Las consecuencias identificadas muestran que, sin marcos adecuados de responsabilidad civil, estas tecnologías amplifican la incertidumbre, exponen a los usuarios y generan impactos ambientales acumulativos.

La discusión desarrollada constituye un aporte sustantivo para fortalecer la base científica y jurídica necesaria para consolidar políticas regulatorias capaces de acompañar la complejidad tecnológica contemporánea y promover un tránsito energético más seguro, sostenible y jurídicamente coherente.

Conclusiones

Las evidencias sistematizadas en este estudio permiten identificar que la falta de un marco de responsabilidad civil específico en el ámbito de las tecnologías energéticas inteligentes genera un conjunto de efectos legales y ambientales que se manifiestan en vulnerabilidades operativas, riesgos asociados al tratamiento de datos, incertidumbres en la imputación de daños y posibles afectaciones ecológicas derivadas de fallos técnicos no supervisados.

Los hallazgos compilados muestran una convergencia notable entre fallas tecnológicas, vacíos regulatorios y riesgos ambientales, lo que sugiere que la expansión de estas tecnologías, sin acompañamiento normativo adecuado, incrementa la exposición a daños potenciales para usuarios, operadores y ecosistemas. Este estudio contribuye al campo al ofrecer una visión integrada que articula dimensiones jurídicas, técnicas y ambientales, permitiendo comprender con mayor precisión la complejidad de los desafíos asociados a la digitalización energética.

En relación con el objetivo de investigación —evaluar las repercusiones legales y ambientales derivadas de la ausencia de un marco de responsabilidad civil en la implementación de tecnologías energéticas inteligentes— los resultados muestran que dicho vacío no solo dificulta la atribución de responsabilidad ante fallas, sino que también debilita la protección ambiental y la seguridad del sistema eléctrico.

La ausencia de reglas claras sobre imputación, prevención y reparación de daños genera incertidumbre jurídica, limita la capacidad de supervisión y expone a los actores del sector a riesgos crecientes. Asimismo, se constató que los impactos ambientales pueden intensificarse en contextos sin regulación, donde las fallas técnicas carecen de mecanismos de resguardo y monitoreo. Estos elementos permiten afirmar que el objetivo

fue cumplido, al evidenciar de manera detallada las consecuencias multidimensionales que emergen del actual vacío regulatorio.

Este artículo se enmarca en el enfoque metodológico de una revisión sistemática, lo que posibilitó reunir, comparar y analizar estudios provenientes de diversas fuentes académicas y disciplinas relacionadas. La estructura sistemática empleada permitió identificar patrones comunes, divergencias conceptuales y vacíos persistentes en la literatura, otorgando solidez al análisis y garantizando la exhaustividad en la evaluación de las repercusiones jurídicas y ambientales estudiadas. Esta delimitación metodológica es relevante para comprender que las conclusiones aquí expuestas provienen de un examen comparado de evidencia científica disponible, y no de experimentación directa o análisis empírico en campo.

Finalmente, las implicaciones de este estudio sugieren la necesidad de avanzar hacia marcos regulatorios más articulados, que integren criterios de responsabilidad civil adaptados a los riesgos tecnológicos contemporáneos, mecanismos preventivos de supervisión y directrices ambientales que acompañen el despliegue de infraestructuras inteligentes.

Se vislumbran líneas de investigación futuras que podrían examinar, desde enfoques empíricos y comparados, cómo distintos ordenamientos

jurídicos abordan estas problemáticas, así como explorar mecanismos de aseguramiento, auditoría algorítmica y gobernanza de datos que fortalezcan la responsabilidad tecnológica. El análisis realizado invita a continuar desarrollando estudios que integren ingeniería, derecho y sostenibilidad, con el fin de consolidar una transición energética que sea simultáneamente eficiente, segura y ambientalmente responsable.

Referencias

Adebayo, D., Ajiboye, J., Okwor, U., Muhammad, A., Ugwujem, C., Agbo, E., ... Stephen, V. (2025). Optimizing energy storage for electric grids: Advances in hybrid technologies. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 14(2), 138–172. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.14.2.0053>

Berville, C., Croitoru, C., & Bode, F. (2025). Life cycle analysis in the context of smart cities. *E3S Web of Conferences*, 608, 05029. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560805029>

Ceglia, F., Marrasso, E., Pallotta, G., Roselli, C., & Sasso, M. (2022). The state of the art of smart energy communities: A systematic review of strengths and limits. *Energies*, 15(9), 3462. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/en15093462>

Chiarini, A., & Compagnucci, L. (2022). Blockchain, data protection and P2P energy trading. *Sustainability*, 14(23), 16305. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/su142316305>

Clark, E. (2024). The effect of smart grid technology on energy consumption management in Canada. *International Journal of Technology and Systems*, 9(3), 38–50. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.47604/ijts.2815>

Dorji, S., Stonier, A., Peter, G., Kuppusamy, R., & Teekaraman, Y. (2023). An extensive critique on smart grid technologies: Recent advancements, key challenges, and future directions. *Technologies*, 11(3), 81. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/technologies11030081>

Durillon, B., & Bossu, A. (2024). Environmental assessment of smart energy management systems at distribution level: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 203, 114739. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114739>

Energy Informatics. (2022). Abstracts of the 11th DACH+ Conference on Energy Informatics (Freiburg, Germany. 15–16 September 2022). *Energy Informatics*, 5(Suppl 2), 12. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1186/s42162-022-00215-6>

Fazeli, S. M., Li, R., & Li, F. (2020). Distributed-hierarchical control strategy to coordinate peer-to-peer energy transactions and node voltages at low voltage distribution networks. *IET Smart Grid*, 3(6), 843–850. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2019.0342>

Fernandes, D. V., & Silva, C. S. (2022). Open energy data: A regulatory framework proposal under the Portuguese electric system context. *Energy Policy*, 170, 113240. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113240>

Ferreira, P., Rocha, A., Araujo, M., Afonso, J. L., Antunes, C. H., Lopes, M. A. R., Osório, G. J., Catalão, J. P. S., & Lopes, J. P. (2023). Assessing the societal impact of smart grids: Outcomes of a collaborative research project. *Technology in Society*, 72, 102164. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102164>

Hasan, M. M., Hasan, M. R., Jiang, Y., Liu, J., Feng, H., He, B., Rahman, M. M., & Sharmin. (2025). Innovation in geotechnical engineering equipment, intelligent digitalization, and green

zero-carbon technologies: Current developments and future directions at TYUT. *EJSMT*, 1(2), 1–32. Documento en línea. Disponible [https://doi.org/10.59324/ejsmt.2025.1\(2\).01](https://doi.org/10.59324/ejsmt.2025.1(2).01)

Huhta, K. (2020). Smartening up while keeping safe? Advances in smart metering and data protection under EU law. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 38(1), 5–22. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1080/02646811.2019.1622244>

Jørgensen, B. N., & Ma, Z. G. (2025). Regulating AI in the energy sector: A scoping review of EU laws, challenges, and global perspectives. *Energies*, 18(9), 2359. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/en18092359>

Jørgensen, B. N., Gunasekaran, S. S., & Ma, Z. G. (2025). Impact of EU laws on AI adoption in smart grids: A review of regulatory barriers, technological challenges, and stakeholder benefits. *Energies*, 18(12), 3002. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/en18123002>

Khalid, M. (2024). Smart grids and renewable energy systems: Perspectives and grid integration challenges. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101299. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101299>

Kirillova, N., Pukala, R., & Janowicz-Lomot, M. (2021). Insurance programs in the renewable energy sources projects. *Energies*, 14(20), 6802. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/en14206802>

Kojonsaari, A., & Palm, J. (2023). The development of social science research on smart grids: A semi-structured literature review. *Energy Sustainability and Society*, 13(1). Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1186/s13705-023-00381-9>

Kua, J., Hossain, M. B., Natgunanathan, I., & Xiang, Y. (2023). Privacy preservation in smart meters: Current status, challenges, and future directions. *Sensors*, 23(7), 3697. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/s23073697>

Kureel, S., Varshney, L., & Prasad, S. (2024). Analysis of the effect of solar PV penetration for empowering the grid. *Nanotechnology Perceptions*, 20(S4), 929–937.

Lavrijssen, S., Espinosa Apráez, B., & ten Caten, T. (2022). The legal complexities of processing and protecting personal data in the electricity sector. *Energies*, 15(3), 1088. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/en15031088>

Li, Z., Du, P., & Li, T. (2025). Comprehensive risk assessment of smart energy information security: An enhanced MCDM-based approach. *Sustainability*, 17, 3417. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/su17083417>

Mahadik, S., Gedam, M., & Shah, D. (2025). Environment sustainability with smart grid sensor. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1510410. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1510410>

Nicolai, S. (2025). The EU Data Act and electricity consumer participation in demand response and flexibility services. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 39(3), 1–26. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1080/02646811.2025.2485725>

Nwaiwu, F. (2021). Digitalisation and sustainable energy transitions in Africa: Assessing the impact of policy and regulatory environments on the energy sector in Nigeria and South Africa. *Energy Sustainability and Society*, 11(1). Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00325-1>

Osuagwu, C. (2025). Advanced grid management strategies for mitigating stability challenges in high renewable energy penetration scenarios. *CogNexus*, 1(2), 119–139. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.63084/cognexus.v1i02.93>

Panwale, S. B., & Vijayakumar, S. (2024). Evaluación de las intervenciones de aprendizaje

personalizadas por IA en la educación a distancia. *Revista Mexicana De Bachillerato a Distancia*, 17(34). Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.22201/cuaed.20074751e.2025.34.92857>

Pereira Mendes, C. (2020). Análisis de la Integración de Tecnología Smart Grid en Sistemas Eléctricos Insulares con elevada penetración de energías renovables. Tesis doctoral. Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguan Documento en línea. Disponible <http://zaguan.unizar.es>

Pham, M.-D., & Lee, H.-H. (2020). Coordinated virtual resistance and capacitance control scheme for accurate reactive power sharing and selective harmonic compensation in islanded microgrid. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(22), 5104–5113. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2020.0581>

Setlak, L., Kowalik, R., Gębura, A., & Gołda, P. (2024). Dynamic stability analysis of the aircraft electrical power system in the More Electric Aircraft concept. *Scientific Reports*, 14, 25521. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74762-1>

Tilocca, G., Sánchez, D., & Torres-García, M. (2024). Applying the root cause analysis methodology to study the lack of market success of micro gas turbine systems. *Applied Energy*, 360, 122717. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122717>

Vovna, O., Kaydash, H., Rutkowski, L., Sakhno, Y., Laktionov, V., Kabanets, M., & Zozulya, S. (2024). Computer-integrated monitoring technology with support-decision of unauthorized disturbance of methane sensor functioning for coal mines. *Journal of Control Science and Engineering*, 2024, Article 1880839. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1155/2024/1880839>

Yang, R. & Zhang, R. (2022). Environmental pollution liability insurance and corporate environmental responsibility. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12089. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/ijerph191912089>

Zaghwan, A., & Gunawan, I. (2021). Energy loss impact in electrical smart grid systems in Australia. *Sustainability*, 13, 7221. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/su13137221>

Zhai, T. (2022). Double-faceted environmental civil liability and the separate-regulatory paradigm: An inspiration for China. *Sustainability*, 14(7), 4369. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/su14074369>