



ATLANTIC REVIEW OF ECONOMICS – AROEC

ISSN 2174-3835

www.aroec.org

8th Volume – nº 1, 2025 – July

Reference: Received: December 2024 | Accepted: March 2025 |

Organizaciones, Algoritmos Verdes y ODS

Francisco J. Rey

Universidade A Coruña (España)

Resumen

En un contexto de crisis climática global y transición hacia un desarrollo sostenible, este artículo analiza el papel fundamental de las organizaciones en la promoción de algoritmos verdes. Estas tecnologías, diseñadas para equilibrar el avance en Inteligencia Artificial (IA) con la sostenibilidad económica, social y medioambiental, representan una respuesta urgente a los desafíos asociados con el consumo energético y la huella de carbono de la IA tradicional alineándose con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 8, 9 y 13). El estudio aborda un vacío crítico en la literatura al explorar el papel de las organizaciones en el liderazgo de la innovación responsable y colaborar con otros sectores para integrar soluciones sostenibles en la tecnología avanzada. Este trabajo combina un enfoque interdisciplinar que une economía, tecnología y sostenibilidad, ofreciendo tanto una contribución teórica como recomendaciones prácticas para la formulación de políticas públicas e iniciativas colaborativas.

Abstract

In the context of the global climate crisis and the transition towards sustainable development, this article examines the critical role of organizations in advancing green algorithms. These technologies, designed to balance progress in Artificial Intelligence (AI) with economic, social, and environmental sustainability, provide an urgent response to the challenges posed by traditional AI's energy consumption and carbon footprint aligned with the 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals (SDGs 8, 9, and 13). The study addresses a significant gap in the literature in exploring the role of organisations in leading responsible innovation and collaborate with other sectors to integrate sustainable solutions into advanced technologies. This work adopts an interdisciplinary approach, bridging economics, technology, and sustainability, and offers theoretical contributions and practical recommendations for policymaking and collaborative initiatives.

Keywords: Algoritmos Verdes, innovación responsable, desarrollo sostenible, IA, organizaciones, universidades / Green Algorithms, responsible innovation, sustainable development, AI, social organizations, universities.

JEL Clas.: O10, J01

Introducción

En una sociedad avanzada, la búsqueda de un desarrollo socioeconómico sostenido, sostenible e inclusivo es un objetivo clave. Las organizaciones y en concreto las universidades y centros de investigación, son clave en la promoción del conocimiento y la investigación con la defensa de los principios de sostenibilidad, tal y como recogen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Picatoste et al., 2024). Por este motivo, la sociedad demanda a las organizaciones un compromiso claro con la innovación responsable y la reducción de las desigualdades. Este trabajo se alinea directamente con la Agenda 2030, en particular con los ODS relacionados con el acceso a la tecnología (ODS 9), la acción por el clima (ODS 13) y la sostenibilidad económica (ODS 8) para alcanzar un equilibrio entre desarrollo económico, justicia social y sostenibilidad ambiental. Estudios previos, como los de Leal Filho et al., (2020)., destacan la relevancia de las universidades en la implementación de los ODS, particularmente en la formación de capacidades y la investigación aplicada y nos ayudan a entender el papel de la Inteligencia Artificial (IA) y la manera en la que esta nueva tecnología puede alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Dhamija & Bag, 2020).

En este contexto de crisis ambiental, las organizaciones y en concreto las universidades públicas tienen un papel fundamental como impulsoras de la innovación y el conocimiento, siendo clave su capacidad para integrar soluciones sostenibles en el marco de los avances tecnológicos. En este punto, la IA está redefiniendo sectores económicos y sociales, pero su desarrollo intensivo ligado al alto consumo de recursos plantea importantes desafíos medioambientales y la necesidad de adoptar enfoques más sostenibles en el desarrollo y la implementación de tecnologías avanzadas (Strubell et al., 2019)., lo que ha llevado al concepto de "algoritmos verdes" a ser una solución emergente, estandarizada y confiable que ofrece recomendaciones para minimizar las emisiones de CO₂ en los procesos computacionales (Lannelongue, L et al., 2021).

El desarrollo de estos algoritmos verdes es una respuesta reciente pero urgente al problema del alto consumo energético y la huella de carbono asociada a la IA tradicional. Aunque las universidades están empezando a liderar la investigación en este ámbito, su potencial aún no ha sido plenamente explotado.

En el marco de los estudios sobre sostenibilidad en IA, existe un vacío en el análisis del rol específico de las organizaciones en la promoción de estos algoritmos verdes y su conexión con la sostenibilidad económica. Este trabajo no solo pretende reflexionar sobre este vacío en el conocimiento y la literatura académica presentando un enfoque transversal, integrando economía, tecnología y sostenibilidad, buscando contribuir no solo al conocimiento académico, sino también a influir en las políticas públicas, las prácticas institucionales y las estrategias de colaboración con el sector privado. Se trata, además, de un trabajo innovador, ya que pone el foco en la interrelación de varios temas de máxima actualidad, como son la innovación tecnológica, la sostenibilidad energética y el impulso al desarrollo socioeconómico equilibrado.

La **revisión del marco teórico** profundiza en el papel de las universidades en la implementación de los ODS, analizando su capacidad para integrar soluciones sostenibles a través de la investigación y la enseñanza.

Las conclusiones de este artículo sintetizan los principales aportaciones y reflexiones sobre futuras líneas de investigación que profundicen en la integración de la tecnología y la sostenibilidad aportando una visión integral y multidisciplinar, que contribuyan tanto al conocimiento académico como a las políticas públicas en el ámbito de la sostenibilidad y la innovación tecnológica.

IA, Algoritmos Verdes y Organizaciones

La inteligencia artificial (IA) está relacionada con la capacidad de los sistemas computacionales para realizar tareas que requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas, la percepción y el procesamiento del lenguaje natural (Russell & Norvig, 2021). Estas tecnologías utilizan algoritmos avanzados, modelos matemáticos y grandes volúmenes de datos para analizar patrones, tomar decisiones y mejorar su desempeño con el tiempo, lo que se conoce como aprendizaje automático (Goodfellow et al., 2016).

Desde sus primeras conceptualizaciones, la IA ha evolucionado significativamente, pasando de sistemas basados en reglas a enfoques más avanzados como las redes neuronales y el aprendizaje profundo (machine learning), que han permitido el análisis y procesamiento de grandes cantidades de datos, como imágenes y texto (LeCun et al., 2015). La IA usa algoritmos más avanzados que aprenden a realizar tareas, como reconocer voces, traducir idiomas o predecir el clima. Pero este aprendizaje (llamado *entrenamiento* en términos de IA) requiere procesar enormes cantidades de datos, lo cual consume mucha energía. Cuanta más compleja sea la tarea, más energía se necesita.

En el marco de la IA, un algoritmo es el conjunto de pasos o instrucciones que una máquina sigue para resolver un problema y los algoritmos verdes han sido diseñados para optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental de los procesos tecnológicos, siendo más eficientes, utilizando energías renovables como fuente de alimentación y simplificando procesos para hacer más rápida a la IA y menos costosas desde el punto de vista energético.

En el contexto actual, la IA se encuentra en el centro de innovaciones disruptivas en múltiples sectores, como la salud, la educación, la industria y la sostenibilidad, gracias a su capacidad para optimizar procesos y generar soluciones más eficientes. Sin embargo, su desarrollo plantea desafíos éticos, sociales y ambientales, como el

impacto en el empleo y la huella de carbono asociada a los sistemas de IA de alta potencia (Binns, 2021; Strubell et al., 2019).

Este cambio tecnológico, está impulsando e impactando a la productividad y el crecimiento económico al optimizar procesos industriales, reducir costos y crear nuevos modelos de negocio. Según Brynjolfsson y McAfee (2017), las tecnologías basadas en IA representan una nueva "máquina" que puede resolver problemas complejos a gran escala y liberar a los trabajadores humanos para tareas más creativas y estratégicas. En la agricultura, por ejemplo, las soluciones basadas en IA han permitido una agricultura de precisión que aumenta los rendimientos y reduce los impactos ambientales (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). En el ámbito de la salud, los sistemas basados en IA están revolucionando el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, mientras que, en la educación, facilitan enfoques personalizados que mejoran los resultados de aprendizaje (Holmes et al., 2019).

Si bien la IA presenta un enorme potencial, también plantea desafíos significativos, como el alto consumo energético de los sistemas avanzados de aprendizaje profundo. Los Algoritmos Verdes (AV) ofrecen una solución emergente para mitigar estos impactos ambientales. Según Strubell et al. (2019), los sistemas de IA tradicionales pueden tener una huella de carbono comparable a la de vehículos durante toda su vida útil. Por tanto, los algoritmos verdes buscan optimizar el uso de recursos computacionales para reducir las emisiones de CO₂, asegurando que los beneficios de la IA no se obtengan a expensas del medio ambiente (Lannelongue et al., 2021).

En este contexto, las organizaciones desempeñan un papel crucial en el desarrollo tecnológico y en la promoción de la sostenibilidad, ya que tienen la capacidad de combinar recursos, conocimiento y capital humano para generar soluciones innovadoras a problemas globales y a su vez colaboran con instituciones académicas y gubernamentales para generar marcos de innovación responsable. Estudios como el de Adams et al. (2016)., destacan que la colaboración intersectorial es clave para integrar la sostenibilidad en los procesos de innovación, permitiendo la creación de productos y servicios que respeten los límites ambientales mientras fomentan el crecimiento económico.

Las organizaciones son sistemas estructurados dirigido hacia la consecución de objetivos comunes (Daft, 2015). Esta definición subraya que una organización implica más que la mera agrupación de personas; es un sistema compuesto por roles, normas y recursos destinados a alcanzar metas establecidas.

Las organizaciones son esenciales para estos objetivos y en concreto las organizaciones sociales buscan priorizar el impacto social sobre el beneficio económico, utilizando estrategias que enfatizan la colaboración y la sostenibilidad.

Estas características las convierten en un actor clave en el desarrollo de sociedades más equitativas y sostenibles.

La implementación de la Inteligencia Artificial (IA) y los Algoritmos Verdes (AV) no solo depende de empresas tecnológicas y gobiernos, sino también de otras estructuras organizacionales, como, por ejemplo, las organizaciones y los organismos de investigación, tanto públicos como privados, jugando un papel importante las propias universidades. Estas instituciones educativas desempeñan un rol crucial en garantizar que estas tecnologías beneficien a la sociedad en su conjunto, promoviendo la equidad, la sostenibilidad y la justicia social y donde las universidades públicas, están comprometidas en el avance inclusivo del conocimiento y su transferencia a la sociedad.

El Programa Nacional de Algoritmos Verdes (PNAV) de España, lanzado en 2022, busca fomentar el desarrollo de algoritmos que maximicen la eficiencia energética y reduzcan el impacto medioambiental de los modelos de inteligencia artificial aportando soluciones inteligentes a los desafíos ecológicos, reflejando el compromiso gubernamental con la sostenibilidad en la tecnología.

Las organizaciones persiguen, entre otros objetivos, garantizar que la implementación de la IA y los algoritmos Verdes a través del respeto de los derechos humanos y éticos identificando los principales riesgos como sesgos algorítmicos, violaciones de la privacidad y uso de datos sin consentimiento, promoviendo marcos éticos y legales. Su rol educativo y de sensibilización cumplen una función fundamental para acercar y concienciar sobre los impactos de la IA y como los algoritmos verdes pueden ayudar a mitigar el cambio climático de esta nueva tecnología.

Este cambio debe estar unido con los valores sostenibles, éticos y sociales (Stilgoe et al., 2013) que permitan entender el papel de las universidades como organizaciones comprometidas con el bien común y su papel clave para sensibilizar y desarrollar tecnologías responsables incluyendo soluciones sostenibles y éticas de la IA.

Estudios como los de Cortese (2003) y otros más recientes (Barth et al., 2014) han destacado que las universidades no solo generan conocimiento, sino que también actúan como catalizadoras del cambio social y tecnológico hacia la sostenibilidad. Este marco justifica el enfoque del artículo en el papel de las universidades públicas en la promoción de tecnologías verdes y sostenibles.

La educación puede contribuir a la ciencia de la sostenibilidad, destacando la importancia del aprendizaje transformador y la participación de las universidades en la promoción del desarrollo sostenible (Barth et al., 2014) y, por tanto, tiene una responsabilidad de las instituciones de educación superior en liderar la transición hacia una sociedad sostenible, integrando la sostenibilidad en la educación, la investigación, la tecnología y la divulgación Cortese (2003).

Otro aspecto clave y sobre el que no profundizaremos en este artículo, tiene que ver con la regulación e implementación de políticas públicas que regulen el uso de la IA y

promuevan tecnologías sostenibles, éticas, inclusivas y equitativas que permitan a todas las comunidades beneficiarse de la IA y los algoritmos verdes. En este contexto, la cultura organizacional juega un papel crucial como catalizador de la innovación y la sostenibilidad. Una cultura organizacional inclusiva, colaborativa y orientada hacia la mejora continua puede inspirar a los empleados a buscar soluciones creativas para los retos actuales, desde la eficiencia energética hasta la gestión de recursos.

Las universidades y los centros de investigación son ejemplos de organizaciones no lucrativas, ya que su principal objetivo no es la generación de beneficios económicos, sino la producción y difusión de conocimiento, formación de capital humano colaborando con sectores privados y proyectos de investigación (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), que los posiciona como actores clave en este desarrollo de una IA más social, ética y sostenible, manteniendo un equilibrio entre su misión pública y actividades generadoras de recursos (Altbach et al., 2009).

Desde un enfoque estricto, se puede afirmar que universidades y centros públicos de investigación tienen un fuerte componente social, pero no siempre se ajustan completamente a la definición de organizaciones sociales tradicionales. Más bien, ocupan un espacio intermedio como instituciones públicas con objetivos sociales, educativos y científicos. Las organizaciones no solo son agentes clave en la implementación de tecnologías avanzadas, sino también en la promoción de un desarrollo socioeconómico equilibrado y sostenible.

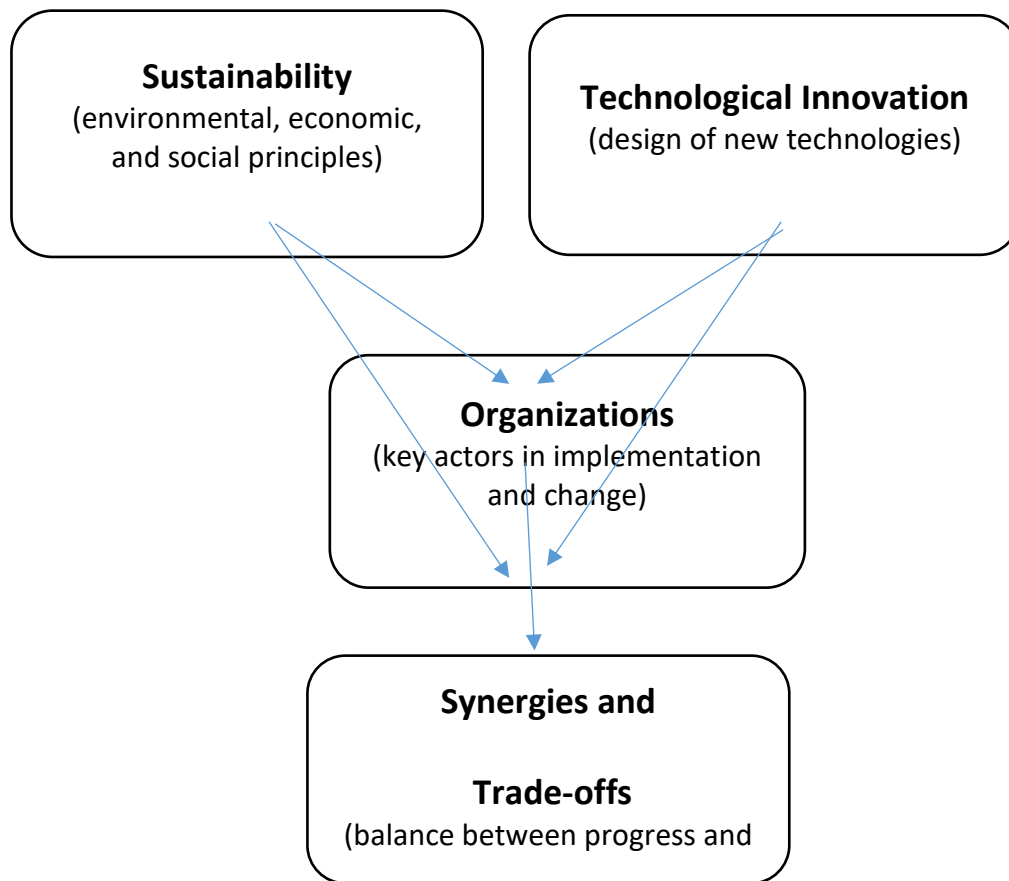
Este planteamiento y enfoque es novedoso y da respuesta a un problema que hasta el momento ha sido poco tratado. La originalidad de este en el campo de la investigación educativa y el planteamiento del problema desde una perspectiva poco investigada enfatizan en el interés de este artículo para seguir profundizando en esta temática.

Metodología

Esta investigación teórica y exploratoria se configura como un esfuerzo para poner de manifiesto el papel jugado por las organizaciones (universidades y centros de investigación) en la promoción de la sostenibilidad y la innovación al servicio de la sociedad. La investigación adopta un enfoque basado en la revisión de la literatura académica, informes institucionales y datos secundarios disponibles para determinar un marco interrelacionar que permita justificar **las posibles acciones de las organizaciones ante los dos objetivos perseguidos (sostenibilidad y desarrollo tecnológico) y las posibles sinergias o trade-offs entre ambos.**

La selección de fuentes se basó en su relevancia para el estudio de la relación entre inteligencia artificial, sostenibilidad e innovación tecnológica, priorizando literatura académica revisada por pares, informes institucionales de organismos reconocidos y datos secundarios provenientes de fuentes oficiales. Se incluyeron publicaciones de los últimos diez años con rigor metodológico y se excluyeron aquellas con sesgos o poca relación con el tema. El análisis se organizó mediante una síntesis temática para identificar patrones clave, reflejados en las tablas comparativas ayudando a fortalecer la transparencia y solidez del estudio siguiendo así, una estructura lógica.

Gráfico 1: Interrelación entre Sostenibilidad, Innovación y Organizaciones



Fuente: elaboración propia

Según el informe *KPMG (2020)* el 80 % de las empresas a nivel global ya incorporan estudios destinados a integrar criterios de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa (RSC) en sus estrategias empresariales.

Un estudio de Grant Thornton destaca que, en España, el 38 % de los líderes empresariales consideran que la sostenibilidad y el éxito financiero tienen un peso equivalente en el desarrollo de sus negocios. Asimismo, las organizaciones que incorporan criterios de sostenibilidad en sus estrategias reportan ventajas significativas, como una mayor preparación estratégica para afrontar el futuro (59 %), una respuesta más efectiva a las expectativas de los clientes (54 %) y una mejora en la eficiencia operativa (53 %) (Grant Thornton, 2023).

El Informe GEM (2023) revela un aumento significativo en el número de iniciativas emprendedoras en España que incorporan prácticas empresariales sostenibles dentro de sus modelos de negocio. Además, destaca que un número creciente de emprendedores está priorizando el impacto social y ambiental en sus nuevas empresas, a diferencia de las empresas ya consolidadas, que a menudo han tenido menos enfoque en estos aspectos. Este cambio refleja una tendencia hacia la sostenibilidad y la responsabilidad social como factores clave en el emprendimiento actual, lo que subraya la creciente conciencia de los emprendedores sobre la

importancia de contribuir al bienestar social y medioambiental a través de sus iniciativas y que está muy relacionado con las preocupaciones de otras organizaciones (universidades, centros de investigación, etc.).

Una vez determinadas estas posibles acciones e interrelaciones, se analiza y se trata de esquematizar posibles posicionamientos que sean determinantes para el logro de los objetivos propuestos siguiendo una metodología de análisis adecuada para responder a dichas cuestiones planteadas al inicio del artículo que analicen las relaciones entre IA, sostenibilidad y el rol de las universidades.

Los centros de investigación, IA y Algoritmos Verdes

Las universidades como instituciones complejas donde conviven diferentes culturas organizacionales contribuyen no solo al conocimiento académico, sino también en la enseñanza, concienciación y el trasvase de información que influyen en las políticas públicas, las prácticas institucionales y las estrategias de colaboración con el sector privado siendo esta organización social un centro de la investigación sobre IA y algoritmos verdes.

La oferta educativa forma a profesionales éticos y responsables y promueve a su vez las colaboraciones público-privadas que generan un ecosistema de creación de estándares y marcos éticos de la IA, véase la Declaración de Montreal sobre la IA responsable, impulsada por académicos, que establece principios éticos para el diseño y la implementación de IA y combinan conocimientos de diferentes disciplinas (tecnología, ciencias sociales, economía y medio ambiente) para abordar los impactos de la IA y los algoritmos verdes desde una perspectiva integral.

Trabajos como los de Geels (2002), exploran cómo la integración de tecnologías avanzadas con principios de sostenibilidad puede transformar sistemas económicos y sociales.

El rol de las organizaciones y en concreto el de las universidades, son fundamentales para garantizar que la IA y los algoritmos verdes se desarrollen y usen de manera ética, inclusiva y sostenible. Mientras que las universidades generan conocimiento y forman a los futuros profesionales, las organizaciones actúan como defensoras de los derechos humanos y la justicia social, presionando por un uso responsable de estas tecnologías. Las organizaciones son pilares esenciales para construir un futuro donde la tecnología no solo sea eficiente, sino también equitativa y respetuosa con el medio ambiente y la humanidad.

Tanto las universidades como los centros de investigación pública comparten la misión de generar y transferir conocimiento al servicio de la sociedad, contribuyendo al desarrollo social, económico y ambiental. Las universidades y centros de investigación trabajan en la investigación científica, colaboran con empresas, gobiernos y otros actores estratégicos, y publican resultados en medios de alto impacto. Su compromiso con la sociedad se refleja en la búsqueda de soluciones a problemas globales, como la sostenibilidad y el cambio climático, a través de la innovación y el avance científico. Además, ambas son financiadas mayoritariamente

con recursos públicos, lo que refuerza su responsabilidad de impactar positivamente en la calidad de vida y en los retos del presente y del futuro.

Ambas instituciones comparten la misión de generar y transferir conocimiento al servicio de la sociedad, contribuyendo al desarrollo social, económico y ambiental. Además, y como comentamos anteriormente, ambas son financiadas mayoritariamente con recursos públicos, lo que refuerza su responsabilidad de impactar positivamente en la calidad de vida y en los retos del presente y del futuro. Las principales misiones de estas organizaciones son calve para entender su impacto y compromiso social (tabla 1).

Tabla 1. Misión de las Universidades y Centros de Investigación Pública

Aspecto	Universidades Públicas	Centros de Investigación Pública
1. Formación Integral	Educar ciudadanos críticos y profesionales capacitados.	Formación continuada ligada a la producción científica
2. Generación de Conocimiento	Desarrollar investigación interdisciplinaria.	Realizar investigaciones aplicadas para resolver problemas específicos.
3. Transferir Conocimiento	Forman profesionales capacitados y transfieren saberes a través de la docencia y extensión universitaria.	Transfieren tecnología y soluciones prácticas al tejido económico y social.
4. Compromiso Social	Promover el bienestar cultural, social y económico.	Contribuir al desarrollo económico y la formulación de políticas públicas.
5. Innovación Tecnológica	No es el foco principal, pero puede derivarse de la investigación.	Transferir soluciones prácticas y sostenibles al tejido productivo.
6. Impacto en la Sociedad	Promueven el desarrollo cultural, social y económico a largo plazo.	Contribuyen al desarrollo económico inmediato y al diseño de políticas públicas sostenibles.

Fuente: elaboración propia

Ambas instituciones son pilares esenciales para construir un futuro donde la tecnología no solo sea eficiente, sino también equitativa y respetuosa con el medio ambiente y la sociedad.

La necesidad de que estas nuevas tecnologías velen por las cuestiones sociales, éticas y ambientales generan y desarrollan programas para democratizar el acceso a la IA y algoritmos verdes, asegurando que los beneficios lleguen a toda la sociedad y sean equitativos.

Colaboración entre Organizaciones

El papel de las organizaciones por tanto, son esenciales en esta evolución y adaptación tecnológica por parte de la sociedad y en este punto, la gestión del talento y la importancia de integrar las prácticas sostenibles ayudan y fomenta la innovación en estas organizaciones (Odugbesan et al., 2023). La combinación de liderazgo y el uso de las tecnologías emergentes como la IA puede potenciar el comportamiento innovador de los empleados, contribuyendo al desarrollo de soluciones más sostenibles y eficientes.

Claros ejemplos de estas innovaciones tecnológicas y colaboración entre organizaciones son, el proyecto AI for Earth de Microsoft, en colaboración con universidades y ONGs, utiliza algoritmos verdes para optimizar el uso de recursos naturales, la participación de universidades y organizaciones que participan en comités como la UNESCO, definiendo políticas éticas globales sobre IA y sostenibilidad, la creación de programas educativos abiertos al público para sensibilizar sobre el uso responsable de la IA y las tecnologías sostenibles, etc.

Posibles fricciones entre objetivos/misiones y trade-offs en la implantación de los Algoritmos verdes

Analizando esto datos, podemos identificar algunos posibles “conflictos” a la hora de conjugar el Impulso de la IA e Innovación Tecnológica con la protección medioambiental y el desarrollo sostenible, estos posibles trade-offs se encuentran recogidos en la Tabla 2, donde, además, se proponen algunas vías de solución.

Tabla 2. Conjugar la IA y la Innovación Tecnológica con la Sostenibilidad

Ámbito	Desafíos	Estrategias para un Desarrollo Sostenible
Formación	Enfoque técnico sin considerar ética y sostenibilidad.	Incluir IA ética y sostenible en la educación.
Investigación	Alto consumo energético y falta de enfoque ambiental.	Priorizar IA eficiente y proyectos interdisciplinarios.
Transferencia Tecnológica	Implementación sin evaluar impacto ambiental.	Incorporar criterios sostenibles en la transferencia de tecnología.
Compromiso Social	IA comercial sin atender problemas sociales y ambientales.	Desarrollar IA para el cambio climático y equidad social.
Innovación	Creciente demanda de recursos naturales.	Diseñar IA y hardware energéticamente eficientes.
Impacto Social	Pérdida de empleos y desigualdad en el acceso a IA.	Promover empleos sostenibles y políticas inclusivas.

Fuente: elaboración propia

Posiblemente, el punto más **controvertido** para lograr los **seis objetivos** en relación con la **promoción de los algoritmos verdes**, sin restringir los otros objetivos, se encuentra en el **equilibrio entre "Innovación Tecnológica" e "Impacto en la Sociedad"**(**tablas 2 y 3**). Este debate es clave porque resolverla permitirá maximizar tanto el impacto positivo de los algoritmos verdes como su accesibilidad social, asegurando que los beneficios lleguen de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad ambiental. Este balance es especialmente difícil por las razones recogidas en la Tabla 3.

Tabla 3. Controversia Central: Innovación Tecnológica vs. Impacto en la Sociedad en la Promoción de Algoritmos Verdes

Aspecto	Desafíos	Implicaciones del Trade-off	Cómo Mitigarlo
1. Innovación Tecnológica	- Costos iniciales elevados para desarrollar tecnologías sostenibles.	- Dificultad para equilibrar sostenibilidad y eficiencia.	- Ofrecer subvenciones públicas para financiar proyectos de algoritmos verdes.
	- Compromisos en rendimiento, precisión o velocidad de los algoritmos verdes.	- Acceso restringido a estas tecnologías para sectores con menos recursos.	- Fomentar el desarrollo de tecnologías open-source y eficientes.
2. Impacto en la Sociedad	- Brecha digital en comunidades con menos acceso a tecnologías avanzadas.	- Las desigualdades sociales podrían ampliarse.	- Establecer políticas inclusivas para garantizar el acceso a algoritmos verdes.
	- Exclusión de sectores vulnerables del impacto positivo de IA sostenible.	- Demora en la adopción generalizada de algoritmos verdes.	- Promover alianzas estratégicas para democratizar la tecnología.

Fuente: elaboración propia

Las universidades públicas generan un impacto principalmente a través de la formación de ciudadanos críticos y la transformación cultural, mientras que los centros de investigación pública lo hacen mediante la innovación aplicada y la implementación de soluciones tecnológicas inmediatas. Ambas son esenciales, pero sus enfoques son complementarios: las universidades trabajan en la base educativa y cultural, mientras que los centros aportan soluciones técnicas y específicas (tabla 4).

Tabla 4. Acciones Diferenciadas entre Universidades Públicas y Centros de Investigación Pública en el Avance de la IA y Algoritmos Verdes en IA

Aspecto	Universidades Públicas	Centros de Investigación Pública
1. Formación Integral	- Ofrecer programas de grado y postgrado en IA ética y sostenible.	- Diseñar programas de formación técnica para investigadores y especialistas en algoritmos verdes.
	- Incluir sostenibilidad en el currículo académico.	
2. Generación de Conocimiento	- Fomentar proyectos interdisciplinarios que integren IA con áreas como sociología, economía y medio ambiente.	- Liderar investigaciones aplicadas en eficiencia energética de sistemas de IA y desarrollo de prototipos.
3. Transferir Conocimiento	- Promover la transferencia de conocimiento a través de spin-offs y colaboraciones con empresas.	- Proveer tecnología basada en IA a sectores clave (energía, transporte) para resolver problemas específicos.
4. Compromiso Social	- Realizar estudios sobre el impacto ético y social de la IA.	- Participar en el diseño de políticas públicas basadas en IA y sostenibilidad.
	- Organizar eventos para concienciar sobre la sostenibilidad de la IA.	- Crear estándares técnicos para algoritmos verdes.
5. Innovación Tecnológica	- Facilitar la creación de startups sostenibles en el ámbito de la IA.	- Desarrollar herramientas prácticas y sostenibles para sectores productivos.
	- Generar plataformas abiertas para el desarrollo de IA.	- Liderar el diseño de IA aplicada en entornos reales.
6. Impacto en la Sociedad	- Educar a la sociedad sobre las ventajas y riesgos de la IA.	- Proveer soluciones inmediatas para mejorar servicios públicos.
	- Fomentar la investigación básica orientada al largo plazo.	- Colaborar con gobiernos en el diseño de infraestructuras sostenibles.

Fuente: elaboración propia

Es necesaria, por tanto, una innovación sostenible, ética y social de la IA donde las organizaciones y concretamente las universidades y centros tecnológicos que son los encargados de velar por dichos aspectos tengan claras y bien definidas sus misiones a la hora de llevar a cabo acciones determinadas que promuevan el avance de la IA y las acciones que promuevan los algoritmos verdes.

Las instituciones desempeñan un papel clave en la promoción del desarrollo de la inteligencia artificial (IA) y en la implementación de enfoques sostenibles mediante algoritmos verdes. A continuación, se detallan las principales acciones que pueden adoptar, teniendo en cuenta sus misiones y el impacto esperado en ambos ámbitos:

Formación Integral

Para fomentar el avance de la IA, las instituciones pueden diseñar programas educativos que aborden tanto los aspectos éticos como las aplicaciones prácticas de esta tecnología. Además, es fundamental potenciar las competencias digitales avanzadas en estudiantes y ciudadanos para garantizar su adecuada preparación en un entorno tecnológico en constante evolución.

En el caso de los algoritmos verdes en IA, una estrategia clave consiste en la integración de módulos de sostenibilidad en los programas formativos, promoviendo la conciencia ambiental y el desarrollo de soluciones tecnológicas con menor impacto ecológico.

Generación de Conocimiento

La investigación interdisciplinaria es esencial para potenciar la IA en sectores estratégicos, como las ciencias sociales, la salud y la economía. Paralelamente, para avanzar hacia una IA más sostenible, es crucial la exploración de modelos energéticamente eficientes en el entrenamiento y la ejecución de algoritmos.

Transferencia de Conocimiento

Las instituciones pueden facilitar la integración de la IA en el ámbito empresarial mediante formación y provisión de recursos específicos.

Resultados

Los principales resultados de este trabajo se sintetizan (tabla 5) y se explican a continuación.

Tabla 5. E papel de las universidades públicas y de los centros de investigación públicos en la gestión de IA y AV

Aspecto	Universidades Públicas	Centros Públicos de Investigación	Coincidencias
Rol Principal	Formación integral, transferencia de conocimiento interdisciplinar.	Investigación aplicada y transferencia tecnológica.	Generación y transferencia de conocimiento al servicio de la sociedad.
Enfoque	Educación y creación de marcos éticos para IA.	Generación de soluciones prácticas y estándares técnicos.	Compromiso con resolver problemas globales mediante innovación científica.
Impacto Social	Contribuyen al desarrollo cultural y a la inclusión social.	Resolución de problemas inmediatos con impacto	Impacto en la sostenibilidad social, económica y ambiental.

		económico y social.	
Retos	Falta de acceso equitativo y alta demanda de recursos educativos.	Altos costos iniciales y consumo energético en investigación aplicada.	Equilibrar innovación tecnológica con impacto social y ambiental.
Oportunidades	Promoción de ecosistemas interdisciplinarios éticos y sostenibles.	Innovación tecnológica orientada a la sostenibilidad.	Fomentar alianzas estratégicas y democratizar el acceso a la IA.
Acciones Recomendadas	Diseñar programas educativos en IA ética y sostenible.	Liderar proyectos de IA sostenible e interdisciplinar.	Colaborar en políticas públicas y proyectos inclusivos.

Fuente: elaboración propia

Tanto las universidades como los centros de investigación públicos comparten el objetivo de generar conocimiento y por ello, contribuyen al avance científico y tecnológico en el conocimiento y la aplicación de la IA y los AV. Además, también tienen en común su compromiso social con la democratización del acceso a las tecnologías, asegurando que su desarrollo sea ético, inclusivo y sostenible, al tiempo que impulsan la transferencia y la colaboración con empresas, gobiernos y otras instituciones para maximizar su contribución a la sociedad y responder a desafíos globales como el cambio climático.

Las universidades, por su parte, se centran en la formación integral y la transferencia de conocimiento interdisciplinario y son pilares en la creación de marcos éticos para la IA, como se ejemplifica en la Declaración de Montreal sobre la IA responsable. en la transferencia. Así, fomentan ecosistemas que combinan tecnología, ciencias sociales y medio ambiente para desarrollar soluciones sostenibles.

Los Centros Públicos de Investigación, se centran en la investigación aplicada y especializada, con un enfoque en resultados inmediatos para resolver problemas prácticos, lo que les permite generar tecnologías de alto impacto y estándares técnicos en IA y algoritmos verdes, como herramientas para reducir la huella energética de los sistemas de IA.

Las principales coincidencias de ambas instituciones se encuentran en que las dos buscan un impacto económico, social y ambiental positivo, con un equilibrio entre sus enfoques a corto y largo plazo. A la hora de hablar de las diferencias, estas se podrían encontrar en que las mientras que las universidades tienen una misión más educativa y cultural, los centros de investigación están más enfocados en la innovación tecnológica y la implementación de soluciones prácticas.

Conclusiones

1. Retos y Oportunidades en Algoritmos Verdes e IA:

- **Retos:** Incluyen el alto consumo energético, la falta de equidad en el acceso y los costos de implementación. Existe un posible conflicto entre la innovación tecnológica y el impacto social, como se resume en la tabla comparativa (Strubell et al., 2019; van Wynsberghe, 2021).
- **Oportunidades:** Diseñar programas educativos que combinen IA con ética y sostenibilidad, fomentar tecnologías open-source y garantizar políticas inclusivas son claves para superar estos desafíos (Floridi et al., 2018; Cows & Floridi, 2020).

2. Acciones Recomendadas:

- Universidades y centros deben liderar el desarrollo de IA sostenible, asegurando el balance entre eficiencia tecnológica e impacto ambiental (Bender et al., 2021).
- Fomentar alianzas interdisciplinarias para abordar problemas globales desde una perspectiva ética e inclusiva (Mittelstadt, 2019).
- Garantizar que los beneficios de la IA y algoritmos verdes lleguen a toda la sociedad, promoviendo estándares internacionales en colaboración con organizaciones y gobiernos (Whittlestone et al., 2019).

Una vez realizada la revisión teórica podemos comprender la importancia del rol de liderazgo de las universidades públicas y centros de investigación en el desarrollo de la IA y promoción de los algoritmos verdes como respuesta y contribución a los ODS y al avance justo y equitativo y sostenible de las nuevas tecnologías (IA).

Estos ejemplos de organizaciones deben velar por una innovación tecnológica, social y ética marcada por la preservación ambiental y defensa del desarrollo sostenible siendo capaces de analizar los tradeoffs y la forma de mitigarlos. Un ejemplo de ello son los algoritmos verdes en el marco del desarrollo de la IA y la búsqueda de colaboraciones entre las organizaciones dentro de este marco social y ambiental.

Las conclusiones nos permiten acercarnos, vislumbrar y reflexionar sobre cuáles han sido las principales aproximaciones teóricas sobre el papel de las universidades públicas en el desarrollo de la IA/algoritmos verdes aportando una visión integral en el ámbito de la sostenibilidad y la innovación tecnológica.

Este artículo permite seguir reflexionando sobre cuestiones que hasta el momento han sido poco tratadas y que requieren de reflexión cuando tratamos de entender el impacto social y ambiental de la IA y el rol esencial de las organizaciones en defender y promocionar su uso ético, defensa ambiental y desarrollo de la justicia social entre otras cuestiones.

En este punto y según lo visto hasta el momento, las universidades públicas pueden liderar esta innovación tecnológica de manera responsable y colaborar con otros

sectores/organizaciones para integrar soluciones sostenibles (algoritmos verdes). Este trabajo combina un enfoque interdisciplinar que une economía, tecnología y sostenibilidad, ofreciendo tanto una contribución original al debate sobre el impacto de la IA en la educación y el desarrollo sostenible.

Referencias

- Adams, C. A., Jeanrenaud, S., Bessant, J., Denyer, D., & Overy, P. (2016). Sustainability-oriented innovation: A systematic review. *International Journal of Management Reviews*, 18(2), 180-205. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12068>
- Afful-Dadzie, E., Nabareseh, S., & Oplatkova, Z. K. (2014). Patterns and trends in the concept of green economy: A text mining approach. *Modern Trends and Techniques in Computer Science (Csoc 2014)*, 285, 143–154. doi:10.1007/978-3-319-06740-7_13
- Altbach, P. G., Reisberg, L., & Rumbley, L. E. (2009). *Trends in global higher education: Tracking an academic revolution*. UNESCO. http://atepie.cep.edu.rs/public/Altbach%2C_Reisberg%2C_Rumbley_Tracking_an_Academic_Revolution%2C_UNESCO_2009.pdf
- Barth, M., Godemann, J., Rieckmann, M., & Stoltenberg, U. (2014). Learning for change: An educational contribution to sustainability science. *Sustainability Science*, 2(1), 5-16.
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 610–623. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Binns, R. (2021). On the apparent conflict between individual and group fairness. *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 514-524. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445920>
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.
- Cortese, A. D. (2003). The critical role of higher education in creating a sustainable future. *Planning for Higher Education*, 31(3), 15-22.
- Cows, J., & Floridi, L. (2020). The ethical landscape of AI. *Minds and Machines*, 30(2), 177–194. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09568-8>
- Daft, R. L. (2015). *Organization Theory and Design*. Cengage Learning.
- Dai, J., Ahmed, Z., Alvarado, R., & Ahmad, M. (2024). Assessing the nexus between human capital, green energy, and load capacity factor: Policymaking for achieving sustainable development goals. *Gondwana Research*, 129, 452–464. doi:10.1016/j.gr.2023.04.009
- Dhamija, P., & Bag, S. (2020). Role of artificial intelligence in operations environment: a review and bibliometric analysis. *The TQM Journal*, 32(4), 869-896. DOI: 10.1108/TQM-10-2019-0243.
- Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. *Management Science*, 60(11), 2835-2857. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984>
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From national systems and 'Mode 2' to a triple helix of university–industry–

- government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Floridi, L., Taddeo, M., & Turilli, M. (2018). The ethics of soft ethics: A pragmatic approach to the governance of AI. *Philosophy & Technology*, 31(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13347-018-0303-9>
 - Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
 - Global Entrepreneurship Monitor (GEM). (2023). *Informe GEM 2022-2023: Tasa de emprendimiento en España*. GEM España. <https://www.gem-spain.org>
 - Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
 - Grant Thornton. (2023). *Sostenibilidad como motor del éxito empresarial*. Grant Thornton España. <https://www.grantthornton.es>
 - Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.
 - Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
 - Khan, K., Su, C. W., Rehman, A. U., & Ullah, R. (2022). Is technological innovation a driver of renewable energy? *Technology in Society*, 70, 102044. doi:10.1016/j.techsoc.2022.102044
 - KPMG. (2020). *KPMG survey of sustainability reporting 2020*. KPMG International. <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2020/11/the-time-has-come-survey-of-sustainability-reporting.html>
 - Lannelongue, L., Grealey, J., & Inouye, M. (2021). Green Algorithms: Quantifying the Carbon Footprint of Computation. *Advanced Science*, 8(12), 2100707. <https://doi.org/10.1002/advs.202100707>
 - Leal Filho, W., Eustachio, J. H. P. P., Caldana, A. C. F., Will, M., Lange Salvia, A., Rampasso, I. S., Anholon, R., Platje, J., & Kovaleva, M. (2020). Sustainability leadership in higher education institutions: An overview of challenges. *Sustainability*, 12(9), 3761. <https://doi.org/10.3390/su12093761>
 - LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
 - Ma, Q., Tariq, M., Mahmood, H., & Khan, Z. (2022). *The nexus between digital economy and carbon dioxide emissions in China: The moderating role of investments in research and development*. *Technology in Society*, 68, 101910. doi:10.1016/j.techsoc.2022.101910
 - Mittelstadt, B. (2019). *Principles alone cannot guarantee ethical AI*. *Nature Machine Intelligence*, 1(11), 501–507. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0114-4>
 - Mondejar, M. E., Avtar, R., Diaz, H. L. B., Dubey, R. K., Esteban, J., Gomez-Morales, A., et al. (2021). Digitalization to achieve sustainable development

goals: Steps towards a smart green planet. *Science of the Total Environment*, 794, 148539. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148539

- Nagy, A. S., Tumiwa, J. R., Arie, F. V., & Erdey, L. (2024). An exploratory study of artificial intelligence adoption in higher education. *Cogent Education*, 11(1), 2386892. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2386892>
- Odugbesan, J. A., Aghazadeh, S., Al Qaralleh, R. E., & Sogeke, O. S. (2023). Green talent management and employees' innovative work behavior: The roles of artificial intelligence and transformational leadership. *Journal of Knowledge Management*, 27(3), 696–716. <https://doi.org/10.1108/JKM-08-2021-0601>
- Ogbeibu, S., Jabbour, C. J. C., Gaskin, J., Senadjki, A., & Hughes, M. (2021). Leveraging STARA competencies and green creativity to boost green organisational innovative evidence: A praxis for sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, 30(5), 2421–2440. doi:10.1002/bse.2754
- Picatoste, X., Tirca, D. M., & Novo-Corti, I. (2024). Perception about sustainable development goals among Erasmus students in a Spanish university. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2023-0488>
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
- Stilgoe, J., Owen, R., & Macnaghten, P. (2013). Developing a framework for responsible innovation. *Research Policy*, 42(9), 1568-1580. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008>
- Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 3645–3650. <https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355>
- van Wynsberghe, A. (2021). Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. *AI and Ethics*, 1(3), 213–218. <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00043-6>
- Whittlestone, J., Nyrup, R., Alexandrova, A., & Cave, S. (2019). The role and limits of principles in AI ethics: Towards a focus on tensions. Proceedings of the AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society, 195–200. <https://doi.org/10.1145/3306618.3314289>