



UNIVERSIDADE
DA CORUÑA



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID



UNIVERSIDAD
ALFONSO X EL SABIO



AROEC
ATLANTIC
REVIEW OF
ECONOMICS

Proyecto de investigación
**“Impacto de la tecnología, la fiscalidad
y la economía en la salud y el empleo femenino
en el sector marítimo”**

*Shaping Blue Economies: Technology,
Taxation, Law, and Women’s Health
and Employment in Maritime Sectors”*

The poster features a woman in a white hard hat and blue work jacket looking out at a port with a large ship. On the left, a globe is overlaid with icons for Wi-Fi, scales of justice, a Euro symbol, and a bar chart. At the bottom, a dark blue bar contains icons for a ship, a gear, a document with a Euro symbol, a gavel, a person, and a heart with a pulse line.

IA verde y economía azul en Galicia

Green AI and the Blue Economy in Galicia

Francisco J. Rey

Universidade da Coruña, A Coruña, España

email: francisco.rey@udc.es

Resumen

Este artículo analiza el papel de la inteligencia artificial (IA) y, en particular, de los algoritmos verdes en la configuración de una economía azul más resiliente, equitativa y sostenible.

Partiendo del caso de Galicia como caso de estudio europeo, se examina cómo la digitalización y la innovación tecnológica en los sectores marítimos pueden impulsar nuevas oportunidades de empleo y salud laboral para las mujeres, al tiempo que plantean retos en materia de brecha digital, fiscalidad y gobernanza.

Este trabajo exploratorio integra perspectivas socio jurídicas y económicas, con especial atención a los marcos normativos europeos, los incentivos fiscales y las políticas de igualdad de género. Asimismo, se analizan las tensiones entre eficiencia tecnológica y justicia social, proponiendo mecanismos financieros inclusivos (como los bonos azules) y una gobernanza participativa de los diferentes actores que permita reducir riesgos y maximizar beneficios.

En el marco del proyecto de investigación exploratoria, los resultados subrayan la necesidad de combinar innovación digital y regulación socioeconómica para garantizar una transición marítima justa, inclusiva y viable.

Abstract

This paper analyses the role of artificial intelligence (AI), and in particular green algorithms, in shaping a more resilient, equitable, and sustainable blue economy.

Using Galicia as a European case study, it examines how digitalisation and technological innovation in maritime sectors can foster new employment opportunities and improve occupational health for women, while also raising challenges related to the digital divide, taxation, and governance.

The study integrates socio-legal and economic perspectives, with particular emphasis on European regulatory frameworks, fiscal incentives, and gender equality policies. It also explores the tensions between technological efficiency and social justice, proposing inclusive financial mechanisms (such as blue bonds) and participatory governance involving multiple stakeholders to mitigate risks and maximise benefits.

Within the framework of the exploratory research project, the findings highlight the need to combine digital innovation and socio-economic regulation to ensure a fair, inclusive, and viable maritime transition.

Códigos JEL: Q01, O33 y J16

Keywords: Economía azul, algoritmos verdes, transición sostenible, igualdad de género / Blue economy, green algorithms, sustainable transition, gender equality.

Introducción

La economía azul promueve el crecimiento económico ligado al uso sostenible de los recursos marinos como la pesca, el turismo, la energía oceánica o la biotecnología (Graziano et al., 2022).

Aunque la definición no está formalizada en la ley internacional, organismos como la ONU y el Banco Mundial han incorporado la economía azul en la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de la gobernanza oceánica (Sarangi, 2023).

La economía azul se entiende como un marco de desarrollo que busca generar valor y empleo en actividades ligadas al océano sin degradar los ecosistemas marinos, integrando sostenibilidad, eficiencia y conservación. Su lógica es que el crecimiento económico debe mantenerse dentro de límites ecológicos y respetar la capacidad de regeneración de los sistemas marinos.

Esta perspectiva se vincula con la neutralidad climática en 2050 porque sectores como transporte marítimo, puertos, pesca, acuicultura y energías marinas concentran oportunidades de descarbonización, pero también riesgos ambientales si la transición no se gobierna adecuadamente. En este marco, la innovación (electrificación portuaria, rutas eficientes, monitorización ambiental o renovables marinas) puede reducir emisiones, siempre que se eviten efectos de rebote y desigualdades distributivas.

En paralelo, se ha reforzado el interés por la digitalización y la inteligencia artificial (IA) como palancas para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en el sector marítimo. Sin embargo, este impulso requiere incorporar criterios de sostenibilidad tecnológica. En este sentido, los algoritmos verdes se entienden como modelos de IA energéticamente eficientes que reducen el consumo de recursos y las emisiones de CO₂ asociadas a procesos computacionales (Kassetty et al., 2025). Esta definición se operacionaliza en el apartado de Metodología y se utiliza como criterio transversal para valorar el potencial “sostenible” de la digitalización en la economía azul.

El artículo adopta un enfoque exploratorio teórico-analítico basado en revisión narrativa y análisis de contenido.

A partir de este marco, el presente artículo analiza cómo la IA y los algoritmos verdes pueden contribuir a una transición más participativa y resiliente en el sector marítimo. Para ello, se revisan marcos regulatorios y fiscales relevantes, incorporando además una perspectiva social con especial atención al papel de las mujeres en Galicia, presentada como caso ilustrativo en el contexto europeo.

Esta comunidad se selecciona como caso ilustrativo por su elevada especialización marítima y por concentrar actividades pesqueras y marisqueras con fuerte presencia femenina. Además, dispone de estadísticas regionales específicas sobre pesca y acuicultura, incluyendo indicadores desagregados por sexo, como permisos de

marisqueo a pie, que permiten contextualizar con mayor precisión la dimensión de género en la economía azul.

Con el fin de facilitar el seguimiento del análisis, los principales hallazgos se presentan en tablas de síntesis: la Tabla 1 resume oportunidades y barreras por dimensión; la Tabla 2 organiza sinergias y tensiones entre economía azul, IA verde y equidad de género; y la Tabla 3 identifica actores clave, contribuciones y límites. Estas tablas se utilizan para comparar y organizar ideas, no para aportar resultados estadísticos, y se ajustan al enfoque exploratorio y conceptual del trabajo.

Marco Teórico

Economía azul y ODS

Este artículo explora cómo la IA y los algoritmos verdes pueden apoyar una transición participativa y resiliente en el sector marítimo, analizando marcos regulatorios y fiscales, con especial énfasis en el papel de las mujeres en Galicia como caso de ejemplo europeo.

Este concepto de economía azul pone el foco sobre el desarrollo sostenible de las actividades marinas, en estrecha relación con los ODS. El ODS 14 impulsa la conservación de ecosistemas marinos, mientras que otros objetivos relevantes como el ODS 5 (igualdad de género) y el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) señalan la necesidad de una innovación inclusiva.

Según Picatoste, Tirca, Novo-Corti y Picatoste-Novo (2025), organismos internacionales como la ONU, el Banco Asiático de Desarrollo y el Banco Mundial han promovido la economía azul como herramienta clave para la Agenda 2030.

En este sentido, conviene destacar que, en el ámbito europeo, el Pacto Verde (European Union, 2021) incluye de manera explícita potenciar la economía azul en la ruta hacia la neutralidad climática de 2050, con mayor impulso a las energías renovables marinas y reducción de emisiones en el transporte marítimo y pesquero.

IA, digitalización y algoritmos verdes

En el sector marítimo, la IA puede optimizar rutas de navegación, sistemas logísticos y mantenimiento predictivo de flotas, con evidentes beneficios operativos. Sin embargo, la creciente demanda de cómputo incrementa el consumo energético. Por ello surgen los algoritmos verdes, diseñados para mejorar la eficiencia computacional y reducir el impacto ambiental (Kassetty et al., 2025).

Estos algoritmos aplicados al sector marítimo podrían reducir las emisiones mediante sistemas de optimización en puertos o predicciones climáticas.

Además de los beneficios climáticos, estas aplicaciones pueden generar mejoras indirectas para la vida marina cuando se orientan a reducir presiones sobre los ecosistemas. Por ejemplo, la optimización de rutas y velocidades puede disminuir el consumo de combustible y las emisiones, pero también reducir el ruido submarino y el riesgo de colisiones con fauna marina en áreas sensibles. Del mismo modo, la monitorización mediante sensores y la predicción ambiental pueden apoyar decisiones de gestión, como cierres temporales, zonificación dinámica o alertas tempranas, que contribuyan a minimizar episodios de estrés ecológico (p. ej., cambios térmicos, proliferaciones de algas o eventos extremos). En este artículo, estos beneficios se entienden como parte del “valor ambiental” potencial de la digitalización, siempre que se acompañe de objetivos de conservación y gobernanza adecuados.

Con el fin de ordenar el debate, la Tabla 1 sintetiza los principales impactos de la innovación tecnológica en la economía azul, distinguiendo oportunidades y barreras (trade-offs) en cuatro dimensiones: tecnológica-operativa, ambiental, social/género y regulatoria/gobernanza.

Esta síntesis permite identificar dónde la digitalización puede generar ganancias netas (eficiencia, monitorización ambiental, nuevos perfiles profesionales) y dónde tiende a producir tensiones (costes de adopción, huella energética, residuos electrónicos o brechas de acceso).

Tabla 1: *Impactos de Innovación Tecnológica*

Dimensión	Oportunidades (sinergias)	Barreras (trade-offs)
Tecnológica/Operativa	Automatización de procesos portuarios y pesqueros, con reducción de costos logísticos.	Inversión inicial alta en infraestructura digital y consumo energético de centros de datos.
Ambiental	Monitorización de ecosistemas y reducción de emisiones contaminantes.	Residuos electrónicos y huella energética de IA avanzada.
Social/Género	Empleo especializado y emprendimiento femenino en tecnologías marinas.	Brecha digital de género; riesgo de exclusión en formación tecnológica.
Regulatorio/Gobernanza	Alineación con ODS y políticas públicas como el Pacto Verde.	Falta de estándares comunes y marcos jurídicos claros.

Nota: elaboración propia

La lectura conjunta de la Tabla 1 sugiere que el desempeño “verde” de la digitalización no depende solo de la herramienta, sino del diseño de su implementación. En particular, los beneficios ambientales se maximizan cuando las soluciones se desarrollan con criterios de eficiencia energética y objetivos de conservación; mientras que los riesgos sociales, especialmente los vinculados al género, se intensifican cuando la formación, la financiación y el acceso a la innovación quedan concentrados en actores con mayor capacidad tecnológica.

Enfoque socio jurídico

Desde la perspectiva jurídica, la economía azul se articula en torno a convenios internacionales como la UNCLOS, directivas europeas (Política Pesquera Común, Directiva de Ordenación del Espacio Marítimo) y legislación nacional.

En 2018, la Unión Europea junto con el WWF y el Banco Europeo de Inversiones lanzó los *Principios de Finanzas para una Economía Azul Sostenible* en el marco de la Economist World Ocean Summit, como referencia para orientar las inversiones (Proczek & Garbarczyk, 2023).

Sin embargo, la política ambiental y marítima rara vez integra la perspectiva de género de forma transversal, una meta que sigue sin alcanzarse plenamente.

Boström, Svelds y Schreiber (2025) señalan que normas laborales excluyentes como la falta de conciliación o las brechas salariales desalientan la participación femenina en las industrias marítimas. Este acercamiento parcial entre agendas de economía azul e igualdad de género confirma la necesidad de marcos regulatorios inclusivos que acompañen la digitalización y la innovación con medidas de justicia social.

Galicia como Caso de Estudio

Galicia constituye un enclave estratégico en la economía azul europea. Parte de su economía depende de la pesca, la construcción naval, la acuicultura y el turismo costero, al tiempo que impulsa políticas de innovación como la eólica marina o la digitalización portuaria. Diversas fuentes señalan que una parte mayoritaria de las profesionales del marisqueo son mujeres, lo que convierte a este subsector en un buen “observatorio” para analizar cómo la digitalización y la IA verde pueden afectar de forma diferencial al empleo, a la capacitación y a las condiciones laborales por género.

El papel de las mujeres en este contexto es clave: destacan las mariscadoras, rederas y asociaciones como O Peirao, que reivindican su visibilidad y derechos. Sin embargo, persisten brechas en liderazgo y conciliación.

En concreto, estas brechas se observan en la infrarrepresentación de mujeres en puestos de decisión (dirección de empresas, jefaturas operativas, mandos

intermedios y roles técnico-digitales), así como en barreras de conciliación vinculadas a turnos extensos, disponibilidad en campañas, movilidad y falta de medidas organizativas (flexibilidad, cobertura de cuidados, permisos y planificación de turnos con enfoque de corresponsabilidad).

Figura 1. Mariscadoras en las rías gallegas (Á. Ybarra Zavala, 2019). Fuente: XL Semanal.



Fuente: Álvaro Ybarra Zavala, *XL Semanal* (2019). *Mariscadoras, las reinas de la marea.*

Galicia, por tanto, actúa como un laboratorio representativo de los retos europeos: integrar políticas de innovación tecnológica con igualdad de género, impulsando clústeres marítimos inclusivos y sostenibles.

Discusión

Este análisis e investigación exploratoria confirman que los algoritmos verdes y la inteligencia artificial ofrecen un potencial significativo para transformar la economía azul.

La innovación digital puede contribuir a prácticas marítimas de menor huella de carbono mediante aplicaciones como optimización de rutas y velocidades (reducción del consumo de combustible), gestión energética en puertos (monitorización y optimización de equipos e infraestructuras), mantenimiento predictivo (menos paradas y mayor eficiencia) y sensación/monitorización ambiental. Además, pueden abrir nuevas oportunidades laborales, especialmente para las mujeres en sectores tradicionalmente masculinizados (Di Vaio et al., 2023).

No obstante, estas oportunidades pueden verse limitadas por altos costes de inversión, brechas de género en la capacitación tecnológica y la falta de integración transversal de la igualdad en las políticas marítimas (Boström, Svells, y Schreiber, 2025).

La Tabla 2 organiza las sinergias y tensiones de la economía azul y la IA verde por dimensiones (tecnológica, ambiental, social-género y normativa). Su lectura permite ver que las ganancias de eficiencia y monitorización ambiental conviven con riesgos de desigualdad si la transición digital no se acompaña de formación, acceso a recursos y salvaguardas regulatorias.

Tabla 2. Sinergias y tensiones entre economía azul, IA verde y equidad de género

Dimensión	Sinergias (oportunidades)	Tensiones (trade-offs)
Ambiental	Algoritmos verdes reducen la huella de carbono en logística y transporte marítimo.	Costes energéticos de la IA avanzada si no se aplican criterios de sostenibilidad.
Tecnológica	Digitalización de puertos y pesca inteligente con IA para optimizar recursos.	Riesgo de dependencia tecnológica y brecha de adopción en pequeñas comunidades pesqueras.
Social/Laboral	Nuevas oportunidades para mujeres en empleos tecnológicos del sector marítimo.	Persistencia de brechas salariales y baja presencia de mujeres en posiciones de liderazgo.
Jurídico/Normativo	Integración con el Pacto Verde Europeo y las directivas de igualdad de género.	Ausencia de regulación específica sobre el sesgo algorítmico en el ámbito marítimo.
Económico/Financiero	Bonos azules y créditos verdes para proyectos con impacto social y ambiental positivo.	Falta de mecanismos de financiación accesibles para cooperativas y pymes lideradas por mujeres.

Nota: elaboración propia

En la dimensión tecnológica, las sinergias se asocian a la optimización y la automatización, mientras que las tensiones se concentran en costes y dependencia de infraestructura. En la dimensión ambiental, los beneficios potenciales dependen de evitar efectos de rebote (más actividad por más eficiencia) y de reducir la huella computacional. En la dimensión social, la transición digital puede abrir empleos cualificados, pero también consolidar brechas si no se corrige el acceso desigual a la capacitación y a las posiciones técnicas. Finalmente, en la dimensión normativa, la falta de marcos específicos puede retrasar la adopción segura y agravar asimetrías entre actores.

Esta tabla evidencia cómo la incorporación de la IA verde al sector marítimo no solo responde a objetivos ambientales, sino también a dinámicas sociales y jurídicas que requieren un enfoque interseccional.

De igual manera, la transición azul sostenible depende de la acción coordinada de múltiples actores. Cada grupo desempeña un papel particular en la gobernanza tecnológica y social de la economía marítima.

La **Tabla 3** identifica los actores clave y sus roles en la transición digital del sector marítimo (gobiernos, empresas, academia, asociaciones, ONG e instituciones financieras). El objetivo es mostrar que los resultados no dependen solo de la tecnología, sino de la arquitectura de coordinación, financiación y legitimidad social que cada actor contribuye a construir.

Tabla 3. Actores clave en la economía azul y su rol frente a la IA verde

Actor	Contribuciones potenciales	Riesgos/limitaciones
Gobiernos (UE, Estado, Xunta) (i)	Diseño de políticas públicas, marcos regulatorios e incentivos fiscales para IA verde y género.	Burocracia lenta y falta de transversalidad en la integración de género.
Empresas marítimas(ii)	Inversión en innovación digital y adopción de algoritmos verdes en logística y energía.	Prioridad al beneficio económico sobre criterios sociales y ambientales.
Academia e I+D(iii)	Desarrollo de modelos de IA sostenibles aplicados al mar y formación especializada.	Riesgo de desconexión entre investigación y necesidades locales.
Asociaciones de mujeres del mar(iv)	Visibilizarían capacitación y liderazgo en la innovación azul inclusiva.	Escasa financiación y representación limitada en foros de decisión.
ONGs ambientales(iv)	Supervisión de impactos ecológicos y promoción de justicia ambiental.	Dependencia de fondos externos y alcance limitado en políticas públicas.
Instituciones financieras(v)	Bonos azules, inversiones responsables y mecanismos de financiación sostenible.	Poca adaptación de instrumentos financieros a contextos locales como Galicia.

Nota: elaboración propia

La Tabla 3 sugiere que la coordinación mejora resultados cuando: (i) la administración define prioridades y condiciones (normas, incentivos y salvaguardas), (ii) el sector

productivo implementa innovación con métricas ambientales y sociales, (iii) la academia aporta evaluación y capacitación, (iv) asociaciones y ONG garantizan participación y control social, y (v) las finanzas alinean capital con criterios de sostenibilidad e inclusión.

La participación coordinada de estos actores resulta esencial y clave para garantizar que la transición digital en el sector marítimo no solo reduzca emisiones y mejore la eficiencia, sino que también fortalezca la igualdad de género.

Galicia, en este marco, actúa como un laboratorio privilegiado: combina tradición marítima, impulso tecnológico y una sociedad civil activa que demanda un modelo más justo y sostenible.

Conclusiones y Recomendaciones

El análisis muestra que la IA y los algoritmos verdes pueden impulsar una economía azul más sostenible si su adopción incorpora criterios de eficiencia tecnológica y una gestión explícita de riesgos sociales, ambientales y regulatorios. El caso de Galicia ilustra esta convergencia entre tradición marítima, innovación emergente y necesidad de políticas inclusivas.

La transición digital genera sinergias cuando mejora la eficiencia operativa (rutas, mantenimiento y consumo energético), refuerza la gestión ambiental (monitorización y alertas) y habilita nuevos perfiles profesionales. Sin embargo, introduce tensiones si la infraestructura y los costes de adopción excluyen a actores pequeños, si la huella computacional y los residuos electrónicos no se gestionan, o si la transición redistribuye oportunidades hacia quienes ya tienen capital, conectividad y capacidades digitales. Por ello, la cuestión central no es solo “digitalizar”, sino cómo se gobierna y con qué criterios se mide el desempeño ambiental y social.

A partir de estos resultados, se infiere que el potencial de la IA verde no es automático: requiere gobernanza que alinee sostenibilidad, equidad y regulación. Sin estos ajustes, la digitalización puede amplificar desigualdades y producir beneficios distributivos asimétricos.

Recomendaciones

- Igualdad en proyectos de digitalización marítima: introducir cláusulas de igualdad salarial y medidas de participación equilibrada, con seguimiento anual y publicación de indicadores básicos de cumplimiento.

- Financiación inclusiva: bonos azules con criterios de género y crédito accesible para cooperativas y emprendimientos liderados por mujeres.
- Formación con perspectiva de género: capacitación en IA sostenible y digitalización portuaria con becas específicas en Galicia.
- Gobernanza con diferentes actores: foros estables de transición digital inclusiva con participación de actores públicos, privados y comunitarios.
- Regulación ética en contexto marítimo: prevención de sesgos y auditorías de sostenibilidad digital en puertos y flotas.

El estudio es exploratorio y conceptual, basado en revisión narrativa y análisis cualitativo; por ello, no busca generalización estadística. Galicia se emplea como caso ilustrativo y la heterogeneidad de fuentes condiciona el detalle comparativo. Futuras investigaciones deberían incorporar evidencia empírica, métricas ambientales de IA en aplicaciones marítimas, evaluación de instrumentos fiscales y análisis específico de impactos en empleo y equidad de género en comunidades costeras.

En este artículo, estas condiciones se concretan en: políticas sociojurídicas (marcos aplicables a IA en puertos y flotas, prevención de sesgos y requisitos de auditoría), mecanismos financieros (bonos azules y crédito con criterios de inclusión y trazabilidad) y estrategias de género (formación, acceso a capital y cláusulas de igualdad en programas y contratos). Su combinación permite que la transición digital no solo sea eficiente, sino también verificablemente sostenible e inclusiva.

La IA verde solo contribuirá a una economía azul sólida si se integra con políticas sociojurídicas, financiación alineada y estrategias inclusivas. Bajo estas condiciones, Galicia puede ofrecer un modelo transferible de transición marítima sostenible y equitativa.

Referencias

- Boström, M., Svells, K., & Schreiber, M. (2025). Into the (Gendered) Blue: New Perspectives on Gender Equality and Participation in Blue Growth. *Ocean & Society*, 2, Article 9953. <https://doi.org/10.17645/oas.9953>
- Di Vaio, A., Zaffar, A., Balsalobre-Lorente, D., & Garofalo, A. (2023). Decarbonization technology responsibility to gender equality in the shipping industry: A systematic literature review and new avenues ahead. *Journal of Shipping and Trade*, 8, 9. <https://doi.org/10.1186/s41072-023-00140-1>
- European Union. (2021). Putting the Blue into the Green—Sustainable Blue Economy. European Commission. <https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu>
- Graziano, M., Alexander, K. A., McGrane, S. J., Allan, G. J., & Lema, E. (2022). The many sizes and characters of the blue economy. *Ecological Economics*, 196, 107419. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107419>
- Kassetty, N., Tain, X., Somani, P., & Tee, M. (2025). Green algorithms for a sustainable future: Reducing the carbon footprint of AI and big data. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(19s), 840–848. <https://doi.org/10.64252/dc18n194>
- Picatoste, X., Tirca, D. M., Novo-Corti, I., & Picatoste-Novo, I. (2025). Blue finance. En M. Ziolo & M. Zaleska (Eds.), *Financial Innovation and Sustainability: Green, Blue and Sustainable Finance* (pp. 1–20). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003499138-3>
- Proczek, M., & Garbarczyk, M. (2023). EU involvement in the financing of the blue economy. *Studia Europejskie—Studies in European Affairs*, 27(1), 149–161. <https://doi.org/10.33067/SE.1.2023.7>
- Sarangi, U. (2023). Blue economy, blue finance and ocean governance for achieving sustainable development goals. *Natural Resources Forum*, 47(1), 3–21. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12267>
- Ybarra Zavala, Á. (2019, 6 de enero). *Mariscadoras, las reinas de la marea*. XL Semanal. <https://www.xlsemanal.com/conocer/sociedad/20190106/mariscadoras-mujeres-rias-gallegas-peligro-furtivos-marisco.html>