



AGRICULTURA DIGITAL: INNOVACIÓN EN LAS PRÁCTICAS PRODUCTIVAS

(DIGITAL AGRICULTURE: INNOVATION IN PRODUCTION PRACTICES)

Angy Carolina Boscán Boscán

angyc.boscan@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-6688-5333>

Panadería Monte Verde, Contador Público, Maracaibo, Venezuela

RECIBIDO: diciembre 2023/**ACEPTADO:** enero 2024/**PUBLICADO:** marzo 2024

Como citar: Boscán, Angy (2024) Agricultura digital: innovación en las prácticas productivas. CICAG: Revista Electrónica Arbitrada del Centro de Ciencias Administrativas y Gerenciales, 21(2), Venezuela. (Pp.77-97)

RESUMEN

La agricultura digital comprende la incorporación inteligente de tecnologías a los sistemas alimentarios con la intención de hacerlos más efectivos. Desde este ámbito, este artículo busca describir los desafíos de la agricultura digital a partir de la incorporación de innovaciones en las prácticas productivas. Para ello, se desarrolló una investigación con un diseño documental- bibliográfico. Según los resultados son diversas las tecnologías aplicadas en los procesos productivos, se destacan el uso de sensores, naves no tripuladas, aplicaciones móviles, la robótica, el procesamiento de imágenes satelitales, el Internet de las Cosas, análisis de la Big Data, el aprendizaje automático, entre otras en evolución permanente como la inteligencia artificial o la biología sintética, lo cual plantea diversos desafíos a la agricultura digital, tales como: humanos, debe estar dirigida a garantizar la vida saludable de todos; ambientales, promover el desarrollo sustentable; políticos, contar un sólido pilar institucional nacional e internacional; jurídicos, incorporar marcos legales para regular las actividades; científicos, impulsar la investigación y desarrollo; económicos, establecer financiamientos e incentivos para el acceso a las innovaciones; y formativos, alfabetizar tecnológicamente a los actores objetivo de estos cambios. Se concluye que las innovaciones en las prácticas productivas en la agricultura en



primera instancia deben atender las demandas sociales, dirigidas a establecer un desarrollo armónico de los seres humanos y los ecosistemas, constituyendo sistemas alimentarios inteligentes sin exclusión, lo cual va a permitir consolidar la producción de alimentos mundial para contribuir de manera significativa a la reducción del hambre del mundo

Palabras claves: Agricultura digital, prácticas productivas, alimentos, innovación y tecnologías.

ABSTRACT

Digital agriculture involves the intelligent incorporation of technologies into food systems with the intention of making them more effective. From this area, this article seeks to describe the challenges of digital agriculture based on the incorporation of innovations in production practices. For this, an investigation was developed with a documentary-bibliographic design. According to the results, there are various technologies applied in the production processes, the use of sensors, unmanned ships, mobile applications, robotics, satellite image processing, the Internet of Things, Big Data analysis, learning stand out. automatic, among others in permanent evolution such as artificial intelligence or synthetic biology, which poses various challenges to digital agriculture, such as: humans, it must be aimed at guaranteeing a healthy life for everyone; environmental, promote sustainable development; politicians, have a solid national and international institutional pillar; legal, incorporate legal frameworks to regulate activities; scientists, promote research and development; economic, establish financing and incentives for access to innovations; and training, technologically literate the actors targeted by these changes. It is concluded that innovations in productive practices in agriculture must first meet social demands, aimed at establishing a harmonious development of human beings and ecosystems, constituting intelligent food systems without exclusion, which will allow for the consolidation of production. Global food supply to significantly contribute to reducing world hunger

Keywords: Digital agricultura, productive practices, food, innovation and technologies.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las prácticas más antiguas del hombre, consiste en el desarrollo de actividades para la producción de alimentos. Con el desarrollo de la humanidad cada día se han aplicado nuevas técnicas para hacer ese proceso más efectivo, de tal manera que puede satisfacer la creciente demanda alimentaria del mundo, la cual se incrementa continuamente producto del crecimiento poblacional.



Es importante destacar, que no en todos los casos esas nuevas técnicas han propendido a mejorar de manera general los procesos productivos; por ejemplo, hoy existen grandes cuestionamientos a la utilización de ciertos agroquímicos por su daño a mediano y largo plazo en el ambiente; sin embargo, permite a corto plazo el control de las cosechas e incrementar los volúmenes de producción, de allí la popularidad de sus usos.

En medio de la revolución tecnológica, se han desarrollado múltiples aplicaciones que hoy se empiezan a utilizar en el sector agrícola con éxito, todo ello enmarcado en las nuevas necesidades sociales; haciendo más sencillas complejas actividades, agilizando los tiempos e incluso limitando la presencia de las personas en algunas actividades; se hace referencia a la denominada agricultura digital.

Por agricultura digital se entiende la incorporación inteligente de tecnologías a los sistemas alimentarios con la intención de hacerlos más productivos, consiste en la digitalización de la información para la toma de decisiones precisa, como también el uso de diversos dispositivos tecnológicos que automatizan las actividades, enmarcada además en una visión más sustentable del proceso de la denominada Economía verde.

Estas iniciativas toman relevancia en medio de las emergencias mundiales causadas, por un lado, por la crisis climática, como también por la necesidad de desarrollar estrategias para mitigar las situaciones generadas escases de alimentos, de esta manera los avances en la agricultura pueden conllevar a promover efectivos mecanismos para impulsar la soberanía alimentaria en las naciones.

En la actualidad se considera que los países con mayores avances en agricultura digital son Holanda y Estados Unidos, los cuales se enmarcan dentro de la llamada Industria 4.0. Con respecto a los países de América Latina, destacan con mayor avance tecnológico en el sector agrícola Argentina y Brasil. Dentro de los avances incorporados a estos procesos se encuentran iniciativas de uso de la Big Data, sistemas basados en el Internet de las Cosas (IoT), aplicaciones de inteligencia artificial (IA), entre otros.

En definitiva, la agricultura digital como todas las transformaciones vinculadas a las tecnologías presentan en sus accesos, usos y aplicaciones diferentes



penetraciones a nivel de las naciones vinculadas, lo cual es consecuencia de los niveles de desarrollo, políticas públicas, necesidades existentes, además de la geografía y los recursos naturales de los países.

En la actualidad, existen numerosas expectativas en cuanto a los progresos generados con la incorporación de tecnologías a los sistemas alimentarios, entre ellas el cumplimiento del Objetivo No. 2 Hambre cero de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ONU, 2015), vinculado a la mitigación del hambre, de allí la importancia que presentan los avances de la agricultura digital. Desde perspectivas enunciadas, este artículo busca describir los desafíos de la agricultura digital a partir de la incorporación de innovaciones en las prácticas productivas.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Evolución de la agricultura

La agricultura es una actividad que nace con civilización misma, en sus inicios los cambios en sus procesos fueron graduales, pero a partir de la profundización del desarrollo industrial en la década de los 50 se dan un gran salto, acompañado de grandes transformaciones sociales, lo cual sin duda marcó un antes y un después en todas partes del mundo.

Para Urquilla (2023, p. 41) “la agricultura, que abarca la producción de alimentos, piensos, fibras, combustibles y materias primas a través del cultivo de plantas y la cría de ganado, constituye una de las fuentes más ancestrales y esenciales en la historia de la civilización humana”, de allí su prevalencia en todas las naciones, en las cuales, desde las condiciones geográficas, las necesidades sociales y culturales se va desarrollando.

En este orden de ideas, según Carrillo, Segovia y Jijon (2021, p. 1654) “la agricultura es una actividad económica muy importante para el progreso y desarrollo de las regiones, pues es responsable del abastecimiento de alimentos a nivel mundial, contribuye al desarrollo sostenible, a la reducción de pobreza, promueve la creación de empleos”, aportando múltiples beneficios a las sociedades.

Así todas las sociedades en mayor o menor escala ejecutan actividades vinculadas a la producción de alimentos para sus ciudadanos, esto, aunque va a



estar impactado por variables socio-geográficas son indispensables para el desarrollo económico y el bienestar general de los seres humanos; desde los campos se constituyen otras industrias que dependen para sus dinámicas materias primas.

En tal sentido, Escola (2022), señala las posibles etapas de la evolución de la agricultura a partir de la incorporación de tecnologías: Agricultura 1.0, los agricultores realizan todos los procesos a partir de sus capacidades con la ayuda de animales (tracción animal); en la Agricultura 2.0 (mecanización agraria y revolución verde), aparece las maquinarias; mientras que en la Agricultura 3.0 (digitalización y automatización), aquí por un lado existe mayor conciencia de la sustentabilidad ambiental, está constituida fundamentalmente, por la automatización de la información dirigida a aportar mayor precisión en la producción agrícola.

Seguidamente, expresa la aparición de la agricultura 5.0 caracterizada por la big data y la utilización de sistemas interconectados ciberfísicos. Finalmente, hace referencia la agricultura 5.0, más como una visión futurista, la cual estaría centrada en procesos totalmente robotizados, de los cuales ya existen proyectos y experiencias, sobre todo en Europa. (Escola, 2022).

Desde la perspectiva de Blanco (2022) se perciben tres hitos que han acompañado el desarrollo de la agricultura: la revolución verde iniciada en la década de los 60, con la implementación de semillas híbridas e insumos de base química; en los noventa ubica en segundo momento, con la introducción de la modificación genética de semillas. Y el tercer hito, en los 2000 asociado a la agricultura digital o Agricultura 4.0.

Mientras Melgar (2018), al analizar las fases de la agricultura considera cinco momentos: la agricultura 1.0 ubicada antes de la década de los 50, con mayor presencia humana y caracterizada por baja productividad; la Agricultura 2.0, cuyas prácticas centrales el mejoramiento genético, utilización de pesticidas y fertilizantes sintéticos, maquinaria agrícola especializada, seguidamente destaca a Agricultura 3.0 o también llamada agricultura de Precisión, inició en los 90 con el uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), utilización de biotecnología, desarrollo de software para aplicaciones agrícolas, entre otras tecnologías.



Seguidamente, Melgar (2018) hace referencia a la Agricultura 4.0, cuyo inicio lo establece en el 2010, basada en la evolución de tecnologías como redes de sensores, naves no tripuladas, procesamiento de imágenes satelitales, sistemas de tecnología de información basados en la nube, análisis de Big Data, aplicaciones móviles, tractores autónomos, constituyendo a la agricultura inteligente o digital. Finalmente, señala a la Agricultura 5.0, basada en la robótica y en la inteligencia artificial, impresión 3D y 4D, biotecnología, biología sintética, agricultura vertical para las “Smart city” y modificación del clima.

Como se ha evidenciado es a partir de la mitad del siglo XX cuando se inicia una transformación sin precedentes de sector agrícola, el mismo se vio indudablemente impulsado por el desarrollo de las tecnologías digitales, prometiéndole avances inimaginables hace cuatro décadas; un aspecto de interés de este proceso es un carácter dinámico.

En este sentido, más allá de las rupturas que marcaron la aparición de estos cambios, la evolución a la denominada agricultura digital o 4.0 es una realidad con aportes impresionantes. Para Tovar, Pareja y Gutiérrez (2021, p. 34) consiste en “la implementación de estrategias para reducir el consumo de agua, fertilizantes y pesticidas, con el fin de mejorar los procesos de producción de los cultivos, utilizando elementos de la agricultura de precisión, automatización y robótica agrícola, así como técnicas de Big Data e inteligencia artificial”.

Desde la perspectiva de Abbasi, Martínez y Ahmad (2022) la integración de tecnologías está configurando la denominada agricultura inteligente, digital o 4.0, la misma consiste en una fusión estratégica entre las tecnologías digitales disruptivas emergentes como Internet de las cosas (IoT), Big data, integración de sistemas, computación en la nube, simulación, sistemas robóticos autónomos, realidad aumentada, inteligencia artificial, redes de sensores inalámbricos, sistema ciberfísico, gemelo digital, entre otros que están transformando la industria.

En correspondencia con las posturas enunciadas, Bórnez (2022, p. 85) la agricultura digital se ha incorporado a la sociedad generando novedosos modelos de negocio en un mercado en constante crecimiento. “La agricultura digital transformará la agricultura ayudando a la toma de decisiones, permitiendo una gestión más precisa y eficiente de los recursos o incluso automatizando la acción a través de robots o sistemas de inteligencia artificial”.



Así mismo, para Javaid, Haleem, Singh y Suman (2022), las aplicaciones tecnológicas en la agricultura han permitido el desarrollo de una agricultura práctica e inteligente, tener una composición del suelo con precisión, gestionar la cadena de suministro agrícola completa, una reducción del impacto ambiental y el consumo de recursos, combatir las enfermedades de los cultivos, realizar transacciones seguras con seguimiento de alimentos, mayor predicción del tiempo, optimizar la toma de decisiones, en definitiva realizar un mejor manejo de los cultivos e incrementar la productividad.

Puede decirse que en la postura de la mayoría de los autores existe concordancia al establecer un acercamiento conceptual a la agricultura digital, en todos los casos se describe una incorporación estratégica de tecnologías emergentes a la gestión de los sistemas productivo, en el afán de facilitar los procesos, racionalizar el uso de los recursos naturales e incrementar los volúmenes de producción.

Haciendo referencia a estos avances, las nuevas tecnologías usadas de manera responsable ofrecen amplias posibilidades de aumentar la productividad de los cultivos, contribuyendo al fomento de una agricultura sustentable y a mitigar las consecuencias ambientales generadas por la actividad agrícola. Desde esa visión el desarrollo de las tecnologías en el sector agrícola ha estado dirigida a incrementar la producción de alimentos, pero en la actualidad empiezan a asumir otro reto, contribuir con el desarrollo armónico y sustentable de los ecosistemas en los cuales se ejecutan los procesos productivos.

En referencia los anterior, Fernández (2020, p. 126), enuncia los diferentes beneficios de la aplicación de las tecnologías en la agricultura, lo que supone incentivos para las nuevas generaciones dedicadas a este sector. “La modernización del sector agrícola pasa por su informatización, adaptando los aperos de labranza, y la maquinaria a la inteligencia artificial para poder controlar y aprovechar sin desperdicio el cultivo.”

Por su parte, Llerena (2020) señala entre sus beneficios que “en la actualidad se están desarrollando una gran variedad de softwares para los diferentes cultivos incorporando las necesidades nutricionales, climáticas y edáficas para ayudar a los agricultores a minimizar los costos de producción por la aplicación innecesaria de muchos insumos agrícolas”, de esta manera logran incrementar su competitividad en el mercado.



En este orden de ideas, la agricultura ha ido evolucionando con la incorporación de conocimientos y técnicas dirigidas a hacer cada vez más óptimos estos procesos. Para Palmieri y Sotomayor (2019, p. 50) la agricultura digital “puede contribuir a optimizar el uso de insumos, favorece la innovación y la mejora de la productividad, facilita la cooperación entre agricultores y permite la conexión directa entre los dos extremos de las cadenas: los productores y los consumidores”, no obstante, expresan la importancia del uso inclusivo de estas innovaciones.

Según Camargo, Lima y dos Santos (2019, p. 212) la Agricultura 4.0 se entiende como un conjunto de innovaciones enfocadas en tecnología avanzada, las cuales tienen como objetivo mejorar, optimizar y monetizar la productividad en el campo. Se desarrollan a partir de diversidad de novedosas herramientas que gestionan los sistemas de producción para mejorar el rendimiento de las actividades agrícolas.

Sin duda los cambios en los últimos 50 años han sido vertiginosos en comparación con la historia de la humanidad, las sociedades actuales están apenas incorporando los avances derivados de la agricultura 4.0, en momentos cuando ya en un futuro próximo se empiezan a vislumbrar los avances en la 5.0, los cuales en su mayoría están en pleno desarrollo.

En tal sentido, Urquilla, (2023, p. 42), expresa que la Agricultura 4.0 “es parte de la cuarta ola de la revolución industrial (Industria 4.0), que propone un estado ideal de fabricación totalmente autónoma y optimizada en las fábricas. La agricultura autónoma es posible a través de la integración eficiente de tecnologías físicas y digitales”, es decir, se constituye a partir de la evolución gradual de operaciones manuales a meramente automáticas e inteligentes.

Sin duda, la agricultura ha ido evolucionando con la incorporación de conocimientos y técnicas dirigidas a hacer cada vez más óptimos estos procesos, para Bellini, Caldera y Ramos (2020, p. 65) “los desarrollos de AgroTICs se pueden agrupar en dos grandes temáticas: aquellas relacionadas a equipos físicos, hardware, maquinaria, componentes precisos y automatizaciones y aquellos relacionados al relevamiento, procesamiento y explotación de datos, sea generado por estos equipos, por sensores remotos”, sin embargo, lo planteado en la agricultura 5-0 involucra una integración de ambas vertientes.



Innovaciones en las prácticas productivas

El desarrollo acelerado de tecnologías aplicadas a los procesos agrícolas ha llevado a la existencia de diversas propuestas ajustadas a las necesidades, los recursos y las características geográficas. Desde la perspectiva de Chacón, Cordillo, Mora, Luís y Hernández (2023, p. 216) la digitalización de la agricultura “consiste no solamente en tener datos digitales disponibles, sino también modelos digitales que permitan al productor tener un asesor digital que lo apoye en sus tareas; y, si es posible, tener maquinarias que sean automatizadas para mejorar su rendimiento”.

Uno de los planteamientos interesantes de estos autores es la centralidad dada a la sostenibilidad medioambiental, aun cuando también considera a la económica, lo cual debe implicar hacer uso de los recursos naturales a partir de la implementación de buenas prácticas dirigidas a garantizar la supervivencia de los sistemas, todo enmarcado en el desarrollo sustentable.

Resalta a partir de su investigación algunos de los aspectos desarrollados en la llamada agricultura digital: utilización de la Big data, uso de fuentes de datos para las soluciones en agrosistemas son muy variadas, uso de “Machine Learning” e Inteligencia Artificial, para establecer modelos predictivos con aprendizaje automático y modelos predictivos formales; seguridad y precisión de los datos, la organización de agricultores en función de las tecnologías; uso de expertos para el análisis de datos, la agricultura de precisión, modelos de negocios inteligentes, migración al uso de sistemas de información verdes, evaluación conjunta de la sustentabilidad y la agricultura orgánica. (Chacón et al., 2023).

Para Urquilla (2023, p. 42) “la intervención tecnológica en la agricultura se está dando, en general, a través de caminos físicos, mediante la automatización de tareas con maquinaria y caminos digitales, proporcionando flujos de información que ayuden a la toma de decisiones clave y oportuna”, por ejemplo, para conocer parámetros del suelo, los patrones climáticos y los precios de las materias primas.

Son diversas las innovaciones aplicadas a las prácticas de producción en Agricultura 4.0, fundamentalmente se basa de cuatro pilares: gestión basada en datos, producción basada en nuevas herramientas, sostenibilidad y profesionalización. A partir de la utilización del Internet móvil, internet de las



cosas (IoT), visión por computadora y toma de decisiones inteligente; se proyecta a hacia una integración de tecnologías 5G, la nube y la IA para construir soluciones agrícolas dirigidas a mejorar producción y la utilización de los recursos naturales. (Javaid et al., 2022)

Al respecto, Liu, Ma, Shu, Hancke y Abu (2021) también coinciden con el planteamiento anterior, señalando que la incorporación de las tecnologías está transformando nuevamente la agricultura para dar paso del paradigma industrial al digital. Destacan cinco tecnologías emergentes claves en este proceso: Internet de las cosas, robótica, inteligencia artificial, análisis de Big data y Blockchain.

Araujo, Peres, Barata, Lidon y Ramalho (2021) destacan a partir de una revisión bibliográfica las siguientes tecnologías aplicadas en la agricultura digital: sensores remotos, para la teledetección a la técnica de obtención de datos a distancia; robótica para automatizar algunas prácticas como la exploración de cultivos, plantación y cosecha, suministro de agua, fumigación dirigida, monitoreo ambiental, control de malezas y plagas, detección de enfermedades, poda, ordeño y clasificación.

Así mismo, el internet de las Cosas (IoT) para controlar actividades agrícolas, gestión de cultivos, suelos y agua, pronóstico del tiempo; la computación en la nube, para reducir en los costos de almacenamiento para las empresas agrícolas. Además, de la Big Data para el análisis de volúmenes de datos; la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, los sistemas de soporte de decisiones, entre otras. (Araujo et al., 2021).

En definitiva, la Agricultura 4.0 está desempeñando un rol preponderante en el presente y futuro del sector agroalimentario en todas partes. De hecho, Fernández (2020) señala dentro de los proyectos financiados sobre agricultura digital por la Comunidad Europea está lo que denomina robots agricultores, los cuales pueden desarrollar entre otras actividades la recolección de alimentos; asimismo menciona el uso de drones, de sensores y algoritmos para predecir el comportamiento y la obtención de datos para la toma de decisiones agrícola. Incluso existen propuestas dirigidas a las necesidades del usuario final:

Sin olvidar el destinatario final, el consumidor, que también a través de la inteligencia artificial, en las denominadas ciudades inteligentes, "Smart Cities",



puede mostrar su orientación hacia la compra de un producto o servicio. Las denominadas granjas inteligentes “Smart Farming” o campos inteligentes “Smart Fields” también pretenden optimizar sus recursos (a través de sistemas de alimentación o de riego mediante software) y facilitar un producto que sea consumible y sostenible al mismo tiempo. (Fernández, 2020, p. 135).

Por su parte, Melgar (2018) a partir de una revisión documental enumera algunas de las innovaciones aplicadas a la agricultura 4.0, destacando las siguientes: a) redes de sensores y sensores en maquinaria para el monitoreo de variables agrícolas o climáticas; b) naves no tripuladas o drones se utilizan en la agricultura para enviar imágenes que permitan tomar decisiones respecto a estimación de la producción; c) procesamiento de imágenes satelitales; d) análisis de Big Data, para gestionar grandes volúmenes de información de los sistemas agrícolas; e) cloud computing, la computación en la nube es necesaria para varias tecnologías de la Agricultura 4.0.

Dentro de la tecnologías de la Agricultura 5.0 destaca a la robótica con sistemas inteligentes autónomos usados en las labores de siembra, fertilización, control de malezas y monitoreo; la impresión en 3D y 4D, la cual puede ser de utilidad en la producción de herramientas agrícolas; c) la biotecnología, para mejoramiento genético; d) la biología sintética, la cual busca diseñar o re-diseñar sistemas vivos; e) agricultura vertical realizada en edificios de ciudades; f) el monitoreo y modificación del clima; se proyectan el uso de tecnologías para minimizar los daños por tormentas o huracanes y riesgos climáticos. (Melgar, 2018).

Como se ha descrito son múltiples las innovaciones en las prácticas productivas contenidas dentro de la transformación generada por la agricultura digital; dichos cambios empiezan a generar nuevas dinámicas, las cuales deben asumirse desde las distintas implicaciones y desafíos que contemplan, pues son diversos los actores involucrados en el proceso.

Desafíos de la agricultura digital

La transformación digital de la agricultura trae consigo diversas consideraciones, en primera instancia va a impactar a sus actores principales, los agricultores. Según Franco (2023 p. 1) estos “tendrán un rol protagónico en la implementación de la AD. Sistemas de inteligencia artificial facilitarán la toma de decisiones agronómicas y el cierre de brechas tecnológicas. Para esto, se demandará de



agricultores ávidos de innovación, abiertos a paradigmas emergentes”, en donde además debe prevalecer un compromiso con el ambiente y la sociedad.

Al hablar de los agricultores, otro desafío planteado es su capacidad para asumir estas innovaciones. Kitole, Mkuna y Sesabo, (2024), expresan que la educación tiene un papel preponderante en el uso de éstas, en su estudio determinaron que los sujetos con educación formal se adaptaron eficazmente a las innovaciones de la agricultura digital. Lo cual genera un nuevo reto a las políticas públicas de las naciones, impulsar la formación en este ámbito desde los centros de educación media y universitaria.

Por otro lado, dentro de los desafíos estratégicos de la agricultura digital se encuentra lograr aumentar responsablemente la producción de alimentos a nivel mundial, cuyo eje es promover la vida sana de los seres humanos, una articulación entre progreso social y económico, “busca un desarrollo social que contribuya a mejorar la calidad de vida, salud, educación y cultura de todas las personas”. (Chacón et al., 2023, p. 216).

En relación a lo anterior, dentro de los planteamientos de la agricultura de Rose y Chilvers (2018), expresa la necesidad de sustentabilidad en la agricultura digital, para lo cual también hace referencia a la categoría trabajando el término “innovación responsable”, pues estas innovaciones, así como deben incrementar productividad y mantener una ecoeficiencia, también deben constituir beneficios sociales centrados en las necesidades humanas.

Desde este punto de vista, Javaid et al (2022), dentro de las implicaciones de la agricultura expresa que el incremento de la población mundial, la escasez de recursos naturales y el cambio climático generan expectativas de cómo a partir de las tecnologías se logrará aumentar la productividad de los cultivos y reducir el impacto ambiental de las prácticas agrícolas al minimizar la aplicación de productos químicos, además de disminuir el uso de recursos como la electricidad, el agua y el combustible. Incluso se habla de la agricultura climáticamente inteligente para mitigar los efectos del cambio climático, todo ello enmarcado en la meta de garantizar los medios de vida y seguridad para las personas.

Es por ello que también plantean la necesidad de desarrollar una “innovación responsable”, desde el desarrollo de procesos de innovación a partir de la responsabilidad, transparencia e inclusión, promoviendo cambios con beneficios



para la sociedad en general y al mismo tiempo, para el medio ambiente, con ello se supera la concepción economicista de la innovación hacia un paradigma más humano. (Javaid et al., 2022).

En medio de la posibilidad de que estas innovaciones logren llegar a todos los espacios, Rodríguez y Soares (2022) expresa los siguientes aspectos claves: la necesidad de inversiones específicas en infraestructura de conectividad, la formación profesional en el uso de tecnologías digitales; asimismo los gobiernos deben impulsar el desarrollo de soluciones tecnológicas digitales adaptadas a las características de los productores, impulsar el uso de estas y generar un ambiente institucional de seguridad para la utilización de las información.

En este mismo sentido, para Carrillo et al. (2021, p. 1657) “los gobiernos, organismos, instituciones y responsables deben acometer acciones para atender las necesidades en materia de capacitación digital a la población rural y lograr aprovechar las potencialidades que ofrece la agricultura digital, en el entendido de lograr mejor rentabilidad”. Como se ha evidenciado la formación es preponderante para propiciar cambios en las prácticas productivas con aplicaciones tecnológicas.

Este autor también resalta el papel del Estado como garante de las políticas públicas dirigidas a impulsar las innovaciones de la agricultura digital, por tanto “los gobiernos, organismos, instituciones y responsables deben acometer acciones para atender las necesidades en materia de capacitación digital a la población rural y lograr aprovechar las potencialidades que ofrece la agricultura digital, en el entendido de lograr mejor rentabilidad”.

Desde una visión crítica Chauvet (2020, p. 9) plantea diversos desafíos de la llamada Agricultura 4.0 o digital, centrados fundamentalmente en la posibilidad que replique la brecha digital existente en otras áreas. “En efecto, la robótica, junto con la inteligencia artificial, la biotecnología agrícola, la nanotecnología, la biología sintética, las tecnologías de la información y comunicación tic, el procesamiento de múltiples datos conocido como Big Data, los invernaderos de ambiente controlado, todo esto coloca a la agricultura y la ganadería en un nuevo paradigma productivista y eficiente. La consecuencia de esta nueva revolución tecnológica es la profundización de la exclusión social.”



En relación a lo anterior, se empieza a evidenciar dentro de lo que es la agricultura digital se aprecian diferentes posturas, incluso llegan a ser antagónica, por un lado, unas están centradas en los beneficios, otras en la responsabilidad del Estado y las políticas públicas; otras en el temor de reproducir la exclusión de sectores menos desarrollados, pero con grandes potencialidades para la producción agrícola.

En tal sentido Bert (2021, p. 3), establece sobre la agricultura digital la oportunidad que tiene para transformar los sistemas alimentarios, de esa manera acercarse al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015). Al mismo tiempo, sin embargo, el proceso de digitalización puede aumentar desigualdades y generar exclusión y conflictos”. Sin duda estas innovaciones generan diversas implicaciones en la sociedad

Uno de los elementos destacados, es la necesidad de involucrar a todos los actores con injerencia en la toma de decisiones en ese ámbito. “La incorporación de tecnologías digitales a la agricultura es un elemento necesario para la transformación digital de los sistemas alimentarios; como tal, debe ser priorizada e impulsada de forma activa por decisores políticos regionales y locales, para capturar sus beneficios y evitar sus amenazas”, (Bert, 2021, p. 3).

Otro de los desafíos de la agricultura digital, lo enuncia Fernández (2020) analizando el caso español, está dado por el desarrollo de un marco jurídico que fomente el uso de las mismas, pero también las regule, resalta el caso del desarrollo de robots o el uso de los drones en la agricultura, para los cuales es preciso la constitución de legislaciones específicas; incluso en ámbitos tan complejos desde la bioética como biotecnología o la biología sintética, pues prometen rediseñar sistemas vivos.

Del mismo modo, Bellini et al. (2020, p. 91) también considera “la capacitación y formación en el uso de herramienta digitales es otro pilar fundamental para extender el uso de estas tecnologías: liberar datos y productos digitales y de información tendrá su mayor impacto si hay usuarios con conocimientos para aprovecharlos”. Dado a que no se trata del desarrollo de tecnologías, sino de generar los conocimientos para constituir procesos de apropiación; lo anterior hace preciso la alfabetización tecnológica de los agricultores (Chacón et al., 2013).



Desde una visión optimista, Bellini et al. (2020, p. 91) consideran que “el camino por recorrer está lleno de oportunidades de aplicación si logramos integrar la mirada de diversidad e inclusión, integramos esfuerzos institucionales e incrementamos el involucramiento del sector emprendedor y productivo en estos procesos de investigación y desarrollo”. Existen en este campo múltiples experiencias enmarcadas en estas tecnologías cuyos resultados hoy ya son una realidad, además van impulsando nuevos proyectos.

En este sentido, desde la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), vislumbra la importancia de la agricultura digital desde allí desarrolla proyectos dirigidos a la adopción de tecnologías en los entornos rurales; destaca los beneficios, pero también enuncia entre los desafíos el tema de la ciberseguridad y protección de los datos, la reeducación de la mano de obra, y por supuesto, el tema de la brecha digital entre las economías, a nivel individual y colectivo.

Desde las perspectivas más prometedoras, para Palmieri y Sotomayor (2019, p. 50) “la AD propone un cambio de paradigma, que busca reconciliar productividad y sostenibilidad, así como acercar la producción y la distribución, así como al productor y el consumidor” incluso desde la CEPAL se asocia directamente con sistemas agroecológicos, formas diferentes de producir buscando el sostenimiento de los sistemas y la biodiversidad.

Sin embargo, la necesidad de contar con un apoyo institucional de impulso de las propuestas es un aspecto redundante para constituir en escenarios más convencionales cambios significativos a partir de la incorporación de tecnologías en los sistemas agrarios. “Se necesitará apoyo a corto plazo a través de políticas públicas que aborden las barreras estructurales, proveyendo incentivos positivos para la diversificación, mientras se brinda apoyo a los productores en el período crítico de transformación de sus sistemas”. (Palmieri y Sotomayor, 2019, p. 50).

Como se ha expresado, desde los distintos autores revisados se expresan diferentes desafíos de la Agricultura Digital en la actualidad, lo cual constituyen pautas de trabajo para los actores nacionales y transnacionales promotores de estos cambios a escala global.



METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló desde una perspectiva cualitativa, específicamente un diseño documental- bibliográfico, para lo cual se realizó una búsqueda y selección de fuentes de carácter científico, como libros y artículos tanto físico como virtuales de reciente publicación, cuyo criterio para su selección fue su vinculación con el objetivo planteado.

En este orden de ideas, seguidamente se procedió a analizar desde una perspectiva crítico-analítica los documentos seleccionados, dicha construcción se desarrolló desde las categorías vinculadas con el objetivo del estudio, dirigido a describir los desafíos de las innovaciones en las prácticas productivas a partir de la incorporación de la denominada agricultura digital.

RESULTADOS

Luego del análisis de los distintos documentos que fueron parte del estudio, es posible establecer la existencia de información de carácter científica sobre la agricultura digital o 4.0, dirigida a explicar su evolución, caracterizar las innovaciones y su aplicación en distintas prácticas productivas. Desde las más sencillas, como el uso de sensores en los cultivos como aquellas que ya involucran el uso de la inteligencia artificial y robots, las cuales vienen a sustituir actividades humanas en la agricultura.

Así mismo, se encontró diversidad en las tecnologías aplicadas en los procesos productivos, se destacan los sensores, el internet de las Cosas (IoT), análisis de la Big Data y el aprendizaje automático, entre otras que procuran llegar a la Agricultura 5.0; caracterizada por una integración entre la robótica, la inteligencia artificial, impresión 3D y 4D, biotecnología, biología sintética, agricultura vertical para las “Smart city” (ciudades inteligentes) y modificación del clima, entre otros. De esto se deduce que, los cambios en este ámbito son vertiginosos, aún incipientes, pero alentadores en términos de los beneficios sociales para alcanzar la soberanía alimentaria.

Otro aspecto de interés destacado en la mayoría de los documentos analizados, es la comprensión de los beneficios sociales y económicos de la agricultura digital, la posibilidad de incrementar la producción de alimentos sin comprometer el



equilibrio medioambiental, lo cual va en función de garantizar el desarrollo sustentable y mitigación del hambre en concordancia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible. (ONU, 2015).

Por ello, es imprescindible no perder el eje de este proceso, el mismo está centrado en lograr impulsar la producción alimentaria para beneficiar al ser humano dentro de un entorno de sustentabilidad, en el cual es importante garantizar la supervivencia de los recursos naturales, desde una visión prospectiva de la existencia de generaciones futuras, además de una relación de integralidad hombre-naturaleza, puede hablarse del desarrollo a partir de “innovaciones responsables”, cuyos cambios benefician a la sociedad y al medioambiente.

De los planteamientos anteriores subyace la importancia de lograr interrelación o sinergia entre la tecnología y el agricultor, generando procesos de confianza de en las innovaciones, para ello es preciso incorporar en los procesos de planificación y diseño a todos los actores (agricultores, asesores, comunidades, consumidores y los entres decisorios), de tal manera que las innovaciones por un lado validen las necesidades existentes, se constituyan desde una visión responsable con el medio ambiente y, además, generen confianza en los agricultores para promover los cambios en las prácticas de producción.

Ahora bien, para lograr esta transición a nivel global, es preciso una articulación de actores internacionales, nacionales y regionales, la constitución de políticas públicas que promuevan inversión, financiamiento, incentivos, investigación y desarrollo en el área, al mismo tiempo, avanzar en el diseño de marcos jurídicos nacionales en consonancia con los internacionales para promover con el control necesario las innovaciones requeridas para evolucionar hacia la agricultura 5.0.

Así mismo, las experiencias deben desarrollarse a la par de las principales necesidades globales, atendiendo a las características de los territorios y los requerimientos nacionales-regionales, lo cual va a permitir impulsar los procesos de adaptación a las tecnologías en los agricultores, pues al responder a sus intereses económicos y productivos se logra minimizar la resistencia a los cambios, estableciendo una sinergia entre agricultores-tecnologías.

Todo ello debe considerar la necesidad de atender desde este momento las desigualdades existentes entre las naciones, la denominada brecha digital, en el



afán de diseñar políticas que verdaderamente conlleven a minimizar el acceso a la tecnología sobre todo en las regiones con menos desarrollo y conectividad, pero con gran potencialidad para la agricultura como América Latina y África. De no hacerlo, el panorama no es alentador, puede acrecentarse haciendo más complejo el panorama.

La capacitación sigue siendo un aspecto clave en la agricultura digital, la aplicación de estas tecnologías necesita de unos conocimientos específicos, allí es fundamental el diseño de políticas en articulación con los centros de formación y de investigación para la alfabetización tecnológica de los agricultores. Por último, se evidencia la presencia de diferentes innovaciones en las prácticas productivas agrícolas, pero aún resulta difícil hablar de la existencia de un sistema alimentario totalmente digitalizado a nivel global, se vienen incorporando aplicaciones tecnológicas de manera acelerada, pero su avance significativo a depender de cómo se abordan los diferentes desafíos enunciados.

REFLEXIONES FINALES

La agricultura digital se presenta con un abanico de innovaciones en las prácticas productivas, las cuales están transformando los sistemas alimentarios a partir de la aplicación de tecnologías, a partir de un proceso dinámico que plantea la incorporación permanente de herramientas en todas las fases de los procesos. Asimismo, están justificados en la posibilidad de incrementar la producción de alimentos, lo cual es una necesidad mundial.

Uno de las implicaciones centrales está dado por la posibilidad generada para atender las demandas sociales, en la medida que logran satisfacer las expectativas humanas enmarcadas en la capacidad de impulsar el desarrollo armónico y saludable de los seres humanos y los ecosistemas, abarcando sistemas alimentarios sin exclusión y de manera global.

Dentro de los diversos los desafíos existentes en las innovaciones en las prácticas productivas a partir de la incorporación de los cambios de la agricultura digital, se resaltan además los políticos, es preciso consolidar un pilar institucional nacional e internacional que promueva estos cambios; a nivel jurídico, se requiere el desarrollo de marcos legales para controlar e impulsar las actividades; en lo económico, financiamientos e incentivos para el acceso a las innovaciones.



Del mismo modo, la investigación y desarrollo, se presenta como otra de las necesidades para la transformación hacia la agricultura digital; la cual debe ir acompañada de los procesos formativos requeridos por los actores objetivos de estos cambios; pues es preciso la capacitación para el uso estratégico del conocimiento, que además atienda a las diversidades técnicas, materiales y espirituales existentes en los actores involucrados.

Por su puesto, estos deben ir acompañado de medidas dirigidas a reducir la brecha digital en el acceso y uso de la tecnología, impulsando una evolución equilibrada a la agricultura digital, de manera que no responda a experiencias de algunos países, lo cual va a permitir consolidar la producción de alimentos mundial para contribuir de manera significativa a la reducción del hambre del mundo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, R., Martínez, P. y Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. . Smart Agricultural Technology, 2 , 100042. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375522000090>
- Araujo, S., Peres, R., Barata, J., Lidon, F. y Ramalho, J. (2021). Characterising the Agriculture 4.0 Landscape—Emerging Trends, Challenges and Opportunities. Agronomy, 11 (4), 667. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/4/667>
- Bórnez, F. (2022). Agricultura Digital. El camino hacia la agricultura sostenible. *Olint: Revista de plantaciones superintensivas de olivo*, (38), 82-85. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8393957>
- Carrillo, F., Segovia, S. y Jijon, E. (2021). La Innovación en la Agricultura Digital. *Dominio De Las Ciencias*, 7(3), 1652–1658. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2127>
- Bellini, Y., Caldera, J. y Ramos, L. (2020). Cosechando datos: desarrollos para la agricultura en la era digital. *Revista Electronic Journal of SADIO*. 19 (1), 64-95. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/135056>
- Bert, F. (2012). La digitalización de la agricultura como determinante para la transformación de los sistemas alimentarios: una perspectiva desde las Américas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica.



- Blanco, M. V. (2022). Entramado tecnológico-social de la innovación de la agricultura digital: El caso de Pergamino, provincia de Buenos Aires. *Cuyonomics. Investigaciones en Economía Regional*, 6(10), 87-110. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/204433>
- Chacón, E., Cordillo, J., Mora, Luís y Hernández, M. (2023). Agro 4.0: ¿Una posibilidad de mejora en el campo venezolano o una solución para la agricultura en Venezuela?. *Agroalimentaria*, 28 (55). 213-229. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8879568>
- Chauvet, M. (2020). La pandemia acelera la agricultura sin personas, la desigualdad y la pobreza. *Revista El Cotidiano*. 36(222), 7-15. https://www.researchgate.net/profile/Michelle-Chauvet/publication/353247169_La_pandemia_acelera_la_agriculturapersonas_la_desigualdad_y_la_pobreza/links/60ef40a0fb568a7098ae6ee3/.pdf.
- Camargo, T.; Lima, T. y dos Santos, M. (2019). Agricultura 4.0: software de gestión de la producción. *Revista Pesquisa E Ação*, 5 (4), 122-131. <https://revistas.brazcubas.edu.br/index.php/pesquisa/article/view/768>
- Escola, A. (2022). Bases tecnológicas de la agricultura de precisión. *Revista Técnica Agrícola*. 38 (2022), 16-21. <https://www.agromillora.com/olint/wp-content/uploads/2022/01/OLINT38.pdf>.
- Fernández, F. (2020). Inteligencia artificial y agricultura: nuevos retos en el sector agrario. *Rev. Campo Jurídico, barreiras-BA v.8 n.2*, p. 123-139. <http://www.upv.es/ficha-personal/frarafer>
- Franco, M. (2023). El paradigma emergente de la Agricultura Digital. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 14(1), 1-1. <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/download/985/1043>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, RP y Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *Revista Internacional de Redes Inteligentes*, 3 , 150-164. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666603022000173>
- Kitole, F., Mkuna, E. y Sesabo, J. (2024). Digitalization and agricultural transformation in developing countries: Empirical evidence from Tanzania agriculture sector. *Smart Agricultural Technology*, 7, 100379.



- Llerena, Á. (2020). Agricultura digital en el cultivo de Pitahaya. *Latin-American Journal of Computing*, 7(2), 22-33.
<https://lajc.epn.edu.ec/index.php/LAJC/article/view/209>
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G y Abu, A. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17 (6), 4322-4334.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9122412>
- Melgar, M. (2018). Agricultura digital o Agricultura 4.0. *Sugar Journal (USA)*, 81(5), 33-37. <https://cengicana.org/files/2018091813553326.pdf>.
- Naciones Unidas (2015). Objetivos para el desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Organización de Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Agricultura digital. <https://www.fao.org/digital-agriculture/es/>
- Palmieri, V. y Sotomayor, O. (2019). Agricultura digital. 50-56. En: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*. Costa Rica: CEPAL, FAO, IICA.
- Rodríguez, M. y Soares, Z. (2022). Política pública de apoyo à agricultura digital. *Revista de Política Agrícola*, 31(2), 18.
<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1705>
- Rose, D. y Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2 (87).
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00087/full>.
- Tovar, J., Pareja, C. y Gutiérrez, L. (2021). Tecnologías de IoT eficaces para una plataforma de agricultura 4.0. *Revista Ingiare*, 17(31).
<https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aqcd%3A12%3A15095340/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=>.
- Urquilla, A. (2023). ¿Será la Agricultura 4.0 la solución al hambre global? *Realidad y Reflexión*, (57), 39-58.
<https://camjol.info/index.php/RyR/article/view/16696>