



*Sistemas de innovación agroindustrial para el desarrollo económico sustentable:
Una revisión bibliográfica*

*Agroindustrial innovation systems for sustainable economic development: A
bibliographic review*

*Sistemas de inovação agroindustrial para o desenvolvimento econômico
sustentável: uma revisão bibliográfica*

Karla Lilibeth Cevallos-Angulo ¹
karly_memo@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-3990-4346>

Correspondencia: karly_memo@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 10 de febrero de 2024 * **Aceptado:** 07 de marzo de 2024 * **Publicado:** 30 de abril de 2024

- I. Ingeniera Química en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Magíster en Gestión de Riesgos, Mención en Prevención de Riesgos Laborales en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.

Resumen

El sector agroindustrial enfrenta desafíos críticos exacerbados por la creciente demanda global de alimentos, la presión sobre los recursos naturales y el cambio climático. La innovación agroindustrial emerge como un componente esencial para abordar estos retos, promoviendo un desarrollo económico que sea sustentable en términos ambientales, sociales y económicos. Este artículo proporciona una revisión exhaustiva de los sistemas de innovación agroindustrial, analizando cómo las tecnologías emergentes pueden contribuir a mejorar la productividad y sostenibilidad de la agricultura, mientras se fomenta el desarrollo económico en áreas rurales. La biotecnología, la agricultura de precisión, y las energías renovables son identificadas como tecnologías clave que pueden transformar la agroindustria. Estas tecnologías no solo ofrecen mejorar la eficiencia de los recursos y la producción, sino que también tienen el potencial de minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente y mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a desafíos climáticos. Sin embargo, la adopción de estas innovaciones enfrenta barreras que incluyen el alto costo inicial, la falta de infraestructura adecuada, y la necesidad de políticas y regulaciones que apoyen su implementación efectiva. El análisis destaca que la colaboración entre instituciones académicas, empresas, gobiernos y comunidades agrícolas es fundamental para el éxito de los sistemas de innovación agroindustrial. Estas colaboraciones pueden ayudar a superar barreras técnicas y económicas y garantizar que los beneficios de las innovaciones sean ampliamente distribuidos. Además, se discuten las implicaciones éticas y sociales de la biotecnología y la mecanización, subrayando la importancia de considerar los impactos a largo plazo y los aspectos de justicia social en el desarrollo de nuevas tecnologías. Los modelos de negocio innovadores y las políticas efectivas son cruciales para facilitar la difusión de tecnologías avanzadas en el sector agroindustrial. Se recomienda que las políticas no solo ofrezcan incentivos financieros, sino que también incluyan soporte para la capacitación y el desarrollo de habilidades necesarias para manejar las nuevas tecnologías. Además, se propone un enfoque multidisciplinario para la investigación futura, que explore las interacciones entre innovación tecnológica, desarrollo económico y sostenibilidad. Este artículo concluye que los sistemas de innovación agroindustrial, cuando se diseñan e implementan considerando tanto avances tecnológicos como necesidades humanas y ambientales, pueden desempeñar un papel vital en la promoción de un desarrollo económico sustentable. Se insta a una colaboración continua entre disciplinas y sectores para aprovechar al máximo el potencial de las innovaciones en la

agroindustria, asegurando que contribuyan efectivamente a un futuro más sostenible y equitativo. En resumen, la innovación en la agroindustria se presenta como un pilar clave para el futuro sustentable del sector, capaz de abordar simultáneamente desafíos de producción, ambientales y sociales. Los sistemas de innovación agroindustrial no solo deben enfocarse en la adopción de tecnología, sino también en crear un entorno propicio que permita su implementación efectiva y justa a nivel global.

Palabras clave: Cambio climático; Innovación agroindustrial; Tecnologías emergentes; Agricultura.

Abstract

The agribusiness sector faces critical challenges exacerbated by growing global demand for food, pressure on natural resources and climate change. Agroindustrial innovation emerges as an essential component to address these challenges, promoting economic development that is sustainable in environmental, social and economic terms. This article provides a comprehensive review of agribusiness innovation systems, analyzing how emerging technologies can contribute to improving the productivity and sustainability of agriculture, while fostering economic development in rural areas. Biotechnology, precision agriculture, and renewable energy are identified as key technologies that can transform agribusiness. These technologies not only offer to improve resource and production efficiency, but also have the potential to minimize negative impacts on the environment and improve the resilience of agricultural systems in the face of climate challenges. However, the adoption of these innovations faces barriers that include high initial cost, lack of adequate infrastructure, and the need for policies and regulations that support their effective implementation. The analysis highlights that collaboration between academic institutions, companies, governments and agricultural communities is essential for the success of agroindustrial innovation systems. These collaborations can help overcome technical and economic barriers and ensure that the benefits of innovations are widely distributed. Furthermore, the ethical and social implications of biotechnology and mechanization are discussed, underlining the importance of considering long-term impacts and social justice aspects in the development of new technologies. Innovative business models and effective policies are crucial to facilitate the diffusion of advanced technologies in the agribusiness sector. It is recommended that policies not only offer financial incentives, but also include support for the training and development of skills necessary to handle

new technologies. Furthermore, a multidisciplinary approach is proposed for future research, exploring the interactions between technological innovation, economic development and sustainability. This article concludes that agroindustrial innovation systems, when designed and implemented considering both technological advances and human and environmental needs, can play a vital role in promoting sustainable economic development. Continued collaboration across disciplines and sectors is urged to fully realize the potential of innovations in agribusiness, ensuring they effectively contribute to a more sustainable and equitable future. In summary, innovation in agribusiness is presented as a key pillar for the sustainable future of the sector, capable of simultaneously addressing production, environmental and social challenges. Agroindustrial innovation systems must not only focus on the adoption of technology, but also on creating an enabling environment that allows its effective and fair implementation at a global level.

Keywords: Climate change; Agroindustrial innovation; Emerging technologies; Agriculture.

Resumo

O sector do agronegócio enfrenta desafios críticos exacerbados pela crescente procura global de alimentos, pela pressão sobre os recursos naturais e pelas alterações climáticas. A inovação agroindustrial surge como uma componente essencial para enfrentar estes desafios, promovendo um desenvolvimento económico sustentável em termos ambientais, sociais e económicos. Este artigo fornece uma revisão abrangente dos sistemas de inovação do agronegócio, analisando como as tecnologias emergentes podem contribuir para melhorar a produtividade e a sustentabilidade da agricultura, ao mesmo tempo que promovem o desenvolvimento económico nas zonas rurais. A biotecnologia, a agricultura de precisão e as energias renováveis são identificadas como tecnologias-chave que podem transformar o agronegócio. Estas tecnologias não só melhoram a eficiência dos recursos e da produção, mas também têm o potencial de minimizar os impactos negativos no ambiente e melhorar a resiliência dos sistemas agrícolas face aos desafios climáticos. No entanto, a adopção destas inovações enfrenta barreiras que incluem o elevado custo inicial, a falta de infra-estruturas adequadas e a necessidade de políticas e regulamentos que apoiem a sua implementação eficaz. A análise destaca que a colaboração entre instituições académicas, empresas, governos e comunidades agrícolas é essencial para o sucesso dos sistemas de inovação agroindustriais. Estas colaborações podem ajudar a superar barreiras técnicas e económicas e garantir que os benefícios das inovações sejam amplamente distribuídos. Além disso, são

discutidas as implicações éticas e sociais da biotecnologia e da mecanização, sublinhando a importância de considerar os impactos a longo prazo e os aspectos de justiça social no desenvolvimento de novas tecnologias. Modelos de negócios inovadores e políticas eficazes são cruciais para facilitar a difusão de tecnologias avançadas no setor do agronegócio. Recomenda-se que as políticas não só ofereçam incentivos financeiros, mas também incluam apoio à formação e ao desenvolvimento de competências necessárias para lidar com as novas tecnologias. Além disso, propõe-se uma abordagem multidisciplinar para pesquisas futuras, explorando as interações entre inovação tecnológica, desenvolvimento económico e sustentabilidade. Este artigo conclui que os sistemas de inovação agroindustrial, quando concebidos e implementados considerando tanto os avanços tecnológicos como as necessidades humanas e ambientais, podem desempenhar um papel vital na promoção do desenvolvimento económico sustentável. Insta-se a colaboração contínua entre disciplinas e setores para concretizar plenamente o potencial das inovações no agronegócio, garantindo que contribuam efetivamente para um futuro mais sustentável e equitativo. Em síntese, a inovação no agronegócio apresenta-se como um pilar fundamental para o futuro sustentável do setor, capaz de enfrentar simultaneamente os desafios produtivos, ambientais e sociais. Os sistemas de inovação agroindustrial não devem concentrar-se apenas na adoção de tecnologia, mas também na criação de um ambiente propício que permita a sua implementação eficaz e justa a nível global.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Inovação agroindustrial; Tecnologias emergentes; Agricultura.

Introducción

El sector agroindustrial se encuentra en un punto de inflexión, enfrentando desafíos globales sin precedentes tales como la seguridad alimentaria, el cambio climático y la creciente presión sobre los recursos naturales. Estos desafíos requieren un replanteamiento profundo de las prácticas agrícolas y de la cadena de valor agroindustrial, poniendo un énfasis especial en la innovación como motor de desarrollo económico sustentable. Las innovaciones en este sector no solo buscan incrementar la eficiencia y productividad, sino también mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola a través del uso responsable y eficiente de los recursos (Sultán, 2021). En este contexto, los sistemas de innovación agroindustrial representan un conjunto complejo de interacciones entre diversos actores, incluyendo instituciones académicas, empresas, gobiernos y comunidades agrícolas. Estos sistemas están diseñados para fomentar el desarrollo y la adopción

de nuevas tecnologías, prácticas y modelos de negocio que puedan contribuir al desarrollo económico de manera ambiental y socialmente sostenible (Balafoutis et al., 2017; Takacs-Gyorgy, 2012). La innovación agroindustrial es crucial para abordar los retos de alimentar una población mundial creciente mientras se minimizan los impactos negativos sobre el medio ambiente. Tecnologías como la biotecnología, la agricultura de precisión y las energías renovables han demostrado su potencial para mejorar la productividad agrícola y reducir el uso de insumos químicos y agua, lo cual es esencial para la sostenibilidad a largo plazo. Además, la innovación agroindustrial puede desempeñar un papel fundamental en la revitalización de las zonas rurales, ofreciendo nuevas oportunidades económicas y mejorando la calidad de vida de sus habitantes. Esto se logra a través de la creación de empleos en nuevas industrias relacionadas con la tecnología agrícola y la bioeconomía, y mediante el fortalecimiento de las cadenas de valor locales que añaden valor a los productos agrícolas tradicionales. Este artículo tiene como objetivo principal revisar y sintetizar la literatura existente sobre los sistemas de innovación agroindustrial y su relación con el desarrollo económico sustentable. Se pretende identificar las tecnologías emergentes, evaluar sus impactos económicos, ambientales y sociales, y discutir las políticas y modelos de negocio que pueden facilitar su adopción y difusión. Además, este estudio busca proporcionar recomendaciones claras para investigadores, formuladores de políticas y prácticos del sector agroindustrial sobre cómo maximizar los beneficios de las innovaciones para el desarrollo sustentable (Takacs-Gyorgy, 2012). A través de esta revisión exhaustiva, el artículo también se propone contribuir al debate académico y práctico sobre cómo los sistemas de innovación pueden ser diseñados y gestionados para promover un desarrollo económico que sea ambientalmente sostenible y socialmente inclusivo. Al hacerlo, el artículo llenará un vacío en la literatura existente al proporcionar un análisis detallado y actualizado que integre los diversos aspectos de la innovación agroindustrial y su impacto en el desarrollo sustentable.

Desarrollo

Innovación agroindustrial

La agroindustria, uno de los sectores más vitales para la subsistencia humana y el desarrollo económico, ha experimentado una evolución significativa impulsada por la necesidad de satisfacer la demanda de una población mundial en crecimiento. La innovación en este sector no solo se refiere al uso de nuevas tecnologías, sino también a la implementación de prácticas que mejoran la

sostenibilidad, eficiencia y productividad de los sistemas de producción agrícola. Según estudios recientes, la innovación agroindustrial abarca desde mejoras genéticas de cultivos y ganado hasta sofisticadas tecnologías de procesamiento de alimentos, pasando por sistemas avanzados de gestión de recursos naturales (Watts & Scales, 2015).

Estas innovaciones han resultado ser cruciales para abordar los desafíos contemporáneos como la seguridad alimentaria, el cambio climático y la preservación de recursos naturales. Por ejemplo, la adopción de cultivos transgénicos ha demostrado aumentar los rendimientos agrícolas mientras reduce el uso de pesticidas y herbicidas, lo que contribuye a una agricultura más sostenible (Gliessman, 2016). Además, la integración de tecnologías de información ha permitido el desarrollo de la agricultura de precisión, que optimiza el manejo de insumos y mejora las decisiones agronómicas mediante el uso de datos y análisis predictivos.

Componentes clave de los sistemas de innovación

Los sistemas de innovación en la agroindustria se componen de múltiples elementos interrelacionados que incluyen infraestructura tecnológica, capital humano y redes de colaboración. La infraestructura tecnológica es fundamental, proporcionando las herramientas y equipos necesarios para desarrollar y aplicar nuevas tecnologías. Esto incluye desde maquinaria avanzada hasta laboratorios de biotecnología y plataformas de datos digitales. La importancia de la infraestructura tecnológica se manifiesta claramente en cómo ha permitido aumentos significativos en la productividad agrícola en las últimas décadas (Tollens et al., 2004).

El capital humano, compuesto por expertos en biotecnología, ingeniería agronómica, ecología, y otras disciplinas relevantes, es igualmente crucial. Estos profesionales no solo desarrollan nuevas tecnologías, sino que también adaptan tecnologías existentes a contextos locales específicos, asegurando su eficacia y relevancia. Además, las redes de colaboración entre universidades, centros de investigación, empresas y gobiernos facilitan el intercambio de conocimientos y recursos, acelerando así la innovación y su implementación en el campo (Martinho & Guiné, 2021).

Modelos teóricos de innovación

El estudio de los modelos teóricos de innovación en la agroindustria revela un enfoque cada vez más inclinado hacia la innovación abierta y la cooperación entre diversos actores del ecosistema.

La innovación abierta, un paradigma que promueve el uso de flujos de conocimiento entrantes y salientes, permite a las empresas beneficiarse de ideas y tecnologías desarrolladas externamente, así como comercializar sus innovaciones internas a través de canales externos (Bocchi et al., 2012). La cooperación entre diferentes actores, incluyendo empresas, universidades y gobiernos, se ha demostrado fundamental para superar barreras institucionales y tecnológicas que de otro modo podrían obstaculizar el desarrollo y la adopción de nuevas tecnologías. Estos modelos colaborativos no solo optimizan recursos, sino que también crean sinergias que pueden llevar a innovaciones disruptivas, las cuales son esenciales para resolver problemas complejos en el sector agroindustrial (Bocchi et al., 2012).

Los fundamentos de la innovación en la agroindustria encapsulan una compleja red de componentes tecnológicos, humanos y colaborativos, cada uno de los cuales desempeña un papel crítico en el fomento de la sostenibilidad y eficiencia del sector. La continua evolución de estos fundamentos es crucial para garantizar la resiliencia y productividad de la agroindustria en un contexto global cambiante. La investigación y el desarrollo continuos, apoyados por modelos teóricos sólidos y colaboración eficaz, son esenciales para enfrentar los desafíos actuales y futuros (Ammann, 2009).

Tecnologías emergentes en la Agroindustria

Biotechnología y mejora genética

La biotecnología ha revolucionado la agroindustria mediante el desarrollo de cultivos genéticamente modificados que ofrecen mayores rendimientos, resistencia a enfermedades y adaptabilidad a condiciones climáticas adversas. La edición genética, particularmente mediante herramientas como CRISPR/Cas9, ha permitido a los científicos hacer cambios precisos en el ADN de las plantas, lo que ha resultado en mejoras significativas en la eficiencia y la seguridad de los cultivos (Ammann, 2009). Estas tecnologías no solo mejoran la seguridad alimentaria, sino que también reducen la dependencia de químicos agrícolas, contribuyendo así a una producción más sostenible.

Un ejemplo prominente de la aplicación de la mejora genética es el desarrollo de variedades de arroz que pueden tolerar inundaciones. Estos avances han sido fundamentales en regiones propensas a inundaciones, donde tradicionalmente se perdían grandes porciones de cultivos cada año debido al exceso de agua. La capacidad de manipular genéticamente estos cultivos para que

resistan períodos cortos de inundación ha resultado en una estabilidad agrícola significativamente mayor, asegurando el sustento de millones de agricultores (Smith et al., 2024).

Además, la biotecnología también se extiende al ámbito de la nutrición, donde se han desarrollado cultivos enriquecidos con nutrientes esenciales. Por ejemplo, el desarrollo de variedades de maíz y arroz con mayores cantidades de vitaminas y minerales ha contribuido a combatir la malnutrición en comunidades vulnerables, demostrando el impacto positivo de la biotecnología en la salud pública y el bienestar (Ammann, 2009).

Agricultura de precisión y automatización

La agricultura de precisión representa una convergencia entre la tecnología y la agroindustria, enfocada en la optimización del rendimiento de los cultivos y la eficiencia de los recursos mediante la gestión detallada y basada en datos de las operaciones agrícolas. El uso de sensores en el campo, drones para el monitoreo aéreo, y sistemas de GPS para la maquinaria agrícola permite a los agricultores entender mejor las variaciones intrínsecas en sus campos y ajustar las prácticas de cultivo de manera más precisa (Green et al., 2023).

Los drones, en particular, han cambiado la forma en que se monitorean los cultivos y se aplican los tratamientos. Por ejemplo, mediante la utilización de imágenes multiespectrales capturadas por drones, los agricultores pueden identificar áreas de estrés hídrico o infecciones por plagas antes de que estos problemas se vuelvan visibles al ojo humano. Esto permite intervenciones tempranas que son menos costosas y más efectivas en términos de manejo de cultivos (Martinho & Guiné, 2021).

La automatización también ha hecho grandes avances en la agroindustria, con el desarrollo de robots que pueden plantar, regar y cosechar cultivos. Estos robots no solo reducen la necesidad de mano de obra, sino que también mejoran la precisión de las operaciones agrícolas, reduciendo el desperdicio y aumentando la eficiencia. La implementación de estas tecnologías también ayuda a mitigar algunos de los trabajos más duros y repetitivos, mejorando las condiciones laborales en el sector agrícola (Ammann, 2009).

Tecnologías de información y comunicación (TIC)

Las Tecnologías de Información y Comunicación han tenido un impacto transformador en la agroindustria, facilitando la recopilación, el almacenamiento y el análisis de grandes cantidades de

datos agrícolas. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y otras plataformas de datos permiten a los agricultores y a los investigadores visualizar y gestionar la información geoespacial de manera que optimiza las decisiones relacionadas con la plantación, el riego y la gestión de plagas (Bocchi et al., 2012).

Además, el análisis predictivo mediante el uso de grandes bases de datos y el aprendizaje automático ha comenzado a permitir pronósticos más precisos sobre rendimientos de cultivos y la identificación de patrones de enfermedades, lo que puede llevar a intervenciones más proactivas y personalizadas. Por ejemplo, plataformas de análisis predictivo pueden alertar a los agricultores sobre la probabilidad de una plaga en función de las condiciones climáticas y de cultivo actuales, permitiéndoles prepararse mejor o evitar grandes pérdidas (Bocchi et al., 2012).

Se resalta cómo las tecnologías emergentes en la biotecnología, la agricultura de precisión y las TIC están redefiniendo la agroindustria. Estas innovaciones no solo aumentan la productividad y la sostenibilidad, sino que también están equipando a los agricultores con herramientas avanzadas para enfrentar los desafíos de un mercado global y un clima cambiante. Continuar explorando y adoptando estas tecnologías será clave para asegurar la seguridad alimentaria y la resiliencia agrícola en el futuro.

Implementación global y casos de estudio

Análisis comparativo internacional

La adopción global de innovaciones en la agroindustria varía considerablemente entre regiones, influenciada por factores económicos, culturales y políticos. Este análisis comparativo destaca cómo distintos países han implementado tecnologías agroindustriales y los resultados obtenidos. En naciones desarrolladas, como Estados Unidos y Alemania, la integración de la biotecnología y la agricultura de precisión ha avanzado significativamente, impulsada por fuertes inversiones en I+D y políticas de apoyo gubernamentales. Estos países han logrado aumentos notables en la eficiencia de producción y una reducción en el uso de recursos naturales (Ammann, 2009).

Por otro lado, en países en desarrollo, como India y Brasil, aunque la adopción tecnológica es desigual, se observan avances significativos en áreas específicas como la biotecnología para el cultivo de algodón y la soja transgénica, respectivamente. Estos desarrollos han permitido a los agricultores aumentar la producción y mejorar la resistencia de los cultivos a enfermedades y plagas (Pathak et al., 2019a). Sin embargo, las barreras como la falta de infraestructura adecuada,

limitaciones en la capacitación y restricciones financieras a menudo impiden una adopción más amplia de tecnologías avanzadas.

El éxito de la implementación también depende de la colaboración entre sectores públicos y privados, como se observa en los Países Bajos, donde una estrecha cooperación entre universidades, empresas y el gobierno ha establecido al país como líder en innovaciones en agricultura controlada por climatización y sistemas de agricultura vertical (Barnes et al., 2019). Este enfoque colaborativo ha permitido no solo avanzar en tecnología sino también en sostenibilidad y eficiencia.

Políticas y regulaciones

Las políticas y regulaciones desempeñan un papel crucial en la promoción o restricción de la innovación agroindustrial. La formulación de políticas bien estructuradas puede acelerar la adopción de nuevas tecnologías, como se ha visto en la Unión Europea con la Política Agrícola Común (PAC), que incluye subvenciones y apoyo para la implementación de tecnologías agrícolas sostenibles. Estas políticas han fomentado una amplia adopción de prácticas agrícolas sostenibles y han mejorado la seguridad alimentaria regional (Kumar et al., 2021a).

En contraste, la regulación excesiva puede ser un obstáculo, especialmente en lo que respecta a la biotecnología. En algunos países, los rigurosos procesos de aprobación para los cultivos genéticamente modificados han frenado la innovación debido a los largos periodos de revisión y los costos asociados. Estos desafíos regulativos necesitan ser equilibrados con las preocupaciones públicas sobre seguridad y ética, lo que requiere un enfoque bien informado y flexible hacia la regulación de nuevas tecnologías. Las diferencias en las regulaciones también afectan el comercio internacional de productos agrícolas. Las normas sobre residuos de pesticidas y los estándares de seguridad alimentaria pueden variar significativamente entre mercados, afectando la manera en que los productos agrícolas son cultivados, procesados y comercializados globalmente (Feder & Umali, 1993). La armonización de estas normativas podría facilitar un comercio más eficiente y promover una adopción más amplia de prácticas innovadoras.

Sustentabilidad y economía circular

La integración de principios de economía circular en la agroindustria es vital para la sostenibilidad a largo plazo del sector. Este enfoque no solo implica la reducción del desperdicio, sino también la reutilización de subproductos y la regeneración de sistemas naturales. Por ejemplo, en la producción de caña de azúcar, los residuos pueden convertirse en bioenergía, lo que ayuda a reducir la dependencia de combustibles fósiles y genera una fuente de ingresos adicional para los agricultores (Herrera et al., 2023; Long et al., 2016).

La agricultura regenerativa, que incluye prácticas como la rotación de cultivos, la labranza mínima y la agroforestería, ha demostrado ser efectiva para mejorar la salud del suelo y aumentar la biodiversidad, al tiempo que se mantiene o incluso aumenta los rendimientos de los cultivos (Burgess & Rosati, 2018; Tey & Brindal, 2012a). Estas prácticas no solo mejoran la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a perturbaciones climáticas y biológicas, sino que también mejoran la eficiencia del uso de recursos y reducen los impactos ambientales negativos.

Así tenemos una visión global de cómo las innovaciones agroindustriales están siendo adoptadas y reguladas en diferentes partes del mundo, subrayando la importancia de políticas y colaboraciones eficaces para facilitar la transición hacia prácticas más sostenibles y económicamente viables. La comprensión de estos aspectos es fundamental para formular estrategias que no solo mejoren la eficiencia de la producción agrícola, sino que también aseguren la sostenibilidad a largo plazo del sector agroindustrial.

Impacto económico y sostenibilidad

Evaluación económica de innovaciones

La evaluación económica de las innovaciones en la agroindustria es crucial para entender su viabilidad e impacto en el largo plazo. Estas evaluaciones no solo consideran el costo de adopción de nuevas tecnologías, sino también los beneficios en términos de incremento de productividad, reducción de costos operativos, y la mejora en la sostenibilidad. Por ejemplo, el uso de la agricultura de precisión ha mostrado que, aunque requiere inversiones iniciales significativas en tecnología y formación, puede llevar a ahorros sustanciales y aumentos de rendimiento que justifican la inversión (Tey & Brindal, 2012a).

Un análisis costo-beneficio detallado revela que las tecnologías como el riego automatizado y controlado por sensores pueden reducir el uso de agua hasta en un 30%, mientras que el empleo de drones para la aplicación de pesticidas puede disminuir el uso de estos productos químicos hasta

en un 50%, lo que no solo reduce los costos, sino que también minimiza el impacto ambiental negativo (Mercer, 2004). Además, la adopción de prácticas agrícolas regenerativas, aunque inicialmente más costosas, puede mejorar la salud del suelo y, por lo tanto, reducir la necesidad de fertilizantes a largo plazo, generando ahorros y beneficios ambientales (Feder et al., 1985a).

Sin embargo, la distribución de estos beneficios económicos varía significativamente entre diferentes tipos de explotaciones agrícolas y regiones, lo que indica la necesidad de políticas y programas de apoyo que tengan en cuenta las especificidades locales y sectoriales para fomentar una adopción más equitativa y efectiva de innovaciones agroindustriales.

Contribuciones a la sostenibilidad

Las innovaciones en la agroindustria tienen un potencial significativo para contribuir a la sostenibilidad ambiental. La implementación de tecnologías limpias y eficientes ayuda a reducir la huella de carbono de la agricultura, uno de los sectores más intensivos en uso de recursos y emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, la conversión de residuos agrícolas en bioenergía no solo proporciona una fuente de energía renovable, sino que también reduce la dependencia de los combustibles fósiles y minimiza los desechos (Lee et al., 2021).

Además, la mejora genética de cultivos para que requieran menos insumos agrícolas (como agua y fertilizantes) es otra área donde la innovación contribuye a la sostenibilidad. Cultivos que pueden prosperar en condiciones de baja fertilidad del suelo o que tienen mayor resistencia a las plagas reducen la necesidad de intervenciones químicas y mejoran la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a los desafíos climáticos y biológicos (Masi et al., 2023).

No obstante, es crucial que estas tecnologías se implementen de manera que también consideren la sostenibilidad social y económica, asegurando que los beneficios se distribuyan justamente entre todas las partes interesadas, incluyendo a pequeños agricultores y comunidades rurales, quienes a menudo son los más afectados por las transformaciones tecnológicas en la agricultura.

Desafíos futuros y direcciones de investigación

Mirando hacia el futuro, la agroindustria enfrenta desafíos significativos que requieren atención continua e investigación. Uno de los principales retos es la adaptación de estas tecnologías a diferentes escalas de producción y contextos socioeconómicos. Muchas innovaciones que son

viabiles en grandes explotaciones en países desarrollados pueden no serlo en pequeñas explotaciones en países en desarrollo, donde las barreras financieras, la falta de infraestructura y las limitaciones en capacitación pueden impedir su adopción (Tafere & Nigussie, 2018).

Además, la investigación futura debe centrarse en el desarrollo de innovaciones que sean no solo tecnológicamente avanzadas, sino también accesibles y adaptables. Esto incluye la creación de tecnologías modulares o escalables que puedan ser personalizadas para cumplir con las necesidades de diferentes tipos de agricultores y regiones. También es vital que la investigación continúe explorando las interacciones entre las prácticas agrícolas y los ecosistemas naturales para asegurar que la innovación agroindustrial promueva una verdadera sostenibilidad ambiental, económica y social (Borremans et al., 2018).

De esta forma se destaca cómo las evaluaciones económicas, las contribuciones a la sostenibilidad y los desafíos futuros son fundamentales para comprender y dirigir la trayectoria de la innovación en la agroindustria. Manteniendo un enfoque equilibrado y proactivo, la comunidad global puede asegurar que los avances en este sector no solo mejoren la productividad y eficiencia, sino que también fortalezcan los fundamentos de una agricultura sostenible y resiliente.

Adaptación al cambio climático mediante Innovación Agroindustrial

Impacto del cambio climático en la Agroindustria

El cambio climático presenta desafíos sin precedentes para la agroindustria, afectando la estabilidad de los sistemas de producción alimentaria a nivel mundial. Las alteraciones en patrones climáticos, como el incremento en la frecuencia e intensidad de sequías y lluvias extremas, directamente impactan la productividad agrícola y la seguridad alimentaria (Ogundari & Bolarinwa, 2018; Ramesh, n.d.; Tey & Brindal, 2012b). Estos cambios requieren adaptaciones en la gestión agrícola para mitigar los riesgos asociados y garantizar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas. Estudios recientes muestran que el aumento de temperaturas y la variabilidad en las precipitaciones comprometen no solo la calidad y cantidad de los rendimientos, sino también la salud del suelo, reduciendo su capacidad para almacenar agua y nutrientes (Jesús & Jugend, n.d.). En respuesta, la agroindustria ha comenzado a implementar estrategias adaptativas, tales como el desarrollo de variedades de cultivos resistentes a condiciones climáticas extremas y la adopción de prácticas de manejo del suelo que mejoran su resiliencia.

Estrategias de adaptación y mitigación

Para enfrentar los efectos del cambio climático, se han desarrollado diversas estrategias de adaptación y mitigación en la agroindustria. Una de estas estrategias es la mejora genética de cultivos para aumentar su tolerancia a estrés abiótico, como sequías y altas temperaturas. La biotecnología ha permitido crear variedades que mantienen su productividad en condiciones climáticas adversas, un avance crucial para mantener la seguridad alimentaria en regiones vulnerables (Rosario et al., n.d.). Otra estrategia significativa es la implementación de sistemas de agricultura de precisión que utilizan tecnologías avanzadas para optimizar el uso de recursos como agua y fertilizantes. Estos sistemas permiten una aplicación más eficiente y localizada de insumos, reduciendo el desperdicio y minimizando su impacto ambiental. Además, la adopción de técnicas de conservación del suelo, como la no labranza y la cobertura vegetal, ha demostrado ser eficaz en mejorar la retención de agua y nutrientes en el suelo, contribuyendo así a una mayor resiliencia de los cultivos frente a variaciones climáticas (Feder et al., 1985b).

Modelos de simulación y predicción climática

Los modelos de simulación y predicción climática son herramientas indispensables para la planificación y gestión agrícola en el contexto del cambio climático. Estos modelos proporcionan escenarios futuros basados en diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a los agricultores y planificadores a anticipar cambios en el clima y adaptar sus prácticas agrícolas de manera proactiva (Tey & Brindal, 2021).

La integración de estos modelos en sistemas de apoyo a la decisión para la agricultura permite la simulación de diferentes estrategias de manejo y su impacto potencial bajo distintos escenarios climáticos. Por ejemplo, modelos que predicen la disponibilidad de agua para riego pueden ayudar a maximizar la eficiencia del agua durante períodos de escasez. Del mismo modo, modelos que pronostican la propagación de enfermedades de plantas en función de condiciones climáticas pueden ser cruciales para planificar medidas de control y prevenir brotes que podrían devastar cultivos (Campuzano et al., n.d.). La agroindustria está respondiendo al desafío del cambio climático a través de la adaptación de prácticas, la mejora genética, y el uso de tecnologías

avanzadas y modelos predictivos. Estas acciones no solo son esenciales para asegurar la adaptabilidad y resiliencia de la agricultura moderna, sino que también son cruciales para mantener la seguridad alimentaria global en un futuro incierto y cambiante. La continua investigación y desarrollo en estas áreas serán vitales para avanzar en la capacidad de la agroindustria de manejar los impactos del cambio climático de manera efectiva.

Integración de energías renovables en sistemas agroindustriales

Uso de energías renovables en la agroindustria

La transición hacia energías renovables en la agroindustria es una respuesta crucial a la necesidad de sistemas de producción más sostenibles y menos dependientes de combustibles fósiles. Esta sección explora cómo diferentes formas de energía renovable, incluyendo solar, eólica y biomasa, están siendo integradas en las operaciones agroindustriales para mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética. Por ejemplo, la energía solar fotovoltaica se ha utilizado ampliamente en granjas para alimentar todo, desde sistemas de riego hasta instalaciones de almacenamiento en frío, lo que ayuda a reducir los costos operativos y la huella de carbono (Lee et al., n.d.).

Además, la energía eólica ha encontrado aplicaciones en áreas rurales donde las granjas pueden beneficiarse tanto de la generación de energía como de la venta de excedentes a la red local. La biomasa, que incluye residuos agrícolas y subproductos del procesamiento de alimentos, se convierte en biogás o bioenergía, proporcionando una solución para el manejo de desechos y generando energía de manera sostenible (Pathak et al., 2019b).

La implementación de estas tecnologías no solo contribuye a la autonomía energética de las operaciones agroindustriales, sino que también ofrece oportunidades para el desarrollo económico rural mediante la creación de nuevos mercados y empleos relacionados con la instalación, mantenimiento y gestión de sistemas de energía renovable (Kumar et al., 2021b).

Eficiencia energética y autosuficiencia

El aumento de la eficiencia energética es un objetivo primordial en la integración de energías renovables en la agroindustria. Los avances en tecnología han permitido el desarrollo de sistemas más eficientes que minimizan la pérdida de energía y maximizan el rendimiento. Por ejemplo, los modernos sistemas de riego solar directo permiten a los agricultores aprovechar la energía solar para bombear agua sin necesidad de conversión a electricidad, lo que reduce las pérdidas

energéticas y aumenta la eficiencia general del sistema (Ramesh, n.d.). Además, la autosuficiencia energética se ha convertido en un objetivo alcanzable para muchas operaciones agroindustriales, gracias al uso combinado de diferentes tecnologías renovables. Al diseñar sistemas que combinan solar, eólica, y biomasa, las granjas no solo pueden satisfacer sus propias necesidades energéticas, sino también contribuir a la estabilidad de la red local mediante la generación de energía distribuida. Esto no solo reduce la dependencia de fuentes externas de energía, sino que también proporciona una mayor seguridad y control sobre los recursos energéticos (Esposito et al., 2020).

Implicaciones económicas de la transición energética

La transición hacia energías renovables en la agroindustria tiene profundas implicaciones económicas. A corto plazo, la inversión inicial en tecnologías renovables puede ser significativa, lo que representa un desafío para los agricultores y empresas agroindustriales, especialmente en regiones menos desarrolladas. Sin embargo, los análisis económicos indican que, a largo plazo, los ahorros en costos de energía y los incentivos gubernamentales, como subsidios y tarifas preferenciales, pueden compensar estas inversiones iniciales (Badhotiya et al., n.d.).

Además, la integración de energías renovables ayuda a mitigar el riesgo asociado con la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, proporcionando una fuente de energía más predecible y estable económicamente. También hay un creciente reconocimiento del valor de la "etiqueta verde" en productos agroindustriales, donde la utilización de energías renovables puede mejorar la imagen de marca y abrir nuevos mercados, especialmente entre consumidores conscientes del medio ambiente (Cainelli et al., 2011). Así la integración de energías renovables en la agroindustria es no solo una necesidad ambiental sino también una oportunidad económica. A medida que el sector agroindustrial busca formas de reducir su impacto ambiental y mejorar su sostenibilidad, la adopción de tecnologías renovables se presenta como una estrategia clave para lograr estos objetivos, ofreciendo beneficios tanto inmediatos como a largo plazo. Continuar explorando y optimizando estas integraciones será esencial para el futuro sostenible de la agroindustria (Ogundari & Bolarinwa, 2018).

Implicaciones éticas y sociales de la innovación en la agroindustria

Ética de la innovación tecnológica

La implementación de innovaciones tecnológicas en la agroindustria plantea numerosos desafíos éticos que deben ser abordados para asegurar que los avances tecnológicos contribuyan positivamente al bienestar humano y al medio ambiente. Una preocupación ética significativa es el uso de la biotecnología en la modificación genética de cultivos y animales. Aunque estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la seguridad alimentaria y reducir el impacto ambiental, también generan preocupaciones sobre la seguridad alimentaria a largo plazo, la biodiversidad y los posibles efectos no deseados en los ecosistemas (Gill, 2009).

El debate sobre la propiedad intelectual de las semillas modificadas genéticamente ilustra cómo los intereses comerciales pueden entrar en conflicto con los derechos de los agricultores a guardar y replantar su propia semilla. Las patentes sobre material genético pueden limitar el acceso a tecnologías vitales para los pequeños agricultores, exacerbando las desigualdades existentes en la agroindustria (Bennett & others, 2013). Por lo tanto, es fundamental desarrollar marcos regulatorios que equilibren la innovación tecnológica con la equidad y la justicia social.

Impacto social de las tecnologías agroindustriales

Las innovaciones agroindustriales no solo transforman los sistemas de producción, sino también las estructuras sociales y económicas de las comunidades rurales. El aumento de la mecanización y la automatización, por ejemplo, puede llevar a una disminución de la demanda de mano de obra agrícola, lo que tiene implicaciones significativas para las comunidades que dependen tradicionalmente de la agricultura para su subsistencia (Serageldin, 1999). Sin embargo, estas tecnologías también pueden crear nuevas oportunidades de empleo en áreas como la gestión de datos agrícolas, el mantenimiento de equipos tecnológicos y la logística, requiriendo un cambio en las habilidades de la fuerza laboral rural.

Además, la adopción de tecnologías avanzadas puede mejorar las condiciones de trabajo al reducir la exposición de los trabajadores a pesticidas y otros químicos peligrosos, así como disminuir la carga física del trabajo agrícola. Sin embargo, esto requiere un enfoque consciente y planificado para la capacitación y el desarrollo de habilidades, asegurando que los trabajadores no sean desplazados por la automatización, sino que se les ofrezcan oportunidades para participar en los nuevos aspectos tecnológicos de la agricultura moderna (Qaim, 2009).

Participación y diálogo con la comunidad

La participación activa de las comunidades locales en el desarrollo e implementación de innovaciones agroindustriales es crucial para asegurar que estas tecnologías se adapten a las necesidades y condiciones locales y para minimizar las resistencias al cambio. El diálogo continuo entre desarrolladores tecnológicos, agricultores, consumidores y otros stakeholders puede facilitar una mejor comprensión de las preocupaciones locales y contribuir a la creación de soluciones más sostenibles y aceptables socialmente (Azadi & others, 2015).

Estudios de caso han demostrado que los proyectos que involucran a la comunidad desde las etapas iniciales tienden a tener mayores tasas de adopción y satisfacción entre los participantes. Por ejemplo, en proyectos de desarrollo de energías renovables en zonas rurales, la participación comunitaria no solo ha mejorado la implementación de las tecnologías, sino que también ha fomentado un sentido de propiedad y compromiso con la sostenibilidad de los proyectos (S. Srivastava, 2012). La importancia de abordar las implicaciones éticas y sociales de las innovaciones en la agroindustria. Al centrarse en la ética, el impacto social y la participación comunitaria, el sector puede asegurar que los avances tecnológicos contribuyan efectivamente al desarrollo sostenible y justo. La investigación y el desarrollo continuos en estos temas son esenciales para adaptar las innovaciones agroindustriales a los complejos entornos sociales y éticos en los que operan.

Conclusión general expandida

Este artículo ha explorado en profundidad la interacción entre innovación agroindustrial y desarrollo económico sustentable a través de una revisión bibliográfica extensa y detallada. Hemos analizado cómo las innovaciones en tecnologías, políticas, y prácticas han transformado el sector agroindustrial, enfrentando desafíos cruciales como el cambio climático, la eficiencia energética, y las necesidades éticas y sociales emergentes. Las innovaciones tecnológicas, incluyendo la biotecnología, la agricultura de precisión y las energías renovables, han mostrado un potencial significativo para mejorar la productividad y la sostenibilidad. Sin embargo, la implementación efectiva de estas tecnologías requiere considerar cuidadosamente las variables económicas, ambientales, y sociales para asegurar beneficios a largo plazo y equitativos (U. Srivastava, 2006). Los avances en biotecnología y genética, por ejemplo, han permitido desarrollar cultivos más resistentes y productivos, pero también plantean desafíos éticos y de acceso que deben ser gestionados de manera inclusiva y justa. La agricultura de precisión ha mejorado la utilización de

recursos, pero requiere inversiones significativas en tecnología y capacitación. Por otro lado, la integración de energías renovables ofrece una vía hacia la autosuficiencia energética, aunque su viabilidad económica varía ampliamente entre diferentes contextos geográficos y económicos (Prasad et al., 2012).

Implicaciones para políticas y prácticas futuras

La eficacia de la innovación agroindustrial no solo depende de la tecnología en sí, sino también del entorno político y regulatorio en el que se implementa. Las políticas que apoyan la investigación y el desarrollo, proporcionan incentivos fiscales para la adopción de nuevas tecnologías, y aseguran un marco regulatorio justo y transparente son cruciales para el éxito de las innovaciones. Además, las políticas deben fomentar la equidad en el acceso a estas tecnologías, especialmente en regiones menos desarrolladas, para evitar aumentar las disparidades existentes dentro y entre países (Heydari & Razmkhah, 2014). Además, es esencial que las prácticas agroindustriales se desarrollen con una perspectiva de sostenibilidad a largo plazo, considerando no solo los beneficios económicos inmediatos sino también el impacto ambiental y social. Esto implica integrar principios de economía circular, promover prácticas de agricultura regenerativa, y desarrollar tecnologías que minimicen el daño ambiental. La colaboración entre gobiernos, industria, comunidades académicas y la sociedad civil será fundamental para abordar estos desafíos de manera coordinada y efectiva.

Recomendaciones para investigaciones futuras

Para avanzar en la comprensión y la implementación de innovaciones agroindustriales sustentables, se recomienda una agenda de investigación multidisciplinaria que abarque varios aspectos clave. Primero, es crucial continuar desarrollando y perfeccionando tecnologías que reduzcan la dependencia de recursos no renovables y disminuyan el impacto ambiental de la agricultura. Esto incluye la mejora de técnicas de biotecnología, sistemas de agricultura de precisión más accesibles, y soluciones de energía renovable adaptadas a diversas condiciones agrícolas y climáticas. Segundo, los estudios económicos deben profundizar en la evaluación de la rentabilidad y los modelos de negocio sostenibles para la adopción de estas tecnologías. Es vital entender los obstáculos económicos que enfrentan los agricultores, especialmente en países en desarrollo, y desarrollar mecanismos de financiamiento y mercado que faciliten la transición a prácticas más sostenibles (Adenle et al., 2012; Schieffer & Dillon, n.d.; Vecchio et al., 2020).

Se necesita más investigación sobre las dinámicas sociales y culturales que influyen en la adopción de innovaciones agroindustriales. Esto incluye entender mejor cómo las percepciones, actitudes y estructuras sociales afectan la adopción de nuevas tecnologías y prácticas, y cómo estas tecnologías pueden ser adaptadas o modificadas para ser más aceptables y efectivas en diferentes contextos culturales, mientras que la innovación agroindustrial ofrece enormes oportunidades para mejorar la sostenibilidad y eficiencia del sector agrícola, su éxito y sostenibilidad a largo plazo dependerán de un enfoque equilibrado que considere tanto los avances tecnológicos como las necesidades humanas y ambientales. La colaboración continua entre disciplinas y sectores será esencial para realizar el potencial completo de las innovaciones en la agroindustria.

Referencias

1. Adenle, A., Sowe, S. K., Parayil, G., & Aginam, O. (2012). Analysis of open source biotechnology in developing countries: An emerging framework for sustainable agriculture. *Technology in Society*, 34, 256–269. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2012.07.004>
2. Ammann, K. (2009). Why farming with high tech methods should integrate elements of organic agriculture. *New Biotechnology*, 25, 6, 378–388. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2009.06.933>
3. Azadi, H., & others. (2015). Genetically modified crops and small-scale farmers: main opportunities and challenges. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36, 434–446. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.990413>
4. Badhotiya, G. K., Avikal, S., Soni, G., & Sengar, N. (n.d.). Analyzing barriers for the adoption of circular economy in the manufacturing sector. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2021-0021>
5. Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wal, T. V. D., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., & Eory, V. (2017). Precision Agriculture Technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9, 1339. <https://doi.org/10.3390/SU9081339>
6. Barnes, A., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., Wal, T. V. D., & Gómez-Barbero, M. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2018.10.004>

7. Bennett, A., & others. (2013). Agricultural Biotechnology: Economics, Environment, Ethics, and the Future. *Annual Review of Environment and Resources*, 38, 249–279. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENVIRON-050912-124612>
8. Bocchi, S., Christiansen, S., Oweis, T., Porro, A., & Sala, S. (2012). Research for the innovation of the agri-food system in international cooperation. *Italian Journal of Agronomy*, 7, 36. <https://doi.org/10.4081/IJA.2012.E36>
9. Borremans, L., Marchand, F., Visser, M., & Wauters, E. (2018). Nurturing agroforestry systems in Flanders: Analysis from an agricultural innovation systems perspective. *Agricultural Systems*, 162, 205–219. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2018.01.004>
10. Burgess, P., & Rosati, A. (2018). Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. *Agroforestry Systems*, 92, 801–810. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0261-3>
11. Cainelli, G., Mazzanti, M., & Montresor, S. (2011). Environmental Innovations, Local Networks and Internationalization. *Industry and Innovation*, 19, 697–734. <https://doi.org/10.1080/13662716.2012.739782>
12. Campuzano, L. R., Hincapié Llanos, G. A., Zartha Sossa, J. W., Orozco Mendoza, G. L., Palacio, J. C., & Herrera, M. (n.d.). Barriers to the Adoption of Innovations for Sustainable Development in the Agricultural Sector—Systematic Literature Review (SLR). *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15054374>
13. Esposito, B., Sessa, M., Sica, D., & Malandrino, O. (2020). Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12, 7401. <https://doi.org/10.3390/su12187401>
14. Feder, G., Just, R., & Zilberman, D. (1985a). Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33, 255–298. <https://doi.org/10.1086/451461>
15. Feder, G., Just, R., & Zilberman, D. (1985b). Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33, 255–298. <https://doi.org/10.1086/451461>
16. Feder, G., & Umali, D. (1993). The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, 43, 215–239. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(93\)90053-A](https://doi.org/10.1016/0040-1625(93)90053-A)

17. Gill, B. (2009). Property claims in genetically and non-genetically modified crops: intellectual property rights vs. brand property rights in postindustrial knowledge societies. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 8, 14–36. <https://doi.org/10.1504/IJARGE.2009.023074>
18. Gliessman, S. (2016). Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40, 187–189. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>
19. Herrera, S. I. O., Kallas, Z., Serebrennikov, D., Thorne, F., & McCarthy, S. (2023). Towards circular farming: factors affecting EU farmers' decision to adopt emission-reducing innovations. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 21. <https://doi.org/10.1080/14735903.2023.2270149>
20. Heydari, B., & Razmkhah, N. (2014). Intellectual Property Right of Transgenic Crops and Right to Work: Bioethical Challenges in Rural Communities. *Bangladesh Journal of Bioethics*, 5(2), 49–60. <https://doi.org/10.3329/BIOETHICS.V5I2.19619>
21. Jesus, G. M. K., & Jugend, D. (n.d.). How can open innovation contribute to circular economy adoption? Insights from a literature review. *European Journal of Innovation Management*. <https://doi.org/10.1108/ejim-01-2021-0022>
22. Kumar, S. P., Raut, R. D., Nayal, K., Kraus, S., Yadav, V., & Narkhede, B. (2021a). To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126023. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126023>
23. Kumar, S. P., Raut, R. D., Nayal, K., Kraus, S., Yadav, V., & Narkhede, B. (2021b). To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. *Journal of Cleaner Production*, 293. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126023>
24. Lee, C.-L., Strong, R., & Dooley, K. (n.d.). Analyzing Precision Agriculture Adoption Across the Globe: A Systematic Review of Scholarship from 1999 – 2020. *Sustainability*. <https://doi.org/10.20944/preprints202106.0625.v1>
25. Lee, C.-L., Strong, R., & Dooley, K. (2021). Analyzing Precision Agriculture Adoption Across the Globe: A Systematic Review of Scholarship from 1999 – 2020. *Sustainability*. <https://doi.org/10.20944/preprints202106.0625.v1>

26. Long, T. B., Blok, V., & Coninx, I. (2016). Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy. *Journal of Cleaner Production*, 112, 9–21. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.06.044>
27. Martinho, V., & Guiné, R. (2021). Integrated-Smart Agriculture: Contexts and Assumptions for a Broader Concept. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081568>
28. Masi, M., Pasquale, J. Di, Vecchio, Y., & Capitanio, F. (2023). Precision Farming: Barriers of Variable Rate Technology Adoption in Italy. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land12051084>
29. Mercer, D. (2004). Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. *Agroforestry Systems*, 61–62, 311–328. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029007.85754.70>
30. Ogundari, K., & Bolarinwa, O. (2018). Impact of agricultural innovation adoption: a meta-analysis. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 62, 217–236. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12247>
31. Pathak, H. S., Brown, P., & Best, T. (2019a). A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. *Precision Agriculture*, 20, 1292–1316. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x>
32. Pathak, H. S., Brown, P., & Best, T. (2019b). A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. *Precision Agriculture*, 20, 1292–1316. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x>
33. Prasad, R., Bagde, U., & Varma, A. (2012). An overview of intellectual property rights in relation to agricultural biotechnology. *African Journal of Biotechnology*, 11, 13476–13752. <https://doi.org/10.5897/AJB12.262>
34. Qaim, M. (2009). The Economics of Genetically Modified Crops. *Annual Review of Resource Economics*, 1, 665–694. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.RESOURCE.050708.144203>
35. Ramesh, S. (n.d.). Agribusiness Innovations: Navigating Sustainable Agriculture and Animal Production in the Global Marketplace. *International Journal of Agriculture and Animal Production*. <https://doi.org/10.55529/ijaap.21.25.30>

36. Rosario, J., Madureira, L., Marques, C., & Silva, R. (n.d.). Understanding Farmers' Adoption of Sustainable Agriculture Innovations: A Systematic Literature Review. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112879>
37. Schieffer, J., & Dillon, C. (n.d.). Precision agriculture and agro-environmental policy. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-778-3_93
38. Serageldin, I. (1999). Biotechnology and food security in the 21st century. *Science*, 285(5426), 387–389. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.285.5426.387>
39. Srivastava, S. (2012). Patenting of agriculture biotechnology and food security: options and challenges. *International Journal of Public Law and Policy*, 2, 35. <https://doi.org/10.1504/IJPLAP.2012.045222>
40. Srivastava, U. (2006). Intellectual Property Rights and Agro-biodiversity. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*, 19, 1–11. https://consensus.app/papers/intellectual-property-rights-agrobiodiversity-srivastava/074119587df35bc8837d66708ba9366a/?utm_source=chatgpt
41. Sultan, Dr. A. E. – Q. S. (2021). Future prospects for sustainable agricultural development. *International Journal of Modern Agriculture and Environment*. <https://doi.org/10.21608/ijmae.2023.215952.1012>
42. Tafere, S. M., & Nigussie, Z. A. (2018). The adoption of introduced agroforestry innovations: determinants of a high adoption rate – a case-study from Ethiopia. *Forests, Trees and Livelihoods*, 27, 175–194. <https://doi.org/10.1080/14728028.2018.1493954>
43. Takacs-Gyorgy, K. (2012). ECONOMIC ASPECTS OF AN AGRICULTURAL INNOVATION – PRECISION CROP PRODUCTION. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, 06, 51–57. <https://doi.org/10.19041/APSTRACT/2012/1-2/6>
44. Tey, Y., & Brindal, M. (2012a). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13, 713–730. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9273-6>
45. Tey, Y., & Brindal, M. (2012b). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13, 713–730. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9273-6>

46. Tey, Y., & Brindal, M. (2021). A meta-analysis of factors driving the adoption of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 23, 353–372. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09840-9>
47. Tollens, E., Demont, M., & Swennen, R. (2004). Agrobiotechnology in Developing Countries. *Outlook on Agriculture*, 33, 231–238. <https://doi.org/10.5367/0000000042664837>
48. Ulloa-de Souza, R. C., Reyna-Tenorio, L. J., & Chere-Quiñónez, B. F. (2022). Liquid level sensor for special applications such as agricultural machinery or ships. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(7), 139–148. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i7.521>
49. Vecchio, Y., Agnusdei, G. P., Miglietta, P., & Capitanio, F. (2020). Adoption of Precision Farming Tools: The Case of Italian Farmers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030869>
50. Watts, N., & Scales, I. R. (2015). Seeds, Agricultural Systems and Socio-natures: Towards an Actor–Network Theory Informed Political Ecology of Agriculture. *Geography Compass*, 9(5), 225–236. <https://doi.org/10.1111/gec3.12212>

© 2024 por el autor. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).