

TECNOLOGÍAS DIGITALES: *La agricultura del futuro frente al cambio climático*

La agricultura mundial se encuentra en una encrucijada crítica. Por un lado, la demanda de alimentos no deja de crecer, con una población global que se acercará a los 10.000 millones de personas para 2050. Por otro, el sector se enfrenta a desafíos ambientales sin precedentes, siendo el cambio climático uno de los más acuciantes. Este fenómeno no solo amenaza la productividad y la calidad de los cultivos, sino que también exacerba problemas como la escasez de agua, la degradación del suelo y la proliferación de plagas y enfermedades.

PARRA-LÓPEZ, C.*; BEN ABDALLAH, S.; GARCIA-GARCIA, G.; HASSOUN, A.; SÁNCHEZ-ZAMORA, P.; TROLLMAN, H.; JAGTAP, S.; CARMONA-TORRES, C.

*Área de Economía de la Cadena Alimentaria. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA)

En este escenario complejo, la “Agricultura 4.0” emerge como una respuesta fundamental. Este paradigma, basado en la aplicación de tecnologías digitales avanzadas como la inteligencia artificial, el *big data*, el internet de las cosas (IoT) o la teledetección, promete transformar la forma en que producimos alimentos. Su objetivo es hacer la agricultura más eficiente, productiva y, también, más sostenible y resiliente frente a los impactos del cambio climático. Este artículo explora cómo estas herramientas están transformando el sector, ofreciendo soluciones innovadoras tanto para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas como para la mitigación de la propia contribución agrícola al problema.

El cambio climático y la agricultura: Una relación bidireccional

El cambio climático y la agricultura mantienen una relación compleja y bidireccional, donde cada uno influye significativamente en el otro. La

agricultura es responsable de cerca del 30% de las emisiones antropogénicas globales, mientras que el cambio climático amenaza directamente la producción de alimentos (Lal, 2021). Comprender esta interacción es clave para desarrollar estrategias efectivas.

Impacto del cambio climático en la agricultura

Los efectos del cambio climático en la agricultura son múltiples y severos:

- **Aumento de temperaturas:** Las temperaturas más elevadas pueden reducir la duración de la temporada de crecimiento de los cultivos, lo que lleva a una maduración prematura y, en última instancia, a menores rendimientos (Lobell *et al.*, 2011). Cultivos esenciales como el trigo y el maíz son particularmente sensibles, con caídas significativas en la producción en diversas regiones (Asseng *et al.*, 2015). Además, el calor incrementa la evapotranspiración, intensificando la escasez de agua y la demanda hídrica de los cultivos.
- **Variabilidad en las precipitaciones:**

Los cambios en los patrones de lluvia presentan un doble desafío. Por un lado, el aumento de la agresividad de las lluvias en algunas zonas provoca anegamientos, erosión del suelo y lixiviación de nutrientes (Diodato *et al.*, 2011). Por otro, la disminución de las precipitaciones en otras regiones conduce a sequías más frecuentes e intensas (Trenberth, 2011), complicando la planificación agrícola y amenazando la seguridad alimentaria.

- **Eventos climáticos extremos:** La frecuencia e intensidad de fenómenos como tormentas, inundaciones y sequías extremas han aumentado y se espera que continúen haciéndolo (Furtak & Wolińska, 2023). Estos eventos causan daños directos a los cultivos y las tierras de cultivo, resultando en pérdidas significativas de productividad y dificultando la recuperación a largo plazo (De Winne & Peersman, 2021).
- **Proliferación de plagas y enfermedades:** Los climas más cálidos y húmedos favorecen la supervivencia y propagación de muchas plagas y enfermedades (Skendžić *et al.*, 2021).



Esto exige nuevas estrategias de manejo y puede aumentar la dependencia de pesticidas químicos, con sus consiguientes impactos ambientales y para la salud humana.

- Efecto de fertilización por CO₂: Aunque el aumento de los niveles de CO₂ en la atmósfera puede estimular el crecimiento de las plantas y potencialmente aumentar los rendimientos, estos beneficios suelen verse contrarrestados por los efectos negativos de las temperaturas más altas y la menor disponibilidad de agua (Lenka & Lal, 2012).

Contribución de la agricultura al cambio climático

La agricultura también es un contribuyente significativo al cambio climático a través de varios mecanismos:

- **Emissiones de gases de efecto invernadero (GEI):** El sector ganadero es una fuente importante de metano y óxido nitroso (Kebreab *et al.*, 2006), principalmente debido a la fermentación entérica de los rumiantes y la

gestión del estiércol. El uso de fertilizantes sintéticos y la deposición de excrementos animales en los suelos también liberan óxido nitroso (De Cara *et al.*, 2005).

- Deforestación y cambio de uso del suelo: La expansión agrícola a menudo implica la deforestación, lo que libera grandes cantidades de carbono almacenado en la biomasa forestal y los suelos a la atmósfera, y reduce la capacidad de la Tierra para absorber CO₂ (Molotoks *et al.*, 2018).
- Pérdida de carbono orgánico del suelo: Las prácticas agrícolas intensivas, como la labranza convencional y el sobrepastoreo, degradan los suelos y reducen su contenido de carbono orgánico. La labranza expone la materia orgánica al oxígeno, acelerando su descomposición y liberando CO₂ (Nath & Lal, 2017).
- Uso de energía: La agricultura moderna depende en gran medida de los combustibles fósiles para la producción de fertilizantes, pesticidas, bombeo de agua para riego, maquinaria agrícola y transporte de productos,

lo que resulta en emisiones significativas de CO₂ (Peduzzi & Harding Rohr Reis, 2012).

Estrategias para una agricultura resiliente

Ante estos desafíos, el sector agrícola está desarrollando diversas estrategias de adaptación y mitigación, muchas de las cuales pueden potenciarse con el uso de tecnologías digitales.

Mejora de cultivos

Esta estrategia busca aumentar la compatibilidad de la biología de los cultivos con los climas actuales y proyectados. Incluye el desarrollo de variedades más resistentes a estrés ambientales como sequías, salinidad, inundaciones o plagas (Jatav, 2024). La combinación de la fenómica y la genómica con tecnologías innovadoras puede acelerar la creación de cultivos adaptados al clima (Benitez-Alfonso *et al.*, 2023). También implica ajustar los calendarios de siembra y cosecha, o incluso reubicar la producción agrícola a zonas más adecuadas.

Gestión eficiente del agua

Fundamental para hacer frente a la escasez hídrica. Se basa en tecnologías de riego de precisión (goteo, aspersión, microirrigación) (Mi *et al.*, 2021), riego deficitario y el uso de fuentes de agua no convencionales, como aguas residuales tratadas o agua de mar desalinizada (Martínez-Álvarez *et al.*, 2023). Aunque estas últimas pueden ser energéticamente intensivas, su optimización es crucial.

Salud del suelo

Las prácticas de conservación del suelo, como la siembra directa, la labranza mínima y la retención de residuos de cultivos, mejoran el carbono orgánico del suelo, la eficiencia del uso del agua, la biodiversidad de la macrofauna y controlan la erosión (Hashimi *et al.*, 2023). Los cortavientos también protegen los cultivos y el suelo.

Diversificación agrícola

Implica cambios profundos en los sistemas agrícolas, adoptando alternativas agroecológicas como sistemas agroforestales, cultivos mixtos o rotación de cultivos (Burgess *et al.*, 2022). Esto reduce la necesidad de insumos externos, estabiliza los rendimientos y fomenta la biodiversidad.

Reducción de emisiones ganaderas

El sector ganadero es un gran emisor de GEI. Las estrategias incluyen mejoras en la dieta y nutrición animal para reducir el metano entérico (Chiriaco & Valentini, 2021), el uso de inhibidores de metano y la gestión precisa del ganado. La gestión adecuada del estiércol, incluyendo su uso para la producción de biogás, también es clave (Alif *et al.*, 2024).

Uso sostenible de insumos agrícolas

Mejorar el uso de fertilizantes nitrogenados, combustibles fósiles y pesticidas convencionales es crucial. Las estrategias van desde la adopción de prácticas de agricultura orgánica e integrada (Squalli & Adamkiewicz, 2023) hasta prácticas menos inten-

sivas en energía y la agricultura de precisión.

Cambio de uso del suelo

Esta estrategia busca aumentar el potencial de mitigación mediante la forestación o reforestación de tierras no utilizadas, y el cambio de sistemas de cultivos anuales a cultivos arbóreos perennes (Chiriaco & Valentini, 2021).

Tecnologías digitales: Herramientas para la transformación

Las tecnologías digitales son el motor de la "Agricultura 4.0", ofreciendo soluciones innovadoras para los desafíos climáticos. A continuación, exploramos cómo cada una de ellas puede contribuir a una agricultura más resiliente y sostenible.

- Teledetección

La teledetección permite recopilar información sobre objetos sin contacto físico, utilizando plataformas aéreas (drones) o satelitales equipadas con sensores (Ullo & Sinha, 2021). En agricultura, se utiliza para:

- Monitoreo de cultivos y predicción de rendimientos: Evalúa el estado de los cultivos, la salud de la vegetación y predice cosechas, facilitando una gestión precisa de insumos (Mehedi *et al.*, 2024).
- Gestión del agua: Monitorea la humedad del suelo y el estado hídrico de la vegetación, especialmente en zonas áridas, ayudando a optimizar el riego (Ramat *et al.*, 2023).
- Detección de daños: Drones con cámaras hiperespectrales pueden identificar daños en cultivos causados por eventos extremos como granizadas (Furlanetto *et al.*, 2024).
- Monitoreo ambiental: Ayuda a detectar la deforestación ilegal y los incendios forestales, permitiendo una intervención rápida (Sanli, 2023).

- Big data

El *big data* se refiere a la recopilación, almacenamiento, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos de diversas fuentes (Cravero *et al.*, 2022).

Sus aplicaciones en agricultura incluyen:

- Modelos predictivos: Permite predecir escasez de agua, brotes de plagas y enfermedades, o condiciones del suelo, ayudando a los agricultores a planificar con antelación (Luyckx & Reins, 2022).
- Genómica para la resiliencia de cultivos: El análisis de *big data* genómico ayuda a identificar y desarrollar variedades de cultivos adaptadas a condiciones climáticas adversas (Cortés & López-Hernández, 2021).
- Monitoreo ambiental: Marcos de datos adaptativos basados en observaciones de la Tierra pueden proporcionar monitoreo ambiental a medida de las necesidades de diferentes interesados (Temenos *et al.*, 2024).
- Gestión de recursos del suelo: Predicciones basadas en *big data* pueden ayudar a gestionar los recursos del suelo y el carbono orgánico en regiones semiáridas (Hinge *et al.*, 2021).

- Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) se refiere a sistemas capaces de exhibir un comportamiento inteligente al analizar su entorno y tomar decisiones autónomas para lograr objetivos específicos (Ryan *et al.*, 2022). En agricultura, la IA se aplica para:

- Identificación y seguimiento de plagas: Modelos predictivos basados en IA pueden pronosticar la propagación de plagas y ayudar a prevenir o mitigar su impacto, reduciendo el uso de pesticidas (Chithambarathanu & Jeyakumar, 2023).
- Manejo de malas hierbas: Sistemas de IA para la detección y clasificación de malas hierbas permiten la aplicación selectiva de herbicidas, minimizando el desperdicio y el impacto ambiental (Espejo-García *et al.*, 2020).
- Optimización del riego y conservación del agua: La IA mejora la eficiencia del uso del agua al adaptar el riego a las necesidades reales de los cultivos, basándose en predicciones climáticas y datos del suelo (Patel *et al.*, 2023).

- **Predicción climática y gestión de cosechas:** Modelos climáticos más precisos permiten a los agricultores tomar decisiones informadas sobre cuándo plantar, regar y cosechar, minimizando pérdidas (Esteves *et al.*, 2019).
- **Cosecha y post-cosecha:** Sistemas automatizados de cosecha identifican la madurez óptima de los frutos, reduciendo el desperdicio. Algoritmos avanzados clasifican productos por calidad y tamaño, mejorando la distribución (Chen *et al.*, 2023). En la práctica, esto se traduce para el agricultor en menos pérdidas, mayor calidad del producto final y una mejor planificación de la mano de obra.

- Internet de las cosas

El Internet de las cosas (IoT) implica una red de dispositivos conectados (sensores, maquinaria) que recopilan

y transfieren datos sin intervención humana (Dhanaraju *et al.*, 2022). Sus aplicaciones incluyen:

- **Monitoreo automatizado de cultivos:** Sensores en el campo recogen datos sobre humedad del suelo, patrones climáticos y niveles de fertilizantes, optimizando el riego y la producción (Zhang & Wang, 2024).
- **Gestión de fertilizantes de precisión:** Permite la aplicación precisa de nutrientes, reduciendo el desperdicio y el impacto ambiental.
- **Sistemas de alerta temprana:** Detecta y reporta actividades como la deforestación ilegal o proporciona alertas tempranas para desastres naturales como inundaciones (Miah *et al.*, 2021).
- **Evaluación de la calidad del suelo:** Sensores IoT evalúan las características del suelo, informando sobre la

idoneidad de la tierra para diferentes cultivos.

- Nanotecnología

La nanotecnología se utiliza para reducir el tamaño de partículas a escala nanométrica, mejorando sus propiedades físicas y biológicas (Ramanayaka *et al.*, 2020). En agricultura, contribuye a:

- **Secuestro de carbono y reducción de emisiones:** El nano-biocarbón, producido a partir de biomasa, puede aumentar el secuestro de carbono en el suelo y reducir las emisiones de metano y óxido nitroso (Sani *et al.*, 2023).
- **Nanofertilizantes y nanopesticidas:** Permiten una liberación controlada de ingredientes activos, aumentando la eficiencia del uso de nutrientes y la tolerancia de las plantas a estreses bióticos y abióticos, reduciendo el impacto ambiental (Abdel-Aziz *et al.*, 2023).

DISEÑO HIDRÁULICO Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE RIEGO POR GOTEO

Miguel A. Monge Redondo

15€



editorial
agrícola

Una marca de

grupo hencar
comunicación

Pedidos a:

Editorial Agrícola Española S.A.

Tlf: 91 521 16 33 / libros@editorialagricola.com

www.editorialagricola.com

- Robots

Los robots agrícolas, aunque aún no tan extendidos como en otras industrias, ofrecen soluciones para:

- **Pulverización dirigida:** Robots equipados con sensores pueden detectar y clasificar plantas, aplicando herbicidas o pesticidas solo donde es necesario. Esto reduce significativamente el uso de químicos, los costes y los riesgos para la salud (Li *et al.*, 2022).
- **Cosecha automatizada:** Robots capaces de identificar la madurez óptima de los frutos y cosecharlos de forma selectiva, minimizando el desperdicio y optimizando el tiempo de cosecha (Shamshiri *et al.*, 2018).
- **Detección de enfermedades:** La detección temprana de enfermedades en grandes campos agrícolas permite tratamientos rápidos y precisos.

- Blockchain

Esta tecnología de registro distribuido registra transacciones en múltiples ordenadores, garantizando inmutabilidad, transparencia y trazabilidad

(KPMG, 2021). En el sector agroalimentario, se está explorando para:

- **Mejora de la trazabilidad y calidad alimentaria:** Aumenta la confianza del consumidor al proporcionar un historial digital completo de los productos, desde la granja hasta la mesa (Feng *et al.*, 2020).
- **Gestión de mercados de carbono:** Facilita el seguimiento y la verificación de proyectos de compensación de carbono en la agricultura, promoviendo prácticas más sostenibles (Vilkov & Tian, 2023).
- **Apoyo a la adaptación y mitigación:** Puede respaldar técnicas de adaptación al cambio climático a través de financiación climática y mejorar el monitoreo de los esfuerzos de mitigación.

Para ofrecer una visión de conjunto y facilitar la comprensión de su impacto, la **Tabla 1** resume cómo las principales tecnologías digitales responden directamente a los desafíos climáticos más acuciantes que enfrenta la agricultura.

Esta matriz evidencia la sinergia entre las diferentes herramientas de la Agricultura 4.0, cuyo verdadero potencial se alcanza cuando se integran para ofrecer soluciones holísticas y adaptativas.

Además, la **Tabla 2** ilustra cómo las herramientas digitales se aplican de forma práctica para implementar las estrategias de resiliencia vistas al principio.

Desafíos y oportunidades para el futuro

La integración de las tecnologías digitales en la agricultura, aunque prometedora, no está exenta de desafíos:

- **Brecha digital y accesibilidad:** Uno de los principales obstáculos es la brecha digital, que limita el acceso a estas tecnologías en regiones rurales y en desarrollo (Anastasiadis *et al.*, 2018). Los altos costes iniciales, la complejidad de las herramientas y la falta de capacitación son barreras significativas para pequeños agricultores (Sheik, 2023).

TABLA 1

Matriz de soluciones digitales frente a los desafíos climáticos en la agricultura

DESAFÍO CLIMÁTICO	TELEDETECCIÓN (SATÉLITES, DRONES)	BIG DATA	INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)	INTERNET DE LAS COSAS (IOT)
Escasez de agua y variabilidad de precipitaciones	Monitoreo de la humedad del suelo y del estrés hídrico de los cultivos para optimizar el riego.	Análisis de datos históricos y climáticos para predecir la disponibilidad de agua a nivel de cuenca.	Algoritmos que calculan las necesidades hídricas exactas del cultivo y automatizan el riego de precisión.	Sensores en campo que miden la humedad del suelo en tiempo real y activan sistemas de riego solo cuando es necesario.
Eventos climáticos extremos (sequías, inundaciones)	Evaluación rápida y precisa de los daños en los cultivos tras un evento extremo (granizo, inundación).	Modelos predictivos que alertan sobre la probabilidad de sequías o inundaciones, permitiendo tomar medidas preventivas.	Sistemas de alerta temprana basados en modelos climáticos avanzados para minimizar pérdidas.	Redes de sensores que detectan cambios bruscos en las condiciones (ej. nivel de ríos) para generar alertas automáticas.
Proliferación de plagas y enfermedades	Detección temprana de focos de infestación mediante imágenes multispectrales antes de que sean visibles al ojo humano.	Cruce de datos climáticos, de cultivos y de plagas para predecir brotes y su posible dispersión geográfica.	Modelos de reconocimiento de imágenes para identificar plagas o enfermedades específicas y recomendar tratamientos.	Trampas inteligentes con sensores que reportan la presencia y cantidad de insectos en tiempo real.
Degradación del suelo y pérdida de carbono	Mapeo del contenido de carbono orgánico del suelo y seguimiento de la erosión a gran escala.	Análisis de grandes volúmenes de datos de suelo para recomendar prácticas de manejo que mejoren la salud del suelo.	Algoritmos que optimizan la rotación de cultivos y las prácticas de labranza para maximizar el secuestro de carbono.	Sensores de suelo que monitorean nutrientes, pH y materia orgánica, facilitando una gestión precisa de la fertilidad.
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Monitoreo de la deforestación (cambio de uso del suelo) y de la biomasa para calcular las emisiones de carbono.	Análisis de datos de toda la cadena de valor para identificar los puntos críticos de emisión y calcular la huella de carbono.	Optimización del uso de fertilizantes nitrogenados para reducir las emisiones de N ₂ O.	Sensores en el ganado o en las instalaciones para monitorear las emisiones de metano y optimizar la gestión del estiércol.

CAUDAL IMPULSA LA EFICIENCIA DEL RIEGO CON LA INCORPORACIÓN DE 'CU PROTECT' EN EL GOTERO PC700 AS

Cuando en 1995 Caudal, la especialista en soluciones de riego, se adentró en el sector, hablar de automatización parecía algo muy lejano. Sin embargo, gracias al avance tecnológico y al trabajo de la lumbrense durante estos treinta años, esta práctica se ha convertido en una herramienta esencial para sacar rentabilidad y precisión en sus cultivos.



refuerzan la eficiencia y la sostenibilidad de sus sistemas. En esa línea, ha actualizado recientemente su catálogo con la nueva versión del gotero PC700 AS, que ahora está disponible con la configuración 'Cu Protect'. Una tecnología que integra óxido de cobre (Cu_2O) directamente en el material del gotero durante el proceso de fabricación, lo que hace que actúe como una barrera protectora, evitando el desgaste, la acumulación de residuos y la proliferación de microorganismos. De este modo, se prolonga la vida útil de las instalaciones y se mantiene la eficiencia hidráulica del sistema a lo largo del tiempo.

Esta incorporación refuerza el carácter sostenible del PC700 AS, diseñada

Caudal

Water. People. Future.

con un gotero plano que optimiza el reparto del caudal y reduce las pérdidas de carga. Esta solución de riego por goteo destaca por su eficiencia en instalaciones de gran extensión, donde se requieren grandes longitudes de ramales.

Asimismo, también es idónea para terrenos con pendientes, ya que la precisión en la distribución del agua resulta esencial para mantener la uniformidad del riego. Gracias a su sistema auto compensante, garantiza un caudal constante dentro de su rango de trabajo (0,7 a 4 bar), asegurando que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua.

La compañía pone el riego inteligente al alcance de todos

Su compromiso con la innovación va más allá del desarrollo de productos. Impulsa el modelo de riego eficiente, ofreciendo pautas claras sobre qué significa automatizar el riego, qué herramientas intervienen y qué beneficios aporta en el día a día.

Gracias a sensores de humedad, electroválvulas y control remoto, entre otros elementos, los agricultores pueden ajustar la dosis de agua y energía en función de las condiciones reales del cultivo, logrando ahorros de entre un 30% y un 60% en cada campaña. La visión de la empresa es acompañar a sus clientes en todo el proceso. Para ello, analiza las fincas, diseña sistemas a medida, coordina la instalación y enseña a manejarlo desde el móvil. Así, la tecnología se convierte en una herramienta sencilla y accesible, que ahorra tiempo y mejora los resultados. Frente al riego manual, que siempre deja margen para el exceso o falta de agua, hoy los sistemas automatizados garantizan una aplicación más precisa y uniforme. Esa diferencia se nota en el ahorro, en la productividad y en la tranquilidad de quienes trabajan el campo.

➊ <https://caudal.es>

La empresa murciana celebra tres décadas de innovación sumando nuevos avances y acercando la automatización a los agricultores

Durante su trayectoria, ha mostrado que la automatización puede ser una aliada cercana del agricultor, capaz de adaptarse a las necesidades reales del campo, y, lo que comenzó como una apuesta por la innovación, se ha consolidado hoy como un estándar de eficiencia y control. Logros que la han llevado a estar presente en más de 40 países. Además de estar cerca de los agricultores para ayudarles con la implementación de estas nuevas tecnologías, la compañía continúa integrando en su propuesta últimos desarrollos que

TABLA 2
Aplicación de tecnologías digitales en estrategias de agricultura resiliente.

ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN/MITIGACIÓN	TECNOLOGÍAS DIGITALES CLAVE	EJEMPLOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA
Gestión eficiente del agua	IoT, teledetección, IA	Sensores de humedad del suelo (IoT) envían datos a una plataforma que, mediante un algoritmo de IA y datos satelitales (teledetección), activa un sistema de riego por goteo de forma autónoma y precisa.
Salud del suelo y secuestro de carbono	Teledetección, <i>big data</i> , nanotecnología	Se utilizan imágenes satelitales (teledetección) para mapear la materia orgánica. Estos datos, junto con análisis históricos (<i>big data</i>), guían la aplicación de nano-biocarbón para mejorar la estructura y el secuestro de carbono del suelo.
Mejora de cultivos y fenotipado	<i>Big data</i> , IA, robótica	Robots equipados con sensores capturan miles de imágenes de un campo experimental. Un sistema de IA analiza estos datos (<i>big data</i>) para identificar las plantas con rasgos de resistencia a la sequía, acelerando el proceso de mejora genética.
Reducción de emisiones ganaderas	IoT, IA, <i>blockchain</i>	Collares con sensores (IoT) monitorean la salud y la rumia de cada animal. La IA analiza los datos para ajustar su dieta y reducir las emisiones de metano. Los datos de reducción de emisiones se registran en <i>blockchain</i> para un mercado de créditos de carbono.
Uso sostenible de insumos (fertilizantes, pesticidas)	Robótica, IA, teledetección	Un dron (teledetección) escanea el campo e identifica áreas con malas hierbas o deficiencias de nitrógeno. Un robot pulverizador autónomo, guiado por IA, aplica herbicida o fertilizante únicamente en esas zonas específicas, reduciendo el uso de químicos.
Trazabilidad y mercados de carbono	<i>Blockchain</i> , IoT	Sensores (IoT) registran el uso de agua y fertilizantes en una parcela. Estos datos inmutables se registran en una cadena de bloques (<i>blockchain</i>), permitiendo al consumidor final verificar las prácticas sostenibles del producto y al agricultor vender créditos de carbono verificados.

- **Privacidad y seguridad de los datos:** A medida que la agricultura se vuelve más dependiente de los datos, surgen preocupaciones sobre la privacidad y seguridad, lo que requiere marcos de gobernanza de datos robustos (Jouanjean *et al.*, 2020).
- **Impacto ambiental de la tecnología:** El consumo de energía y la generación de residuos electrónicos asociados con las tecnologías digitales también son aspectos a considerar (Samuel *et al.*, 2022).

Sin embargo, estos desafíos abren grandes oportunidades:

- **Inversión en infraestructura y capacitación:** Es crucial invertir en infraestructura digital y programas de capacitación para aumentar la alfabetización digital de los agricultores (Samadder *et al.*, 2023).
- **Incentivos financieros:** La creación de subsidios y préstamos a bajo interés puede reducir la carga económica inicial y fomentar la adopción tecnológica.
- **Soluciones escalables y adaptadas:** Es fundamental desarrollar soluciones digitales que sean asequibles, fáciles de usar y adaptadas a los

contextos locales y las necesidades específicas de los agricultores (Mabuya & Porciello, 2022).

- **Colaboración:** La colaboración entre investigadores, responsables políticos, desarrolladores tecnológicos y agricultores es esencial para maximizar el potencial de estas innovaciones (Balasundram *et al.*, 2023). La integración de tecnologías digitales en la agricultura no es solo una cuestión técnica, sino también social y económica, que requiere un esfuerzo colectivo para asegurar un futuro sostenible (Parra-López *et al.*, 2024).

Conclusión: Una llamada a la acción

La transformación digital de la agricultura es una vía prometedora para abordar los desafíos interconectados del cambio climático y la seguridad alimentaria global. Las tecnologías digitales ofrecen herramientas sin precedentes para optimizar el uso de recursos, mejorar la toma de decisiones y facilitar prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles. Para aprovechar plenamente este potencial, es fundamental que investigadores, responsables políticos, desa-

rolladores tecnológicos y agricultores trabajen juntos. Se necesitan políticas de apoyo, marcos de gobernanza de datos claros, inversiones en infraestructura y capacitación, y el desarrollo de soluciones adaptadas y accesibles. Solo así podremos construir un futuro agrícola más sostenible, eficiente y resiliente, garantizando la alimentación de una población creciente sin comprometer la salud de nuestro planeta.

NOTA: El presente artículo se basa en el artículo científico de los mismos autores: Parra-López, C.; Ben Abdallah, S.; Garcia-Garcia, G.; Hassoun, A.; Sánchez-Zamora, P.; Trollman, H.; Jagtap, S.; Carmona-Torres, C. (2024) "Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives". Computers and Electronics in Agriculture, 226: 109412. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109412>. Consultar para más detalles y las referencias bibliográficas.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com

**FENDT**

fendt.com | Fendt is a worldwide brand of AGCO.

#best *of* farming

Un momento, un escenario, cinco novedades.

Cinco gamas de tractores están de estreno: los nuevos Fendt 1000 Vario, Fendt 800 Vario, Fendt 700 Vario, Fendt 500 Vario y Fendt 300 Vario. Desde tractores compactos y versátiles hasta potentes tractores de gran tamaño, todas estas máquinas son sinónimo de avance, eficiencia y versatilidad. Ahora es el momento de experimentar la agricultura de una forma nueva.

Descubre lo que **#best of farming** significa para ti y descubre cuál de los cinco se adapta mejor a tus necesidades.

Descubre más en: fendt.com/best-of-farming



Los mejores llevan Fendt