

MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE
PRODUCTOS AGRÍCOLAS: UNA PERSPECTIVA ECONÓMICA

Artificial Intelligence in the Agricultural Commodity

Supply Chain: An Economic Perspective

Autoría: Gabriela Valentina Lepage Díaz

Tutorizado por: Juan José Díaz Hernández

Grado en ECONOMÍA
FACULTAD DE ECONOMÍA, EMPRESA Y TURISMO
Curso Académico 2022/2023

San Cristóbal de La Laguna, 11 de Julio de 2023

RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) se ha convertido en un instrumento novedoso para resolver problemas relacionados a distintos ámbitos, desde soluciones innovadoras para abordar los desafíos de la sostenibilidad hasta problemas relacionados con el ámbito económico. Su capacidad de analizar grandes conjuntos de datos, automatizar tareas y brindar recomendaciones adecuadas de acuerdo a una evaluación de datos ha permitido mejorar la productividad, reducir costes y mejorar los beneficios económicos en muchos sectores de la economía. A pesar de su uso comúnmente en sectores tecnológicos, analizar su creciente utilización en las actividades relacionadas con la agricultura y la comercialización de productos agrícolas permite una primera aproximación de su impacto económico y a otros posibles efectos que tendrá la utilización de este tipo de tecnología en una actividad tan importante para la sociedad.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, agricultura, productividad, costes, beneficios.

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has become a novel tool to solve problems related to different fields, from innovative solutions to address sustainability challenges to problems related to the economic sphere. Its ability to analyze large data sets, automate tasks and provide appropriate recommendations based on an evaluation of data has led to improved productivity, reduced costs and improved economic benefits in many sectors of the economy. Despite its common use in technological sectors, analyzing its growing use in activities related to agriculture and the marketing of agricultural products allows a first approximation of its economic impact and other possible effects that the use of this type of technology will have on such an important activity for society.

Key words: Artificial Intelligence, agriculture, productivity, costs, profit.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción	3
2.	Antecedentes y marco teórico	4
2.1.	Concepto de la Inteligencia Artificial y su relevancia	5
2.2.	Ramas de estudio de la Inteligencia Artificial	8
3.	Inteligencia artificial y su impacto en la agricultura	11
4.	Análisis económico de la implementación de IA en la cadena de suministro de productos agrícolas	14
4.1.	Análisis de la producción	15
4.2.	Análisis de los costes	19
4.3.	Análisis de beneficios	23
5.	Argumentos éticos y sociales relativos al uso de IA en la agricultura	25
5.1.	Impacto en el empleo agrícola y la calidad de trabajo	26
5.2.	Responsabilidad social y regulaciones	27
5.3.	Impacto sobre el medio ambiente	29
5.4.	Limitaciones y nuevos desafíos	31
6.	Conclusiones	32
7.	Referencias bibliográficas	33

ÍNDICE DE GRÁFICOS, TABLAS Y FIGURAS

Gráfico 1.	Nivel de madurez de la IA por industrias a nivel mundial	7
Gráfico 2.	Proporción de adoptantes de IA (2017-2022)	8
Gráfico 3.	Contribución de la agricultura de precisión a la producción agrícola en España	16
Gráfico 4.	Barreras para la adopción de IA a nivel mundial	29
Tabla 1.	Utilización de IA en España	9
Tabla 2.	Relación entre la productividad y la adopción de IA	18
Tabla 3.	Costes asociados a la implementación de IA en cultivos en USA (2018-2019)	20
Tabla 4.	Acciones que representan un beneficio económico para los agricultores	24
Figura 1.	Fases de la cadena de suministro de productos agrícola	14

1. Introducción

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) en nuestras vidas ha tenido un impacto significativo, abriendo una variedad de oportunidades y desafíos desde una perspectiva económica. Igual que ocurrió con la máquina de vapor o la electricidad en épocas anteriores, la IA está transformando nuestro mundo, sociedad e industria (Comisión Europea, 2018). Desde su uso cotidiano en asistentes virtuales como Alexa o Siri hasta su utilización en diversos procesos en todos los sectores de la economía, esta tecnología cada vez adquiere un papel más relevante. Inclusive, PricewaterhouseCoopers (2017) estima que la contribución de esta nueva tecnología al PIB mundial será del 14% en el año 2030, equivalente a un incremento en la renta mundial de 15,7 trillones de dólares en comparación con la actual, y por tanto, convirtiéndose en una de las fuentes del crecimiento económico más relevantes y posiblemente en la próxima oportunidad comercial.

Con los datos anteriores se prevé que la adopción de la IA por parte de las empresas siga creciendo en los próximos años, los datos actuales muestran que el 35% de empresas de distintos sectores a nivel mundial utilizan estas herramientas en sus negocios, y un 42% adicional están explorando su uso (IBM, 2022). En el caso de España, han habido avances respecto a años anteriores, mostrando así que en 2022 ya el 11,8% de empresas utilizan este tipo de tecnología (Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad, 2023). El rápido crecimiento e implementación de la IA no debería ser una sorpresa ya que se trata de sistemas capaces de proporcionar nuevas ventajas competitivas y mejoras de eficiencias a todo tipo de empresas del mundo mediante capacidades de automatización, una mayor facilidad de uso y accesibilidad así como una variedad de alternativas para aumentar la productividad, reducir los costes y por tanto obtener un mayor beneficio económico.

Si bien actualmente se emplea ampliamente en diversos sectores, para este trabajo final de grado se analiza el impacto de la IA en la agricultura, adoptando un enfoque centrado en la cadena de suministro de productos agrícolas. La elección de este enfoque se justifica por el hecho de la importante cantidad y variedad de avances tecnológicos relacionados con la IA en este sector, lo que dificulta su clasificación y análisis de manera estructurada; por ello se ha considerado dividir y organizar el repaso de casos de estudio distinguiendo según las fases de la cadena de suministro para facilitar y organizar los distintos tipos de IA de manera más estructurada, a su vez brindando una comprensión más clara al lector y con el objetivo de analizar la IA en todo el proceso de producción agrícola. Se eligió el sector agrícola por su carácter estratégico y relevancia en la sociedad, ya que abarca desde la producción de materias primas hasta su impacto en la cadena de suministro global y el crecimiento económico. Es importante aclarar que la IA es una tecnología reciente y aún en desarrollo, por lo que obtener datos estadísticos relacionados a su aplicación en cualquier ámbito ha resultado muy complicado y en estos momentos de expansión son prácticamente inexistentes. Por ello se ha optado por realizar una revisión de estudios de casos prácticos y a partir de ellos se ofrecerá un análisis económico del uso de esta tecnología para luego extraer algunas conclusiones al respecto de sus efectos.

En primer lugar, este trabajo aborda una introducción a un concepto amplio como el de IA; a partir de ello, se distinguen diferentes tipos de tecnologías que se engloban dentro de esta noción con el objetivo de brindar al lector conocimientos previos que faciliten la comprensión del tema. A continuación, nos centraremos en el impacto económico de la IA sobre la producción, los costes, ingresos y beneficios del sector agrícola; aclarando que en este apartado se incluyen explicaciones relativas su impacto en la agricultura en general y a su vez se proporcionan ejemplos

de casos reales relacionados a cada fase de la cadena de suministro de productos agrícolas. Por último, se añade un breve análisis sobre las implicaciones sociales y éticas que tendrán el uso de este tipo de herramientas en la sociedad, en el empleo y en las acciones de los diferentes gobiernos. A partir de ello, se espera ilustrar la importancia que ha tenido la IA en el sector agrícola durante los últimos años y cómo impactará al futuro de esta actividad.

2. Antecedentes y marco teórico

La inteligencia artificial (IA), a menudo malentendida como una disciplina reciente, tiene sus raíces a mediados del siglo pasado. La empresa multinacional de tecnología IBM destaca los inicios de este campo a partir de 1950 con los trabajos de Alan Turing referidos a la creación de la máquina Enigma utilizada en la Segunda Guerra Mundial y la introducción de la Prueba de Turing para determinar si la inteligencia de un ordenador es similar a la de un humano, siendo por tanto el precursor de esta rama científica. El término de IA fue introducido por primera vez en 1956 por John McCarthy durante la Conferencia de Dartmouth (Gobierno de España, 2023). Pieffet (2020) describe el período entre 1950 hasta 1980 como la IA clásica, desde entonces, se observaron avances significativos en la lógica computacional que permitieron resolver problemas básicos mediante el uso de un árbol de decisiones que debía ser recorrido para encontrar la soluciones. Sin embargo, no fue suficiente y tanto la complejidad de los problemas como la limitada tecnología del momento impidieron que esta ciencia pudiera aplicarse a entornos mucho más realistas, provocando así una pérdida de interés en el tema y una falta de financiación para proseguir su investigación. Luego, a partir de la década de 1980, surgieron avances importantes gracias a la aportación de Geoffrey Hinton sobre las redes neuronales en aplicaciones de IA, siendo de gran importancia ya que utilizaban algoritmos de retropropagación que permitieron la entrada al mundo del aprendizaje de grandes conjuntos de datos y a la capacidad de reconocer patrones en las máquinas, resolviendo así muchas de las dificultades de las décadas anteriores (Abeliuk y Gutiérrez, 2021). Ya en la década de 1990, la IA experimentó un fuerte crecimiento en avances de todas las áreas que la integran, siendo la liberación del internet en 1993 un aspecto importante. En el año 1993, Ian Horswill realiza aportaciones importantes al campo de la robótica con la creación de Polly el primer robot que usa visión artificial para operar a velocidad de un metro por segundo. Igualmente en 1995, Ernst Dickman contribuye con el desarrollo de un coche robot que permite realizar un viaje ida y vuelta entre Munich y Copenhagen; más adelante en 1998 se comercializa a Furby el primer artefacto doméstico creado con técnicas de IA (Barrera, 2012).

Ning y Yan (2010) describen el siglo XXI como la era de rápido y constante desarrollo de la tecnología y la ciencia, es aquí donde la tecnología de IA entra en los hogares y adquiere un papel cada vez más profundo en la vida social en todos los campos. Al adentrarnos en la década de 2010, los avances en hardware aceleraron el rendimiento de las redes neuronales y el aumento de datos abiertos disponibles en internet impulsaron el desarrollo de la IA en gran medida (Abeliuk et al, 2021). Luego, se diseñaron aplicaciones de visión importantes como el reconocimiento facial y detección del cáncer así como aplicaciones de lenguaje en las que se incluyen asistentes virtuales utilizados en plataformas. Para el año 2012, la empresa Google creó una red neuronal con 16.000 ordenadores que aprendió a identificar gatos, caras y cuerpos humanos a través de videos en Youtube (National Geographic, 2020). En los años siguientes, la capacidad y utilización de herramientas de IA avanzó a pasos extraordinarios; por ejemplo en 2014 se incorpora el asistente virtual con interfaz de voz Alexa creado por Amazon hasta llegar a 2022 donde se introduce el

modelo de lenguaje y chatbot conocido ChatGPT capaz de responder e interactuar con el usuario a partir de modelos de lenguaje generativos. Sin embargo, con el transcurso de los años, el uso de IA ha tenido cada vez un mayor impacto significativo en nuestra sociedad hasta representar lo que es hoy en día un factor clave para el crecimiento de todos los sectores de la economía.

2.1. Definición de la Inteligencia Artificial y su relevancia

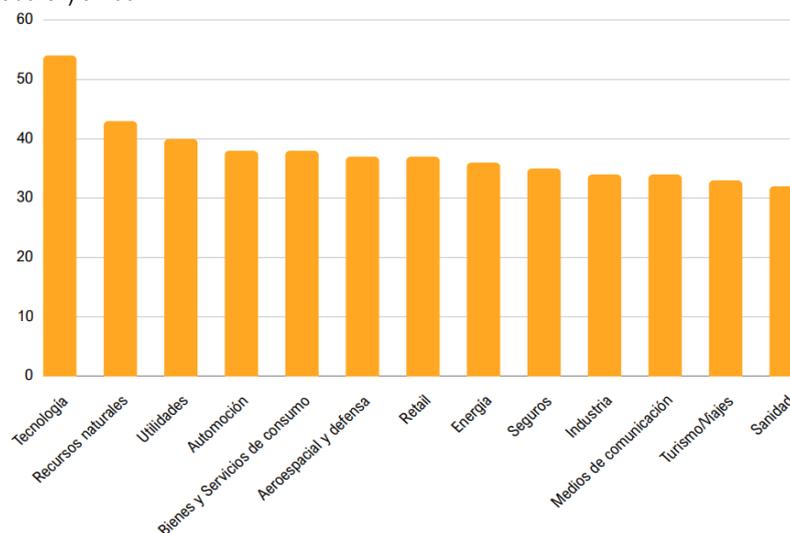
Tras esta breve introducción histórica sobre la IA, procederemos a presentar un concepto sobre esta tecnología. Facilitar una definición clara es un tema complicado dado que se trata de una herramienta que aún está en continuo desarrollo y no pertenece a una clase específica de tecnología ni enfoque técnico concreto, sin embargo, podemos identificarlo como un campo de la informática cuyo objetivo es la creación de sistemas capaces de aprender grandes cantidades de datos mediante la utilización de combinaciones de algoritmos. El Parlamento Europeo (2020) comenta que se trata de sistemas tecnológicos con capacidades similares a las de los seres humanos, de esta forma pueden percibir su entorno, relacionarse con él, resolver problemas y actuar de acuerdo a un objetivo específico. La Comisión Europea (2018) profundiza al enfatizar que durante el momento en que el sistema percibe su entorno, a su vez, se encarga de interpretar datos mediante el uso de algoritmos que permiten razonar los datos, extraer la información relevante, identificar patrones y características útiles. En sí, los algoritmos actúan como un conjunto de instrucciones lógicas que posibilitan la comprensión de los datos. De igual forma, explican el esquema que permite a la IA actuar de forma racional, primero a través de sensores incorporados percibe el entorno donde se encuentra, seguidamente razona sobre lo percibido para decidir cuál es la mejor acción y finalmente actúa a través de softwares que le permiten modificar su entorno. Desde la Universidad de Stanford, Manning (2020) define la IA como la ciencia de crear máquinas inteligentes con el objetivo de lograr que su comportamiento sea similar al de los seres humanos, destaca que se trata de sistemas autónomos que pueden planificar y decidir de forma independiente un conjunto de secuencias para alcanzar con éxito una tarea, sin necesidad de un control detallado. En síntesis, las distintas definiciones convergen en una misma idea donde la IA es una herramienta utilizada para crear sistemas que puedan realizar tareas complejas de manera autónoma y con una capacidad similar a la inteligencia humana.

Una vez presentado el concepto de la IA, es necesario comentar el fuerte impacto que ha tenido en nuestra economía. Actualmente, la IA ha revolucionado la forma en la que se realizan las actividades productivas en los distintos sectores de la economía, tal es el caso de la medicina, agricultura, industria manufactura, servicios financieros, educación, entre otros. Por ejemplo, en el sector de la manufactura Hua et al. (2018) propone un algoritmo que usa IA para predecir la vida útil restante de equipos industriales, destacando su importancia a nivel industrial. Mientras que en la agricultura, Janrao y Shah (2022) describen el uso de algoritmos de IA para predecir cultivos precisos y rentables basándose en las pérdidas y ganancias de toda la cosecha calculadas en períodos anteriores. Estos son solo algunos ejemplos de lo que realmente es capaz de ayudar este tipo de tecnología en los sectores económicos; su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos, automatizar tareas y tomar decisiones estratégicas han impulsado mejoras significativas en la eficiencia de muchos campos económicos, convirtiendo a esta herramienta tecnológica en una extraordinaria fuente de desarrollo económico. El gráfico 1 proporciona información que permite demostrar la adaptación de la IA en diferentes sectores de la economía, específicamente se muestran los niveles de madurez de la IA por sector en escala de 0 a 100 y está compuesta por

una encuesta a 15 países (Australia, Brasil, Canadá, China, Francia, Alemania, India, Israel, Italia, Japón, Singapur, Sudáfrica, España, UK y USA) pertenecientes a 16 tipos de industrias. Accenture (2022) explica que la madurez de la IA permite medir el grado en que las organizaciones dominan las capacidades de la IA en la combinación adecuada y por tanto les posibilita un mejor rendimiento para los clientes, accionistas y empleados. Con los datos presentados en el gráfico 1, es evidente que el sector tecnológico (54%) lidera en términos de adopción y desarrollo de la IA. Claramente es el sector más avanzado y no debería de ser un dato sorprendente dado que es una industria que está directamente relacionada en la creación y desarrollo de soluciones basadas en IA, por lo que puede aprovechar los mayores beneficios. No obstante, sectores no relacionados directamente con la tecnología tienen un alto grado de madurez, tal es el caso de la industria de recursos naturales (43%). Este último sector comprende actividades como la minería, agricultura o extracción de petróleo y tradicionalmente no se asocian con la implementación de tecnologías tan avanzadas como la IA, aún así durante los últimos años hemos apreciado avances significativos en su implementación. Igualmente, es interesante observar otros sectores con altos niveles de madurez como es el caso de las utilidades (40%), automoción (38%) y los bienes y servicios de consumo (38%), demostrando así la importancia que tiene la IA en las operaciones y servicios de estas industrias. Destaca también el sector de retail (37%) donde la incorporación de la IA se ve reflejada en la personalización de la experiencia de compra así como en las recomendaciones de productos. Es interesante el caso de sanidad (32%) siendo el más bajo de todos a pesar de que cada vez más se encuentran soluciones de IA que se implementan en este sector, sin embargo, es posible que la complejidad de este sector dificulte la aplicación efectiva de IA.

Gráfico 1. Nivel de madurez de la IA por industrias a nivel mundial

Escala de 0 (menor madurez) a 100



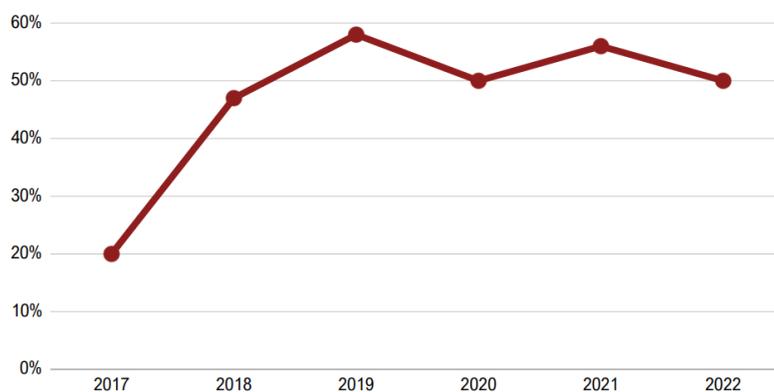
Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por Accenture: The art of AI maturity

Con los datos anteriores es posible concluir que el grado de adopción de la IA es cada vez más recurrente en los diferentes sectores de la economía y su reconocimiento como una herramienta valiosa para la toma de decisiones estratégicas en diversos ámbitos. Inclusive el hecho de que se esté utilizando en industrias tradicionalmente no asociadas a las tecnologías avanzadas es sorprendente y demuestra su potencial para mejorar la productividad y eficiencia en diferentes áreas. El gráfico 2 corrobora la información planteada anteriormente a través de una encuesta realizada por McKinsey & Company a participantes representantes de China, Europa,

Asia-Pacífico y Norteamérica de diferentes industrias, tamaños de empresa y cargos ejercidos. Comprende el período entre 2017 y 2022 en relación a la implementación de tecnologías de IA, en al menos una función, por parte de las organizaciones encuestadas. En principio, aumenta significativamente la implementación de la IA en el período planteado, siendo en 2017 un 20% de las organizaciones hasta alcanzar un 50% para el año 2022. Sin embargo, es interesante destacar que el porcentaje del 2022 es ligeramente inferior al del año anterior, siendo en 2021 de 56%. Clark et al. (2023) comenta que esta bajada puede deberse a que el uso de la IA ha crecido rápidamente en la última década pero desde 2020 se ha estabilizado, sin embargo no explica las razones de ello. Igualmente, el crecimiento en 5 años ha sido significativamente alto y demuestra el interés de las organizaciones de diversos sectores por incluir tecnologías de IA en sus negocios.

Gráfico 2. Proporción de adoptantes de IA (2017-22)

Nº de encuestados: 1.492



Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por encuesta de McKinsey & Company en 2022.

En la tabla 1 se observa el porcentaje de empresas por CCAA en España en el año 2021 que emplean tecnologías de IA en sus procesos de producción, logística y ventas, considerando empresas del sector de industria, construcción y servicios. En primer lugar, Extremadura lidera el uso de IA en las tres áreas mencionadas e inclusive supera la media nacional; este dato es interesante dado que no se trata de un territorio especializado en tecnologías sino en actividades agroalimentarias normalmente no relacionadas a este tipo de técnicas. No obstante, podría explicarse si consideramos que hace unos meses se anunció que se convertirá en la primera región española en aplicar una regulación para la IA con el objetivo de fomentar su adopción en el tejido empresarial mediante diversas medidas de apoyo, promoción e impulso de su utilización (Junta de Extremadura, 2023), lo que confirma su dedicación al uso de este tipo de técnicas. En el mismo contexto, los datos relativos al uso de la IA en la producción muestran que el mayor porcentaje se concentra en Extremadura, Castilla-La Mancha y Galicia, claramente regiones no industriales y especializadas mayoritariamente en el sector agroalimentario. En el área de logística sucede una situación similar con la diferencia de la Rioja entre las principales regiones, igualmente una zona no conocida por altos procesos tecnológicos. En el caso de las ventas existe una diferencia mayor al estar presente regiones como País Vasco entre los principales porcentajes, situación que sería de esperarse al tratarse de una zona con una sólida base industrial y tecnológica. Estos datos muestran que las regiones líderes en el uso de IA en las áreas mencionadas están predominantemente especializadas en actividades agroalimentarias, lo que sugiere que la adopción de IA podría estar posiblemente centrada en procesos agrícolas. Sin embargo, también podría influir la presencia de diversos factores como iniciativas de I+D, apoyo

gubernamental, disponibilidad de personal capacitados en tecnologías, entre otros; pero, como no es posible acceder a datos tan detallados de la industria agroalimentaria para confirmar esta hipótesis.

Por último, se observa que las regiones con menor uso de IA son prácticamente las mismas en las tres áreas, siendo estas Ceuta, Melilla e inclusive Navarra. Una posible respuesta a su baja adopción podría ser la falta de infraestructura tecnológica, menor desarrollo económico o menor enfoque en este tipo de tecnologías. Sin embargo sería necesario un análisis más detallado para comprender las razones específicas y el cual no podemos realizar por falta de datos.

Tabla 1. Porcentaje de empresas que emplean tecnologías de IA en España

CCAA	% Empresas que usan IA para procesos de producción	% Empresas que usan IA para logística	% Empresas que emplean IA para Marketing o ventas
Nacional	23,82	10,76	22,18
Andalucía	14,38	7,07	14,57
Aragón	22,88	9,68	15,47
Asturias	20,38	6,50	14,83
Baleares	25,38	3,37	24,70
Canarias	21,20	10,62	17,30
Cantabria	20,84	5,91	1,48
Castilla y León	24,33	11,34	15,46
Castilla-La Mancha	35,26	19,72	14,83
Cataluña	22,01	7,69	21,57
Comunidad Valenciana	31,00	12,75	25,51
Extremadura	52,80	48,21	34,33
Galicia	34,41	13,59	29,66
Madrid	22,98	11,81	25,12
Murcia	28,74	14,93	24,71
Navarra	30,89	3,08	9,35
País Vasco	22,43	13,43	32,91
Rioja	10,59	19,98	20,13
Ceuta	0,95	0,95	0,00
Melilla	2,59	0,65	1,29

Datos provenientes del INE (2021). Elaboración propia.

2.2. Ramas de estudio de la Inteligencia Artificial

Una vez definido el concepto de la IA y destacada la relevancia que está adquiriendo en diferentes sectores, corresponderá describir y organizar de forma concisa las numerosas aplicaciones y tipologías de tecnología que se engloban en su ámbito. Dentro de este amplio concepto, se agrupan diversas técnicas y metodologías destinadas a resolver problemas en distintas ramas de especialización, donde cada rama se centra en abordar un conjunto específico de problemas a través de métodos y técnicas adaptados a sus respectivos dominios. A continuación se definen las tres principales ramas de aplicación de esta tecnología.

- Aprendizaje automático: Considerada como la categoría predominante, consiste en una técnica que desarrolla sistemas capaces de aprender a partir de datos sin necesidad de estar programado para ello, permitiendo que las máquinas puedan tomar decisiones en base a la información aprendida. Vélez (2022) explica la diferencia entre la IA y el aprendizaje automático; donde la primera se trata de un concepto más amplio donde se crean máquinas que pueden simular el comportamiento humano, mientras que la segunda es un subconjunto de la IA que permite a las máquinas aprender datos sin la necesidad de programarlos con anterioridad. Algunos ejemplos

destacables son el reconocimiento de voz a través de asistentes virtuales como Siri, Alexa o Google Assistant, la personalización de contenidos a través de sistemas de recomendación como el caso de plataformas de streaming de películas o la detección de fraudes en transacciones financieras mediante la capacidad de analizar datos y detección de anomalías.

- Procesamiento del lenguaje natural (NPL): Es el campo de conocimiento cuyo objetivo es la creación de mecanismos, a través del aprendizaje automático, que permitan a las máquinas la capacidad de comprender e interpretar el lenguaje humano. En la página web oficial de la firma tecnológica IBM se describe como el NPL permite que las máquinas comprendan y respondan a datos de texto o voz y a su vez respondan con pensamiento crítico bien sea voz o texto propio. Algunos ejemplos que utilizamos cotidianamente son los asistentes virtuales, los sistemas GPS operados por voz, la función de autocorrección en el texto, traducción automática como Google Translate, recomendaciones de productos en línea basadas en preferencias y patrones de compra e inclusive modelos de lenguaje como ChatGPT que permiten comprender y generar respuestas.

- Visión artificial: Implica desarrollar algoritmos y distintos sistemas que posibilitan a las máquinas la capacidad de interpretar y comprender información visual a partir de imágenes o vídeos. La página web de la firma tecnológica Intel lo define como la rama que permite proporcionar a los equipos industriales la capacidad de visualizar lo que están haciendo y tomar decisiones en función de lo que ven. Algunos ejemplos son los robots de selección de calidad y control, el reconocimiento facial en aplicaciones móviles, escaneo de códigos QR o la asistencia al conductor en vehículos para detectar objetos a su alrededor como es el caso de los automóviles Tesla.

Sin embargo, es común entrelazar estas ramas para abordar problemas complejos y realizar tareas específicas, por lo que las ramas no son completamente independientes unas de otras y en cambio se complementan para poder alcanzar su propósito. Esta es una de las razones por las que no se debería asignar la utilización de una rama para un objetivo específico, aún así, se empleó una clasificación por ramas por comprensión del lector respecto a las aplicaciones de la IA. Un ejemplo de dicha combinación se puede ver en las aplicaciones de asistentes virtuales como Siri, donde utilizamos procesamiento del lenguaje natural para comprender y generar respuestas que puedan ser comprendidas por los usuarios. Sin embargo, el chatbot mejora constantemente su capacidad de comprensión y respuesta de las conversaciones humanas por lo que utiliza también el aprendizaje automático.

Luego de proporcionar información un poco más detallada para ayudar a la comprensión de la IA y su funcionamiento, corresponde aclarar que a pesar de que la IA actualmente se utiliza en diversos sectores económicos, en este trabajo nos centraremos en su relación con el sector de la agricultura. No es muy común asociar ambos términos debido a sus grandes diferencias, sin embargo, existe una conexión más fuerte de lo que habitualmente consideramos y este trabajo permitirá explorarla. Actualmente la implementación de la IA en el sector agrícola tiene una importancia estratégica y numerosos beneficios desde aumento de la productividad y eficiencia, reducción de los costes, optimización de recursos hasta mitigación de los riesgos en los cultivos. Además, esta herramienta desempeña un papel crucial en nuestro entorno actual y a futuro será aún más importante, en especial para el sector agrícola que sigue siendo el pilar de la economía de muchos países, por ello se considera importante estudiar la relación entre ambos y su impacto económico. Antes de adentrarnos en el trabajo es importante especificar qué avances tecnológicos son considerados como IA en el sector agrícola. Por tal razón, estableceremos las tres categorías

principales donde se agrupan las aplicaciones más relevantes de la IA en la agricultura y las que en principio describiremos a lo largo del trabajo a través de ejemplos, excluyendo así otras mejoras tecnológicas del sector que no utilizan aplicaciones de IA. Las categorías incluidas son:

- Robots agrícolas: Son robots diseñados y programados para realizar tareas relacionadas al sector agrícola. Su uso permite mejorar la productividad, eficiencia y sostenibilidad ambiental dado que realiza las mismas actividades que un operario pero puede tomar mejores decisiones en caso de cortar, recoger el racimo o esperar a que esté en su punto óptimo (Pelegrí, 2022). Para realizar sus labores de forma eficiente utilizan tecnologías avanzadas de IA como visión artificial, aprendizaje automático y sistema de posicionamiento global (GPS). Entre sus ejemplos, Ramón (2020) menciona la innovación del robot Sweeper, financiado por la Unión Europea y la adquisición del robot Pantheon, con características similares al anterior, pero éste último puede moverse por suelo y aire para recolectar el producto. La página web oficial de la empresa tecnológica de agricultura Aigritec destaca el uso de un robot avanzado, que una vez extraídas las coordenadas de las frutas detectadas por un ordenador, utiliza una cámara de profundidad para calcular la posición de la fruta con respecto al brazo robótico y poder iniciar el proceso de recolección.

- Monitoreo de cultivo y suelos: Este enfoque permite la recolección de datos en tiempo real con el fin de obtener información precisa y detallada sobre el estado de los cultivos y suelos. Permite capturar datos a través de la visión de dispositivos electrónicos, como drones o tecnologías de software, y luego procesarlos con algoritmos de aprendizaje automático para obtener información detallada (Larrazabal, 2019). Por ejemplo, el uso de drones equipados con cámaras permiten recorrer los campos agrícolas y recopilar imágenes sobre el cultivo, luego los datos se procesan y analizan utilizando algoritmos de aprendizaje automático para extraer información sobre el cultivo, suelo o enfermedades. Igualmente, incluye el uso de técnicas de teledetección y escaneo láser 3D para construir métricas de cultivo y poder monitorear la salud de sus tierras (Sepúlveda, 2022).

- Análisis predictivo: Permite procesar datos históricos y actuales para identificar patrones y repeticiones con el objetivo de realizar predicciones a futuro. Su funcionamiento a través de modelos de aprendizaje automático permite estimar los impactos de las condiciones ambientales sobre el desempeño y rendimiento en los cultivos (Larrazabal, 2019). Entre sus beneficios, permite a los agricultores tomar decisiones más informadas y anticiparse a los problemas. Por ejemplo, la empresa israelí Manna proporciona recomendaciones de riego diaria para una mejor eficiencia en el uso del agua. Igualmente, existen sistemas de riego automatizado a partir de diferentes sensores que permiten medir la humedad, ph, presión y temperatura del suelo (Patel et al, 2020).

3. Inteligencia artificial y su impacto en la agricultura

Actualmente la IA se utiliza para resolver problemas complejos que el ser humano no puede solventar con la misma facilidad y rapidez. En este contexto, el uso de esta innovación en un ámbito como la agricultura juega un papel de gran relevancia, especialmente al ser es una actividad con diversos retos para su realización y una fuente básica e indispensable de sustento para la vida humana. En los últimos años, el uso de las nuevas tecnologías en la agricultura ha permitido reducir los principales desafíos a los que se enfrenta esta actividad, entre ellos destacan garantizar la seguridad alimentaria ante la creciente demanda, adaptarse a los riesgos ocasionados por el cambio climático y futuros desastres naturales, incrementar la productividad de forma sostenible con la eficiencia en el uso de los recursos, evitar la destrucción y contaminación

de los suelos, impulsar el acceso a los mercados y a un comercio con condiciones justas, así como la propia digitalización del sector. Como corroboración de la presencia de desafíos, la FAO (2017) argumenta que se espera un progresivo aumento en la demanda mundial de alimentos, aproximadamente un incremento del 50% para el año 2050, y simultáneamente nos enfrentaremos a una creciente escasez de recursos y cambios en la estructura de la demanda agrícola. A su vez, el cambio climático y la competencia por los recursos naturales impulsarán la degradación del medio ambiente, ocasionando graves consecuencias en la seguridad alimentaria de las personas. Sin embargo, la principal preocupación radica en que los recursos naturales utilizados en la agricultura no crecerán al mismo ritmo que los factores anteriores y como consecuencia podría generar dificultades y presiones para el sector agrícola. Como alternativa para solucionar este desafío es necesario un incremento en la producción de alimentos, o bien, intensificar la eficiencia en los procesos de producción a través de procedimientos que utilicen menos recursos. Ante estas perspectivas, la integración de la IA en la agricultura se ha presentado como un instrumento que puede desempeñar un papel fundamental para poder abordar este conjunto de desafíos mediante el uso de nuevas tecnologías agrícolas que permiten predecir el clima, monitorear el crecimiento de los cultivos, optimizar el uso de agua y nutrientes, mejorar la gestión de la cadena de suministro e inclusive mejorar la productividad, eficiencia y sostenibilidad de esta actividad primaria.

A continuación abordaremos con mayor profundidad como esta nueva tecnología puede ayudar a superar los principales desafíos de la agricultura. Primeramente, la integración de la IA permite la obtención de datos generados por las explotaciones agrícolas modernas a través de distintos sensores y maquinarias. Luego, a partir de estos datos, es posible realizar análisis predictivos y prescriptivos que nos permitirán analizar la aplicación precisa y adecuada de los recursos utilizados para así evitar su agotamiento, proporcionar pronósticos climáticos basados en datos de tiempo real que faciliten la amenaza del cambio climático e inclusive identificar las prácticas de conservación apropiadas para prevenir la degradación y contaminación del suelo. Inclusive la IA ayuda a los agricultores a la creación de modelos de previsión estacional capaces de predecir patrones meteorológicos con meses de antelación (Walch, 2019). Del mismo modo Sánchez (2022) menciona la creación del proyecto IA4FOOD cuyo principal objetivo es utilizar la IA para optimizar los procesos de predicción y planificación de la demanda y así combatir el gran desafío de la seguridad alimentaria, se espera que el proyecto ayude a las empresas del sector a digitalizar sus operaciones de producción y distribución, mejorar la toma de decisiones en compras, y planificar la producción y entrega de pedidos en un entorno de creciente incertidumbre. Hassanien et al. (2021) proponen a partir de técnicas de IA un enfoque de optimización del sistema de riego por goteo que permite combatir el reto del uso eficiente de recursos y lograr una agricultura sostenible. Plataforma Tierra (2023) destaca que la implementación de sistemas basados en IA aumenta el poder de negociación dado que habrá mayor flexibilidad en los contratos con los clientes y proveedores, además de acelerar las fechas de entrega y volúmenes. En esencia, la utilización de análisis predictivos puede ayudar a obtener pronósticos más precisos sobre la demanda y oferta de productos agrícolas y con ello los agricultores pueden negociar sus insumos de manera más efectiva. Además, reduce el tiempo de intermediación y promueve una conexión más directa que finalmente contribuye a promover un comercio agrícola más equitativo, evita prácticas deshonestas y una mayor transparencia. Igualmente, estos datos permiten comprender mejor el entorno operativo y la maquinaria empleada, lo que a su vez posibilita la toma de decisiones más rápidas y precisas (Bochtis et al., 2018).

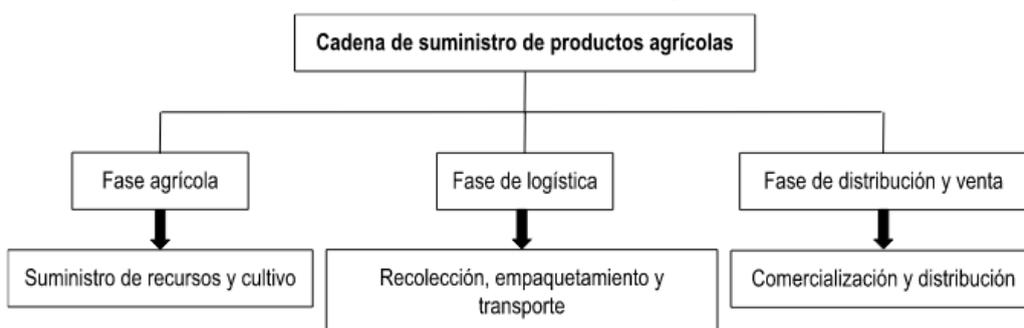
Mediante los ejemplos mencionados, resulta evidente el motivo detrás del creciente auge en el uso de la IA para la agricultura dado que ha permitido abrir una gran cantidad de nuevas oportunidades y un número valioso de soluciones innovadoras para los constantes desafíos a los que se enfrentan los agricultores con la finalidad de mejorar la cantidad y calidad de los productos a través de datos que permiten obtener información continua sobre todo un campo de cultivo. Inclusive este avance no solo permite combatir las barreras del sector, por su parte, también ha permitido que la agricultura siga siendo una fuente de comercio nacional y contribuya al desarrollo económico alrededor del mundo, demostrando que la aplicación de diversos métodos digitales y herramientas tecnológicas ha tenido un impacto económico relevante por su potencial de aumentar la productividad, la rentabilidad, el rendimiento global y reducir los costes de producción del sector.

Trás exponer los desafíos presentes y futuros a los que se enfrenta la agricultura, así como resaltar la importancia que tiene este avance tecnológico para el sector agrícola, se recuerda que el objetivo de este trabajo es explorar la aplicación de la IA en la agricultura. Para comprender mejor su alcance, se introduce el concepto de la cadena de suministro de productos agrícolas, la cual desempeña un papel vital en la organización y claridad del proceso completo, desde que los bienes agrícolas se cultivan hasta su disponibilidad para las familias. Además, resulta esencial en las fases de cultivo, plantación, procesamiento y logística así como distribución comercial de dichos productos hasta el usuario final. El hecho de presentar las distintas fases de la cadena nos permitirá obtener un contexto claro para ejemplificar cómo la IA puede ser aplicada en cada etapa, de tal forma que, se podrán identificar con mayor claridad en qué fases la IA puede optimizar los procesos agrícolas y mejorar tanto la producción como los rendimientos de esta actividad.

A continuación se proporciona una definición de la cadena de suministro de productos agrícolas, según la cual, consiste en un conjunto de procesos que involucran diferentes actividades, desde la producción y cultivo de los productos agrícolas hasta su llegada al consumidor final; cuenta con diferentes etapas para su realización como la cosecha, producción, almacenamiento, distribución y comercialización. Carvajal (2021) lo describe como una herramienta de coordinación que permite mejorar el rendimiento del negocio y el hecho de comprender su uso puede maximizar el logro de los objetivos empresariales, por ello, para el sector agrícola es de gran importancia contar con una cadena de suministro eficiente dado que permitirá asegurar el éxito del sector.

Después de definir la cadena de suministro de productos agrícolas procede establecer las fases que lo componen. En este trabajo utilizaremos tres fases que comprenderán los distintos procesos que implica una cadena de suministro, siendo los mismos: i) Fase agrícola, ii) fase de logística y iii) fase de distribución y venta, tal y como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 1. Fases de la cadena de suministro de productos agrícolas



Fuente: Elaboración propia

Se realizará un análisis económico detallado de las aplicaciones y efectos de la IA, destacando como ha sido su impacto en la productividad, costes, eficiencia y calidad de los cultivos. A continuación se exponen las definiciones de las fases mencionadas.

1. Fase agrícola: Comprende dos grandes bloques de la agricultura, el suministro de recursos necesarios para el cultivo y la producción del mismo. Es la etapa inicial donde se adquieren los insumos para luego ser utilizados en la producción, incluye a su vez, la transformación de los insumos en productos destinados a los clientes. En principio se realizan actividades dirigidas a asegurar la obtención de material de calidad y a menor coste para luego garantizar una producción eficiente a través de distintas técnicas. Las actividades incluidas en este proceso son adquisición de semillas, aplicación de fertilizantes, siembra, riego y mantenimiento de los cultivos, entre otros.

2. Fase de logística: Implica las fases de recolección de los productos agrícolas y el empaquetamiento de los mismos en cajas, bolsas o cualquier embalaje que facilita un traslado y almacenamiento adecuado. Es posible realizar esta actividad mediante maquinaria especializada, herramientas tecnológicas o de forma manual. También en esta fase se clasifican los productos agrícolas para asegurar su calidad antes de llegar al consumidor (Infoagro, 2018). La IA interviene con el uso de drones o robots agrícolas que recolectan la cosecha o mediante el control de calidad, igualmente existen maquinaria que permite identificar cualquier producto, tanto por su color, forma o por sus características biológicas, y detectar defectos o material extraño.

3. Fase de distribución y venta: Identifica los canales y niveles de comercialización en los diversos mercados e incluye la ubicación adecuada de los productos en los puntos de venta adecuados (Flores et al, 2019). Evalúan las necesidades y preferencias de los consumidores, así como estudios de mercado que permitan conocer los cambios en la demanda y la implementación de estrategias de distribución. Las técnicas de IA pueden acceder y analizar grandes conjuntos de datos que les permiten identificar patrones en el comportamiento del consumidor y así planificar el resto del proceso agrícola.

4. Análisis económico de la implementación de IA en la cadena de suministro de productos agrícolas

En este apartado se estudiarán los efectos de la IA en las distintas fases de la cadena de suministro de productos agrícolas y, a partir de los pocos datos e información que se tiene sobre el tema, se realizará un análisis económico que permitirá establecer criterios sobre los efectos de esta tecnología en el proceso del producto agrícola. Comenzaremos con una evaluación de su efecto sobre la producción y productividad, posteriormente se analizará su impacto en los costes tras su implementación así como los beneficios y rentabilidad que potencialmente pueden lograrse para finalmente hacer un análisis del mercado de la IA para este sector particular. Es importante aclarar que la mayoría de aplicaciones están relacionadas a la fase agrícola de la cadena de suministro, aún así se incluirán ejemplos asociados al resto de las fases de logística y distribución.

4.2. Análisis de la producción

Comprender las consecuencias en la producción es un aspecto fundamental para analizar el impacto económico de la IA en la cadena de suministro de productos agrícolas y por ende tanto en los costes de producción como en la rentabilidad. En este apartado se analizará el impacto en la producción y por tanto la productividad, luego se comentarán bases teóricas sobre este efecto y se ilustran con casos reales para finalmente ejemplificar su impacto en la cadena de suministro.

Antes sería oportuno diferenciar los conceptos de productividad y producción. Montagud (2019) define la producción como la cantidad total de bienes y recursos que ofrece una empresa durante un periodo mientras que la productividad relaciona los materiales consumidos y el producto final con los recursos necesarios para su obtención. En síntesis, la primera se centra en el nivel del producto final a diferencia de la segunda que tiene en cuenta la relación entre el producto final y los recursos empleados en el proceso productivo.

Una vez aclarados estos conceptos, es relevante destacar que las técnicas de IA en la agricultura tienen un impacto significativo en ambos conceptos. El primer impacto que se espera sería un aumento en la cantidad total de cultivos producidos, es decir, un incremento en la producción. Esta mejora puede provenir de diferentes usos de la IA en el sector agrícola, en principio, al analizar grandes conjuntos de datos esta tecnología puede aportar recomendaciones personalizadas sobre el momento adecuado para la siembra y cosecha, el tipo de semilla más adecuada, elección de cultivo más productivo, así como la cantidad de fertilizante necesario. Luego, a partir de estas recomendaciones, el agricultor puede tomar decisiones más acertadas sobre el cultivo y maximizar su producción. Por otra parte también es posible el aumento de la producción debido al monitoreo constante de los cultivos a través de imágenes o sensores que permiten la detección temprana de enfermedades y por ende una respuesta rápida del agricultor.

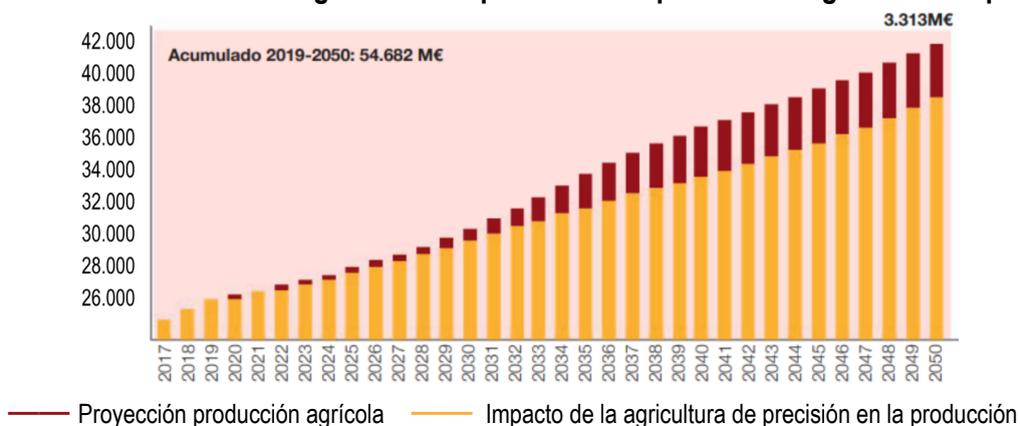
Posteriormente, este aumento en la producción puede tener un segundo impacto al permitir un incremento en la productividad agrícola. Con ello se obtiene una mayor producción utilizando la misma cantidad de recursos, o inversamente, se utilizan menos recursos pero se obtiene la misma cantidad de producción. Siguiendo la explicación anterior del uso de IA para proporcionar recomendaciones adecuadas a los agricultores, además de aumentar la producción, permiten una gestión inteligente de los recursos e insumos utilizados y por tanto un aumento en la productividad al optimizar su consumo. Igualmente, la IA permite automatizar tareas agrícolas como el riego, la siembra y recolección mediante el uso de maquinaria inteligente que ayudan en la realización de tareas al ejecutarse con mayor rapidez y con métodos más eficientes que los tradicionales, y en consecuencia, se refleja en una mayor capacidad de producción de manera eficiente utilizando una menor mano de obra y reduciendo los costes laborales. Alam (2020) comenta el impacto que ha tenido el uso del análisis de datos en África destacando el caso de la producción de maíz en Kenia occidental donde se presenció un aumento en la productividad del cultivo al incrementar de una media de 6 a 9 sacos por agricultor en un solo año. Igualmente, la producción de tomates en Japón se incrementó hasta en un 15% la productividad de sus cultivos gracias a la adopción de tecnologías para controlar aspectos de la producción agrícola.

En este sentido, se espera que la IA tenga un impacto positivo en la producción y productividad del sector agrícola. Se prevé un crecimiento económico en los próximos años causado en mayor medida por un incremento de hasta el 40% en la productividad laboral debido al uso de tecnologías de IA que permitirán una gestión más eficiente del tiempo de los trabajadores (Accenture, 2022). Adicionalmente, PwC (2018) destaca el fenómeno mencionado, pero en este caso para ellos el aumento de la productividad será a corto plazo debido a la automatización de las tareas rutinarias con el uso de robots y vehículos autónomos en distintos sectores. No obstante, manifiestan que esta no será la única forma de incrementar la productividad dado que las empresas necesitarán invertir en sistemas basados en IA que se complementen con su mano de obra y les permita realizar sus tareas de forma eficiente, situación que también se traduciría en un aumento de la productividad global. Adicionalmente, se espera que durante el periodo 2017-2030,

aproximadamente el 55% del incremento en el PIB provendrá del aumento de la productividad.

PwC (2019) respalda la idea anterior y permiten relacionar este aumento de la productividad con la agricultura a través de un estudio sobre el futuro del sector agrícola español, donde exponen los resultados del uso de la agricultura de precisión en la producción y el aumento que se prevé hasta el año 2050. Destacan que este tipo de agricultura incluye el uso de una gran variedad de nuevas tecnologías que permiten mejorar el rendimiento de los cultivos, entre ellas diversas herramientas de inteligencia artificial. A partir de los datos ilustrados en la figura 1, se observa que la inclusión de la agricultura de precisión podría llegar a aumentar la producción agrícola hasta un 8,8% en 2050. Además expresan que “en términos monetarios, esto podría suponer en torno a 3.313 millones de euros de producción agrícola adicional” (p.91). Por último, se estima que la producción acumulada entre 2019 y 2050 aumentará en 54.682 millones de euros.

Gráfico 3. Contribución de la agricultura de precisión a la producción agrícola en España



Fuente: PwC (2019), a partir de datos de producción agrícola española de Eurostat y de las proyecciones económicas de la OCDE.

Para analizar un poco más a profundidad los efectos en la productividad por la inclusión de la IA en la agricultura, es relevante utilizar datos que permitan hacer una comparativa entre agricultores que implementan este tipo de tecnologías y los que no, de esta forma podemos ver la diferencia en distintos factores y si estas técnicas realmente contribuyen positivamente a la productividad del sector. Para este análisis vamos a utilizar datos proporcionados por el Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en 2023, donde analizan los impactos en la productividad para agricultores que utilizan diferentes técnicas de IA y los que no. La tabla 1 muestra los resultados relativos a dicho análisis donde se utilizan distintos tipos cultivos como el maíz, algodón, trigo, soja y sorgo durante los años 2016-2019. Se aclara que la medida utilizada para evaluar la productividad es diferente de acuerdo al cultivo, así para el algodón es libras por acres mientras que para el resto es fanegas por acre. La misma tabla incluye entre las herramientas tecnologías que incorporen técnicas de IA a los mapas de rendimiento, que consisten en representaciones gráficas del cultivo creados mediante monitoreo o sensores que registran datos sobre el rendimiento; los mapas de suelos, que funcionan con tecnologías similares al anterior con la diferencia que permiten obtener características específicas del suelo; los fertilizantes de tasa variable donde se utiliza tecnologías de IA y agricultura de precisión para adaptar la cantidad de fertilizante necesaria de acuerdo a las necesidades; y los drones, que son aparatos equipados con cámaras y sensores que permiten volar sobre los campos y capturar datos.

Luego de comprender los conceptos abordados en la tabla 2, se comprueba que estos

datos empíricos reflejan un rendimiento mayor en los cultivos que utilizan técnicas de precisión tecnológica y por tanto una mayor productividad; es cierto que existe una pequeña excepción en los cultivos de sorgo donde a pesar de que la productividad es mayor con el uso de tecnologías, la diferencia no es muy notoria, siendo aproximadamente de 15 fanega por acre en promedio. En contraste, es posible ver una gran diferencia con el uso de herramientas tecnológicas en los cultivos de algodón, en promedio los agricultores que adoptaron estas técnicas obtuvieron 131 libras más de la siembra por acre que el grupo no adoptante, lo cual equivale a un 14,29% adicional. Y especialmente la diferencia más significativa está en los cultivos de trigo con un 28,19% de productividad superior con el uso de la IA y seguidamente el cultivo de maíz con un 26,25%. Siguiendo la misma tabla, en cuanto al tipo de tecnología utilizada también se aprecia que la mayoría de herramientas aumenta la rentabilidad de los cultivos. No es posible determinar qué herramienta permite una mayor productividad con la información proporcionada pero podemos aclarar que aunque algunas tuvieron una productividad menor, en general es superior en el grupo de adoptantes de tecnología. Como información importante, destacan la relevancia de las diferentes variables que intervienen en la agricultura, en este sentido, no es posible confirmar de manera concluyente que existe una relación causal entre el uso de la IA y la productividad agrícola dado que en este sector pueden intervenir diferentes variables que alteren la producción como las condiciones climáticas, cantidad de fertilizantes, entre otros. No obstante, estos primeros datos parecen proporcionar cierta evidencia de que esta relación si existe, y ello ha dado lugar a generar expectativas positivas sobre su efecto en la producción y productividad ya que se observa que estas sean más altas para aquellos agricultores que implementan tecnologías de IA.

Tabla 2. Relación entre la productividad y la adopción de IA

Cultivo	Adopción	Mapas de rendimiento	Mapas de suelo	Fertilizante de tasa variable	Drones
Maíz (fca/acre)	Adoptan	183	182	187	179
	No adoptan	139	147	143	150
Trigo (fca/acre)	Adoptan	62	70	58	51
	No adoptan	46	47	47	48
Soja (fca/acre)	Adoptan	59	59	60	61
	No adoptan	52	54	53	54
Algodón (lb/acre)	Adoptan	1.095	1.067	1022	1009
	No adoptan	903	922	913	931
Sorgo (fca/acre)	Adoptan	82	80	70	99
	No adoptan	72	73	74	73

Fuente: Datos proporcionados por el Servicio de Investigación Económica del USDA, utilizando la encuesta de Administración de Recursos Agrícolas (2016-2019). Elaboración propia.

A pesar de que las herramientas tecnológicas mencionadas no se consideran totalmente representativas cuando hablamos de IA debido a que son utilizadas específicamente para la agricultura de precisión, sí es posible percibir una significativa relación entre ellas. Dichas técnicas se basan en la recopilación y análisis de datos, lo cual se realiza mayoritariamente con tecnologías de IA. Además, teniendo en cuenta la poca información que se puede obtener en cuanto a los beneficios de herramientas que aún están en su fase de iniciación e implementación, es de gran utilidad poder tener algunos datos que tengan aunque sea una moderada relación entre ellos. Finalmente estos resultados sugieren que la adopción de técnicas de IA pueden mejorar

considerablemente la productividad de los cultivos y en consecuencia incrementar la productividad del sector agrícola, teniendo a su vez efectos positivos en la cadena de suministro de sus productos. Adicionalmente, con los datos analizados en la tabla y las fuentes citadas anteriormente se podría intuir que la implementación de técnicas de IA en la agricultura supondrá un impacto positivo para la producción y productividad.

Luego de concretar el impacto de la IA en la productividad y producción sería necesario ejemplificar la intervención de esta tecnología en la cadena de suministro de productos agrícolas de acuerdo a cada fase y su efecto en la producción. Es importante destacar que una misma aplicación de IA puede afectar a las diferentes fases, sin embargo para mayor comprensión del lector se utilizarán diferentes ejemplos. El aumento de la producción se ve más favorecido durante la fase agrícola, Chen et al. (2016) presentan un método para la detección de la enfermedad de Bakanae en plántulas de arroz y con ello evitar pérdida de producción de grano a partir de una detección automatizada mediante el uso de algoritmos de aprendizaje para distinguir las plántulas infectadas y por tanto conseguir un aumento en la producción del grano. Retema (2016) señala el caso de la empresa AgroSmart donde ofrecen un servicio de consultoría para los agricultores que les permite analizar los cultivos más rentables, el momento óptimo de siembra así como la aplicación de fertilizantes; esta recomendación proviene de la información que introduce el agricultor y luego los algoritmos de IA brindan las pautas adecuadas para maximizar su productividad. Durante la fase de logística también se utilizan herramientas de IA que mejoran la producción, Amatya et al. (2015) comenta sobre un método eficiente a partir del uso de un sistema de visión artificial que permite identificar los frutos de cerezas en un ramo completo y ya con esta información es posible determinar el momento de recolección adecuado y por ende optimizar la producción de cerezas. Albrecht (2019) comenta el caso de la empresa AgShift que actualmente utiliza IA con la inclusión de la máquina Hydra F100BQ para clasificar e inspeccionar automáticamente las frutas en el procesado de alimento, agilizando el proceso de distribución y logrando una producción más eficiente. Por último, en la fase de distribución y venta, Bronson y Knezevic (2016), mencionan a la empresa Monsanto donde los procesadores de alimento vigilan constantemente los datos de las redes sociales para predecir la opinión de los consumidores y asegurar su aprobación, permitiendo aumentar la demanda y mejorar la productividad. En resumen, cada fase se ha visto beneficiada por la inclusión de la IA y han tenido un efecto positivo en la producción y productividad, existen más casos que nombrar pero solo se espera poder dar una pequeña presentación de los resultados logrados hasta la actualidad.

4.2. Análisis de los costes

Luego de analizar el impacto de la IA en la producción, corresponde realizar un estudio económico de sus efectos sobre los costos de producción. En este apartado se explicarán los efectos en los costes a corto y largo plazo y luego se ejemplificará su impacto en la cadena de suministro de productos agrícolas. Primeramente procederemos con una breve definición de los costos, según FAO (2016) consiste en los gastos necesarios para mantener un proyecto o equipo en funcionamiento, es decir, el valor monetario de todo lo utilizado en la producción desde las semillas hasta la mano de obra y elementos necesarios para la cosecha. Por ello, los costes son una consideración importante y esencial en la toma de decisiones para los agricultores, y donde precisamente la IA puede ayudar a su reducción y optimizar la asignación de recursos.

Para entender mejor este análisis es importante considerar que la aplicación de la IA en la

agricultura tendrá dos efectos significativos en los costes, a corto y a largo plazo. Primeramente, se espera que los costes sean mayores a corto plazo debido a la fuerte inversión inicial que se necesita para adoptar tecnologías de IA. El Comité Económico y Social Europeo (2021) comenta que los costes suelen ser el principal desafío para los agricultores dado que tienen unos ingresos bajos y el coste de una maquinaria de alta tecnología suele ser representativo. Jiva (2023) expone que la inversión en herramientas de IA no solo depende del hardware, software y robots, sino que también incluye la necesidad de programas de formación y apoyo. Además, se deben tener en cuenta los costes de mantenimiento y actualización de los equipos dado que se trata de sistemas que requieren mantenerse al día con los últimos avances y con su funcionamiento al máximo.

La tabla 3 muestra información sobre los costes de sustitución de los equipos, tasas anuales y primas pagadas en tecnologías relacionadas con técnicas de IA acuerdo a una encuesta realizada por el Servicio de Investigación Económica del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) en 2023 relativa a cultivos de soja y algodón en 2018 y 2019, respectivamente. En el informe se especifica que los costes no son homogéneos para ninguna tecnología, principalmente porque cada empresa y fabricante tiene tarifas específicas. La primera columna indica las diferentes tecnologías analizadas, que incluyen el monitor de rendimiento, las tecnologías de tasa variable y los drones, siendo para cada una de ellas indispensable el uso de técnicas de IA para recopilar, analizar y procesar datos del cultivo. En el apartado anterior se proporcionó una definición sobre algunas herramientas por lo que no se volverá a repetir a excepción de las tecnologías de tasa variable, las cuales consisten en el uso de diferentes tipos de tecnologías que utilizan algoritmos de IA para ajustar la aplicación de insumos agrícolas de acuerdo a las necesidades. La segunda columna muestra los tipos de costos que se evaluaron durante la encuesta, luego en la tercera y cuarta columna se presentan los cultivos asociados a los costes mencionados. Se observa que el coste de sustitución de los monitores de rendimiento difiere entre el cultivo de soja y algodón, siendo en esta última un precio más costoso de 13.775 dólares, además de que la diferencia es aún más notoria para la cuota anual siendo de 1.041 dólares en la soja y 1.772 dólares en el algodón. Igualmente, se resalta la diferencia en los costes anuales de IA entre cultivos de algodón y soja dado que destaca aspectos relevantes de la agricultura y como varios factores influyen en ella. De modo que, el mayor costo de sustituir los monitores de rendimiento en el algodón en comparación con la soja demuestra que los costos no solo están influenciados por la tecnología utilizada, sino también por el tipo de cultivo elegido, lo que plantea desafíos económicos para el agricultor. Esta observación muestra que la elección del cultivo adecuado y la tecnología utilizada son factores esenciales a considerar en la toma de decisiones, y por tanto, cada cultivo puede requerir diferentes herramientas y necesidades que a su vez impactan en los gastos asociados. Igualmente, la diferencia en las cuotas anuales entre la soja y el algodón refuerza la idea anterior y evidencia que el mantenimiento y uso de herramientas relacionadas con IA conlleva gastos adicionales elevados. Por otro lado, se refleja la cuota de seguro de las tecnologías de tasa variables (TTV), que al igual que el caso anterior, es el doble para los cultivos de algodón (10.319 dólares) que para el cultivo de soja la cual es de 5.360 dólares. Por último, en el caso de la sustitución de equipo en los drones solo se tiene información respecto a los cultivos de soja en 2018, en donde el coste es de aproximadamente 2.610 dólares, y adicionalmente en el informe señalan que este último dato es sin tener en cuenta los costes asociados a la plataforma del dron, las cámaras y los dispositivos de comunicación. En síntesis, la tabla de diferentes costes asociados a tecnologías de IA en Estados Unidos evidencia la presencia

de altos costes en la implementación de este tipo de herramientas, además de ello, demuestra que tanto el tipo de tecnología como el tipo de cultivo a utilizar pueden influir significativamente en los costes. Es de gran importancia que los agricultores tengan en cuenta la magnitud de los costes asociados a la incorporación de tecnologías de IA debido a que conllevan a un gran desafío para su actividad, y de igual manera, es necesario que consideren cuidadosamente los beneficios potenciales de la IA referentes a la productividad y eficiencia frente a los costes asociados.

Tabla 3. Costes asociados a implementación de IA en cultivos en USA (2018-2019)

Tecnología	Cuota de seguro	Soja (2018)	Algodón (2019)
Monitor de rendimiento	Sustitución de equipo	8.051\$	13.775\$
	Cuota anual	1.041\$	1.772\$
Tecnologías de tasa variable	Coste de prima media	5.630\$	10.319\$
Drones	Sustitución de equipo	2.610\$	-

Fuente: Datos proporcionados por el Servicio de Investigación Económica del USDA, utilizando la encuesta de Administración de Recursos Agrícolas (2016-2019). Elaboración propia.

A pesar de no contar con datos exactos de los costes de inversión en tecnologías de IA para este sector, nos podemos hacer una idea con los gastos mencionados anteriormente relativos a las reparaciones de maquinarias. A partir de esta información, es más fácil observar las dificultades que tendría un agricultor pequeño para poder afrontar un coste tan elevado. En especial aquellos agricultores pertenecientes a países en desarrollo donde existe una probabilidad mayor de carecer de recursos financieros para adquirir y mantener este tipo de sistemas de elevado precio, situación que se considera como uno de los principales desafíos y teniendo en cuenta que en ocasiones el coste de la implementación de nuevas tecnologías puede inclusive superar los potenciales beneficios (Comisión Europea, 2023).

En contraste a la información mencionada, se estima que por diversas razones, a largo plazo los costes disminuirán significativamente. Por una parte, la adopción de innovaciones tecnológicas permite mejorar la eficiencia y reducir costes asociados a la producción, PwC (2019) exponen los ahorros en términos de costes y utilización de recursos naturales que implica la adopción de la agricultura de conservación. Antes de proceder con el artículo sería relevante explicar la relación entre la agricultura de conservación y IA, este tipo de agricultura busca preservar los recursos naturales y garantizar la productividad a largo plazo; mientras que la IA, ofrece herramientas y tecnologías que optimizan la utilización de recursos y mejoran la eficiencia en los procesos por lo que los agricultores pueden tomar decisiones más responsables y sustentables. Luego de esta breve explicación, PwC (2019) destacan como la utilización al máximo de este tipo de agricultura presenta reducciones en los costes de producción gracias a las eficiencias obtenidas en mano de obra y el uso de maquinaria innovadora con respecto a las técnicas habituales. Estas nuevas técnicas podrían generar ahorros de hasta 807 millones de euros anuales, lo cual se traduciría en un ahorro de 13.333 millones de euros durante los próximos 30 años. Igualmente nombra casos prácticos donde se demuestra la diferencia de costes al utilizar técnicas más avanzadas, en este sentido, en el proyecto Life+ Agricarbon se observaron ahorros en costes del 9,5% para el trigo, 21,6% en girasol, y 15,4% en leguminosas. Lowenberg-DeBoer (2022) expone los resultados de diferentes equipos autónomos utilizados para la actividad agrícola, como el caso de tractores utilizados por Hand Free Hectare, donde los resultados demuestran que los equipos pueden reducir los costes de producción de trigo entre 20 y 30 dólares por tonelada. Por otra parte, las tecnologías de detección que permiten a los dispositivos

como los drones identificar y capturar información sobre aspectos del cultivo también reducen significativamente los costes asociados a la mano de obra e inclusive el tiempo asociado a la inspección manual de los cultivos. A pesar de no tener datos más precisos en cuanto al ahorro de costes asociados al uso de drones, García (2022) comenta que la aplicación de esta tecnología es 50 veces más rápida que la que haría un trabajador con una bomba de espalda o mochila.

Además, muchas de las herramientas de IA utilizadas en la agricultura ahorran tiempo y esfuerzo a los agricultores resultando así en ahorro en mano de obra lo que se traduce directamente en un ahorro en costes monetario debido a la reducción de los gastos salariales. Según el Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en 2023, los sistemas guiados de automatizado, como tractores o cosechadoras automáticas, pueden reducir el número de horas que los operadores dedicarán en el campo a esta actividad y, a su vez, es posible que sean necesarios menos trabajadores durante los períodos de mayor actividad. Argumentando en esta idea, a pesar de que al inicio sería necesario invertir una gran cantidad de dinero en dichas maquinarias, es esperable que los costes en trabajadores disminuyan en el tiempo debido a la automatización de tareas y al mismo tiempo permita la cantidad de errores al incrementar la eficiencia.

En resumen, se prevé que la puesta en marcha de técnicas de IA en la agricultura tenga dos efectos particulares en los costes. Primero un efecto a corto plazo, donde se espera un aumento en los costes debido a la inversión en tecnología, capacitación y apoyo necesaria para implementar estas técnicas. Segundo, a largo plazo se espera una reducción significativa de los costes debido a la mejora de la eficiencia en los cultivos y aumento de la productividad. Por el momento, no existe una síntesis exacta de las consecuencias en términos monetarios respecto al uso de la IA en la agricultura. La principal razón se debe a que se trata de una tecnología que actualmente está en desarrollo y por tanto no existen suficientes datos que permitan hacer una valoración económica o un análisis coste beneficio que demuestre los principales efectos, además, hay que tener en cuenta que para la ejecución de la actividad agrícola unida con tecnología IA influyen muchos factores que no es posible evaluar hasta tener mayor información, como el caso de el tipo de tecnología utilizada, la eficiencia de la misma y la capacidad de adaptación de los agricultores. No obstante, por la literatura revisada existe una probabilidad de que los costes se comporten a futuro como se han descrito en este apartado.

Igual que en el apartado anterior, tras evaluar los efectos en los costes sería prudente establecer una serie de ejemplos o casos prácticos reales respecto a la inclusión de la IA en la cadena de suministro y cómo afectan a los costes. El área de los costes tendrá ventajas significativas, durante la fase agrícola, Skuza (2019) indica cómo utilización del sistema de monitorización del riego incorporado con herramientas de IA ha reducido los costes significativamente, específicamente señalan un ahorro de entre el 30% y 40% en la factura energética gracias a la optimización en el uso del agua para el riego. Igualmente la IA ayuda a reducir los costes asociados al uso excesivo de fertilizantes y productos químicos debido al uso de recomendaciones específicas por algoritmos o detección temprana de pérdidas con visión artificial. En la fase de logística, Walch (2019) destaca que la incorporación de robots en la recolección del cultivo reduce los costes en la explotación significativamente, por la reducción en los costos de mano de obra y permitir trabajar las veinticuatro horas del día. La IA también reduce los costes de empaquetamiento y embalaje de los productos al optimizar el uso de materiales y reducir desperdicios. Por último, en la fase de distribución y venta, Matuszak (2021) señala que la

utilización de herramientas de IA les permitirá a los distribuidores utilizar los datos para abastecerse de insumos y posicionarse para obtener la máxima ventaja en el mercado con menores costes. Rubio (2019) destaca la creación de la autopista eléctrica e-Highway que permite a los camiones híbridos conectarse a las líneas eléctricas y circular por la autopista regular, cada vehículo que recorra 100.000 km en esta carretera ahorrará alrededor de 16.000 euros en combustible, siendo una reducción de costes significativa. A partir de estas aplicaciones en cada fase de la cadena de suministro de productos agrícolas es posible reducir significativamente los costes de todo el proceso, desde el suministro de semillas hasta la llegada al consumidor final.

4.3. Análisis de beneficios

Como se ha mencionado, el uso de la IA en la agricultura ha demostrado ser beneficioso en diferentes aspectos del sector y hemos examinado cómo ha favorecido al incremento de la producción y productividad, reducción de costes significativos y mejora en la eficiencia de los cultivos, es por ello que tendría sentido estudiar los ingresos y beneficios de su aplicación. Dicho esto, en este apartado se abordarán los efectos en los ingresos, las principales ventajas económicas y beneficios asociados al uso de la IA en el sector agrícola para luego establecer ejemplos de las ventajas de esta tecnología en la cadena de suministro de productos agrícolas y finalmente aportar datos de beneficios esperados.

A pesar de que los estudios de análisis de ingresos y beneficios son limitados para este tema, se presentarán consideraciones claves que apoyan la rentabilidad y el valor económico de la IA en el ámbito agrícola. Es posible que algunas de estas explicaciones pueden parecer repetitivas respecto a los apartados anteriores pero se debe a que los beneficios económicos se generan a través de dos factores importantes: los ingresos y los costes. Por una parte, la reducción de costes del proceso productivo por un aumento previo en la productividad contribuye a generar mayores beneficios; por otro lado también es necesario aumentar los ingresos a través de un mejor conocimiento de la demanda y preferencias del mercado que nos puede facilitar una política de precios y distribución adecuadas para mejorar los ingresos. A partir de ambas vías, la utilización de la IA podría generar impactos importantes sobre los beneficios de la actividad agrícola y por tanto en resultados favorables económicos.

Es razonable anticipar que si la IA ofrece herramientas que permitan conocer a mayor profundidad las necesidades de los consumidores y una mejora en la productividad que permitirá disminuir los costes, finalmente se reflejará en mayores ingresos y beneficios económicos significativos. En este sentido, la IA ha permitido crear herramientas analíticas que investiguen las tendencias del marketing alimentario y los intereses de los consumidores así como los momentos en qué se desea consumir el producto, reflejándose así en un incremento de los ingresos. Sin embargo, como se ha mencionado, no existen muchos estudios que nos permitan demostrar los ingresos de los agricultores por la inclusión de IA, pero es posible aportar información relacionada a su adopción por sectores en general. La empresa multinacional de tecnología IBM establece que en promedio, las empresas declaran un 6,3% de aumento en ingresos directos relacionados al uso de la IA. De igual forma indican que las organizaciones que adoptan este tipo de tecnología, al menos en una fase piloto, multiplican por dos sus ingresos en comparación con las que no lo han hecho. Siguiendo este tema, McKinsey & Company en el año 2021 realizaron un estudio en China, Europa, Asia-Pacífico y Norteamérica a organizaciones de distinto tipo fueron encuestadas sobre el porcentaje de aumento de sus ingresos gracias a la adopción de IA. Sus resultados demostraron

que durante el 2019 en promedio hubo un aumento del 66% de los ingresos debido al uso de IA, donde solo 10 de los encuestados tuvieron ingresos mayores al 10% mientras que 36 respondieron que hubo un aumento menor del 5%. De hecho, la digitalización junto con el uso de técnicas de IA ha mostrado ayudar a aumentar la rentabilidad económica del sector agrícola y a seguir siendo competitivos en el mercado global a través de soluciones innovadoras además de crear nuevas oportunidades de negocio (Comisión Europea, 2023).

Luego de comentar acerca de los ingresos, nombraremos las principales ventajas y beneficios de la IA en el sector agrícola: i) Predicción y prevención de problemas, ii) optimizar los procesos operativos, iii) mejora en la toma de decisiones e iv) innovación en los productos agrícolas. De forma general, estos aspectos nombrados demuestran que la implementación de la IA favorece la optimización de recursos y tareas agrícolas, y por tanto, incrementa la eficiencia en aspectos cruciales de la cosecha para finalmente verse reflejado en aumentos de la producción y productividad. A su vez, la eliminación de procesos ineficientes y de insumos innecesarios permite una reducción de los costes. Estos dos aspectos interconectados son fundamentales para mejorar la rentabilidad, como se explicó a principios del apartado.

Ahora, es posible ejemplificar aspectos en los que la IA ha beneficiado a la cadena de suministro de productos agrícolas. A continuación, se profundiza en el análisis comentando las aplicaciones nombradas en apartados anteriormente que implican tanto una reducción de costes como aumentos en los ingresos y posiblemente resulten en beneficios económicos. Durante la fase agrícola la implementación de sistemas de riego puede ayudar a reducir el consumo de agua y por tanto de costos, como resultado aumentarán los beneficios. En la fase de logística la implementación de sistemas de IA para predecir la demanda, optimizar rutas y minimizar tiempos de entrega pueden disminuir los costos y mejorar la satisfacción del cliente generando un aumento en las ventas. Por último, en la fase de distribución y venta, Amazon Web Services (2020) destaca el caso de la empresa AgriDigital donde ofrecen una plataforma digital que permite a los agricultores y comerciantes conectarse a su red de cadena de suministro y administrar contratos, entregas, inventarios, pedidos y pagos en tiempo real. Además permite ajustar los precios de manera automática y estratégica para maximizar beneficios.

Por último, se mostrará información que permitirá dar una idea de los beneficios esperados. Nuevamente, debido a que la inclusión de la IA en la agricultura es relativa nueva y no existen estudios recientes o datos relevantes sobre su relación, no es posible corroborar con mayor precisión la información proporcionada mediante análisis económico que indiquen la rentabilidad, pero si contamos con información cualitativa sobre el tema. Fiocco et al (2022), en nombre de la consultora Mckinsey and Company, realizó una encuesta a agricultores de Estados Unidos sobre qué oportunidades o actividades creen que serán más beneficiosas para los próximos dos años y se muestra en la tabla 4. Para ellos escogieron tres grupos diferentes formados por pequeñas, medianas y grandes granjas. De acuerdo a las respuestas proporcionadas, los agricultores esperan obtener un mayor beneficio económico al probar nuevos productos que aumenten el rendimiento (49%). Aunque los productos anteriores no impliquen indispensablemente la incorporación de IA, el adquirir tecnología innovadora (22%) si lo implica y en mayor proporción son las grandes granjas que esperan un mayor beneficio de esto. Igualmente, esperan obtener en menor cantidad un beneficio de utilizar tecnología para mejorar la capacidad de negociación de adquisición para sus materias primas (19%). A partir de estos resultados,

podemos concluir que un porcentaje moderado de agricultores espera obtener beneficios económicos a futuro bien sea por la incorporación de tecnologías innovadoras o probando nuevos productos que aumenten el rendimiento, de los cuales algunos podrían ser considerados como herramientas de IA. Además, no solo será un beneficio en la producción del cultivo sino que también se espera que sea útil en las negociaciones con distribuidores.

Tabla 4. Acciones que representan un beneficio económico para los agricultores

Motivos declarados	Granjas pequeñas (< 5.000 acres)	Granjas medianas (2.000-5.000 acres)	Granjas grandes (> 5.000 acres)	Total de respuestas
Probar nuevos productos	51	52	35	49%
Adquirir equipos, productos o tecnología innovadores	23	27	33	22%
Uso de tecnología para mejorar la capacidad de negociación de recursos	18	21	27	19%

Fuente: Datos proporcionados por Fiocco et al, utilizando la encuesta de McKinsey US Farmer Insights 2022-23. Elaboración propia.

5. Argumentos éticos y sociales

A pesar de que la aplicación de la IA en la agricultura trae consigo múltiples beneficios para todos los ámbitos del sector (cultivo, logística, transporte y distribución), también es indispensable analizar los aspectos negativos de su aplicación. En primera instancia, al ser una ciencia aplicada relativamente nueva y en constante crecimiento es difícil que exista un conjunto de normativas claras que puedan controlar su uso; no obstante, por el momento se están empezando a desarrollar dichas reglas aunque aún no se han desplegado para todas las áreas y falta mucho terreno por abarcar. Esta falta de regulaciones ha generado ciertas preocupaciones por parte de los agricultores relativas a la concentración de poder y datos en manos de las grandes empresas de tecnología agrícola. A partir de esta introducción, se abordarán los principales argumentos éticos y sociales sobre la implementación de estas técnicas en el sector agrícola.

5.1. Impacto en el empleo agrícola y la calidad de trabajo

El impacto en el empleo agrícola es uno de los principales desafíos a los que nos enfrentamos y donde se ha dedicado especial atención por parte de la sociedad, principalmente por la extraordinaria capacidad de esta tecnología para realizar tanto trabajos físicos como intelectuales. Existen muchas perspectivas negativas de la implantación de esta tecnología, Kang (2020) comenta que la introducción de la IA no pretende crear nuevos trabajos mediante la descualificación, como ocurrió en la primera y segunda revolución, sino más bien la sustitución de puestos de trabajo por máquinas inteligentes. En contraste con esta opinión, Corvalán (2019) discute sobre la consideración de la implementación de la IA como una amenaza en vista de que en muchos estudios se demuestran los beneficios para aumentar la competitividad en la economía de los países, en especial para países en desarrollo y emergentes. Por lo tanto, es común encontrar diversas opiniones sobre la adopción de esta tecnología.

Realizar un análisis que permita comprobar el efecto del impacto de la automatización e inclusión de técnicas de IA en el empleo agrícola es un escenario verdaderamente complejo dado que requiere una cantidad extensiva de datos que permitan identificar las transformaciones. Inclusive en estas transformaciones intervienen factores externos a la tecnología que normalmente no se tienen en cuenta, en este sentido la FAO (2022) indica que con la introducción de estas

nuevas tecnologías también viene de la mano el abandono de los empleados en el sector agrícola por la búsqueda de empleos con mayor remuneración, situación que también incide en la disminución de personas empleadas en la agricultura. Ahora bien, considerando el abandono de los empleados del sector agrícola ocasionado por los factores mencionados anteriormente, se vuelve aún más desafiante el hecho de atribuir el desempleo exclusivamente a casos concretos de automatización del sector por la adopción de IA; esto se debe a la interrelación existente entre diferentes espectros y a la falta de datos que permitan separar las causas del desempleo en este contexto específico. A pesar de que no es posible realizar un análisis a partir de datos para medir impacto de la IA en el empleo agrícola, sí es factible comentar ideas extraídas de diferentes estudios y dejar la opinión del lector de acuerdo a los hechos positivos o negativos presentados.

Según PwC (2018) para el año 2030 un 10% de la mano de obra en la industria manufacturera en general serán sustituidos por la automatización. Diederichs, et al (2022) señalan que durante 2010 y 2020 muchas máquinas agrícolas han sido sustituidas por completo por máquinas semiautónomas con tecnología de IA con el fin de aumentar la eficiencia. Calvo y Vicario (2023) argumentan que en el mercado norteamericano se estima que el “80% de la fuerza laboral verá alterada sus tareas” debido a la automatización. A partir de estas observaciones es lógico pensar que la automatización de diversas tareas se traducirá en una disminución en la demanda de trabajo manual para el sector agrícola, en especial para los empleos de recolección, siembra y mantenimiento del cultivo. No obstante, la Comisión Europea (2023) demuestra como la caída de la mano de obra tendrá un descenso más lento en comparación a años anteriores, especifican que durante 2022-2032 se espera que la mano de obra agrícola (medida en unidades de trabajo anual) disminuya un 0,7% anual a diferencia del descenso de 1,8% registrado durante 2012-2022. Se argumenta que la razón de la atenuación en el descenso del empleo se debe a la oportunidad de atenuar este fenómeno con la inclusión de políticas de apoyo a la renta y la formación de nuevas habilidades que pueda traducirse en la creación de una nueva generación de agricultores atraídos por la digitalización.

Ernst et al (2018) distingue el impacto de la automatización en el empleo a través de tres canales: i), las nuevas tecnologías provocan una sustitución directa de los puesto de trabajo; ii) se produce un aumento complementario en empleos que permitan la supervisión de la maquinaria y iii) un efecto de demanda por la disminución de los precios y por la mayor disponibilidad de mano de obra. Es importante el segundo impacto, ya que a pesar de que la automatización reduce la demanda en empleo, a su vez se crean nuevas oportunidades laborales en áreas relacionadas con la IA. Es cierto que para cubrir estos nuevos empleos será necesario un cambio en las habilidades de los agricultores, en especial para aquellos de mayor edad, pero esto será un factor crucial que nos permitirá saber si su aplicación será una amenaza o no para el sector. Calvo y Vicario (2023) coinciden en lo anterior señalando que la formación en tecnologías y adaptación a los cambios será fundamental para que los agricultores realmente puedan aprovechar las oportunidades que ofrece la IA, además de la importancia del papel del gobierno en la capacitación. En realidad, por el momento no podemos deducir si la introducción de la IA será una amenaza o una oportunidad para el empleo agrícola debido a que nos encontramos en una etapa muy temprana de su implementación donde no se pueden medir las futuras consecuencias a corto plazo pero, sí podemos asegurar que se avecina un gran cambio que requiere medidas y decisiones adecuadas para evitar una catástrofe en el empleo agrícola.

5.2. Responsabilidad social y regulaciones

A lo largo del trabajo hemos demostrado cómo la IA es una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia y productividad en cualquier sector económico, sin embargo, debido a su abrupto y continuo crecimiento así como la falta de información precisa sobre sus consecuencias a futuro, es crucial garantizar que su implementación se realice de forma responsable y bajo las regulaciones adecuadas para asegurar el bienestar del usuario. La responsabilidad social implica garantizar que las herramientas de IA no tengan un efecto negativo en la sociedad, siendo este compromiso efectuado por parte de los gobiernos y de las empresas privadas dueñas de estas tecnologías. Actualmente las principales preocupaciones éticas por parte de los agricultores sobre la utilización de estas técnicas se centran en la privacidad, transparencia y protección de los datos, además de ello, Bronson y Knezevic (2016) hacen preguntas adicionales sobre las implicaciones éticas del uso de macrodatos en este sector, específicamente: “¿Quién conserva la propiedad de estos datos? ¿Existen implicaciones para la privacidad de los datos? ¿Quién puede tener acceso a los datos generados por la maquinaria?” (pág 2). Este tipo de preguntas nos hace cuestionar la confianza en el uso de IA y también hace surgir una pregunta de suma importancia: ¿Existe algún ente que realmente garantice la seguridad de los agricultores y unas regulaciones adecuadas?

Como respuesta a la pregunta anterior, actualmente los gobiernos y ministerios competentes de los países se están haciendo cargo del desarrollo de la normativa referente al uso de la IA en su respectivo país. En la Unión Europea se han hecho grandes esfuerzos para crear un marco regulador, la Comisión Europea (2020) comenta en el Libro Blanco sobre la IA que reconocen el papel clave que este tipo de tecnologías tiene para el crecimiento económico y la competitividad del mercado, sin embargo, abogan porque se implemente de una manera segura, ética y responsable. También destacan la ejecución de diversos planes de acción que permitan establecer medidas políticas y prácticas por parte de todos los países miembros, tanto a nivel público como privado, con el fin de asegurar la protección a los ciudadanos. De forma general los planes proponen promover la investigación y desarrollo de la IA, crear incentivos para acelerar la adopción de la IA, invertir en infraestructuras digitales, crear un mercado único digital, promover la educación y desarrollo de habilidades en IA, y fomentar la coordinación entre los Estados y la industria para garantizar que se apliquen los mismos estándares éticos. En cuanto a la seguridad de los ciudadanos, la Comisión Europea (2020) describe la creación de un conjunto de directrices por parte de un Grupo de Expertos de Alto Nivel sobre la IA que deben cumplir las herramientas para ser de confianza, entre las directrices destacan que los sistemas deben ser seguros, garantizar la protección y privacidad de los datos, sistemas transparentes y no discriminatorios, y por último deberían impulsar a los seres humanos a tomar decisiones adecuadas fomentando sus derechos fundamentales. En la actualidad, el Parlamento Europeo (2023) señala como en 2023 la Unión Europea está llevando a cabo la primera Ley integral sobre la IA del mundo para regular su uso en la región, siendo un suceso bastante importante que dejará una huella a nivel mundial. Esta ley, que se ha convertido en el primer instrumento legal de aplicación transnacional, pretende establecer diferentes normas según el nivel de riesgo de los sistemas de IA, los cuales la UE los clasifica en: a) riesgo inaceptable, aquellos que representan una amenaza para las personas y serán prohibidos como pueden ser juguetes activados por voz que fomenten comportamientos inadecuados en niños; b) los de alto riesgo, aquellos que afectan a la seguridad o derechos fundamentales; y por el último c) los de riesgo limitado que manipulan contenido de imágenes o audio tendrán establecidos requisitos de transparencia. A partir de esta nueva información,

quedamos a la espera dentro de los próximos meses sobre el acuerdo final de dicha ley.

Sin embargo, no todos los países han adoptado un enfoque tan riguroso y cauteloso con el uso de la IA, tal es el caso de Estados Unidos. La nación norteamericana adoptó un enfoque más relajado y distribuido entre los organismos federales, lo cual llevará a un desarrollo desigual de las políticas de IA. Aunque existen varios documentos federales de la Casa Blanca en relación al uso de la IA, realmente no se ha instaurado un enfoque federal de los riesgos de su utilización (Engler, 2023). Además, al ser una orientación distribuida entre los organismos federales, muchos se adaptan a la IA sin nuevas autoridades legales y resaltan la gran inversión ejecutada en infraestructuras aún no reguladoras. Dado que la mayoría de las iniciativas son voluntarias, se aprecia que realmente no existe un marco regulador que deban seguir las empresas, traducándose en un grave riesgo para los derechos de los agricultores y su privacidad. Por otra parte, el caso de China también es interesante ya que actualmente se encuentran en la creación de un marco regulatorio más avanzado que el de EE.UU, las normas de la región asiática exigen que los contenidos reflejen los valores del socialismo y no deben promover el terrorismo, violencia, odio técnico y contenidos que puedan alterar el orden económico y social (Kardoudi, 2023).

En definitiva, actualmente cada país tiene su propia forma de regular la implementación de la IA y la protección de sus usuarios, siendo enfoques muy diferentes entre sí sobre cómo manejar esta innovación, y sin tener en cuenta que todavía hay países que no tienen interés en crear una normativa o al menos una recomendación. Por el momento, la Unión Europea es la región más avanzada con respecto a la protección de los derechos de sus usuarios y es realmente donde se aprecia un marco regulatorio más seguro, ético y responsable. Sin embargo, al tratarse de una incorporación relativamente nueva, será en los próximos años donde veamos la reacción del resto de países del mundo y cómo se establecerán las políticas necesarias. Mientras esto sucede, solo queda esperar que los distintos gobiernos verdaderamente se interesen por defender los derechos de los ciudadanos y que se puedan aplicar políticas con carácter similar alrededor del mundo.

5.3. IA en el sector agrícola y el medio ambiente

Una de las mayores preocupaciones en la sociedad es cómo afectará la IA al planeta y si perjudicará igual que el resto de revoluciones industriales, sin embargo, la revolución tecnológica parece ser la primera en poder generar un crecimiento sostenible y especialmente útil para afrontar los retos ambientales del sector. Actualmente, el sector agrícola junto con la aplicación de la IA, se propone superar este reto con el fin de generar una agricultura más sostenible, responsable con el medio ambiente y con las generaciones futuras. Por ello, es posible ver un gran potencial para que esta tecnología se convierta en una importante herramienta en el esfuerzo por desvincular el crecimiento económico del aumento en las emisiones de carbono. Según PwC (2018), las aplicaciones agrícolas de la IA pueden ayudar a reducir las emisiones en 160 millones de toneladas de CO₂ en 2030, e igual proporcionar más alimentos y utilizar menos recursos.

Actualmente los instrumentos claves de la IA para mitigar el impacto ambiental son: los robots agricultores, monitoreo de las condiciones ambientales, planificación y gestión del uso de tierra y monitoreo de la salud del cultivo. No se procederá a definirlos porque ya se realizó en apartados anteriores, sin embargo hay estudios que analizan su impacto ambiental. Estas herramientas en conjunto tienen el potencial de reducir las emisiones mundiales hasta un 0,1%-0,3% en 2030 respecto a la situación actual e inclusive aumentar el PIB mundial entre 0,2%-0,3%. El impacto del PIB se debe a que las aplicaciones permiten automatizar diversas

tareas aumentando la productividad y a su vez una reducción en los costes por el ahorro en insumos y el costo en mano de obra (PwC, 2018). Igualmente destacan los robots agrícolas para lograr reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dado que permiten reducir la utilización de combustibles fósiles en actividades agrícolas. En el caso de herramientas de análisis predictivo que planifican el uso del suelo, también son consideradas relevantes para la reducción de emisiones ya que optimizan el uso de recursos naturales como bosques y permiten su protección. Igualmente, estas técnicas minimizan los efectos medioambientales negativos asociados al uso excesivo de químicos e insumos tan indispensables como el agua.

La IA permite la predicción de patrones climáticos y modelar escenarios futuros, lo cual ayuda al objetivo de una planificación más precisa de medidas de adaptación y reducción de emisiones (Oliver, 2022). Igualmente la IA aplicada al cambio climático podría reducir hasta en un 4% las emisiones para 2030. Sin embargo, no todo son impactos positivos, desgraciadamente el despliegue de estos sistemas contribuye en gran medida a las emisiones de GEI por las altas necesidades energéticas de los métodos basados en datos. El entrenamiento y funcionamiento de estas tecnologías requiere una gran cantidad de recursos computacionales que a su vez implican un consumo de energía considerable, no obstante, sería cuestión de evaluar cuál es el impacto de su implementación y si realmente existe un equilibrio entre los beneficios y costos ambientales.

5.4. Limitaciones y desafíos

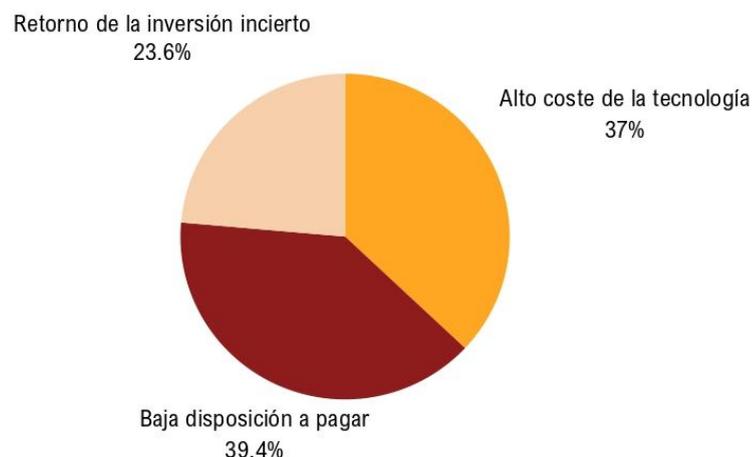
De igual forma que sucedió con el resto de revoluciones industriales, la cuarta revolución conocida como la integración de la IA en nuestro entorno, trae consigo un conjunto de limitaciones y desafíos muy importantes a los que se debe enfrentar la sociedad para su implementación. Nuttall et al. (2022) destaca como las limitaciones pueden deberse a los problemas habituales de la adopción humana como la falta de capacidades técnicas necesarias, resistencia al cambio organizativo y el posible desplazamiento de puestos o por otro lado, el hecho de que la implantación de soluciones de IA requiera más trabajo que el previsto y se tarde más de lo deseado en resolver problemas. Tello y Subramanian (2022) comentan los retos que plantean incorporar datos e inclusive corregir los datos erróneos actuales, siendo un reto crucial para muchas organizaciones. Sin embargo, sea una o la otra, el tema principal se centra en las dificultades de adaptación por parte de la sociedad con la introducción de nuevas tecnologías en los diferentes sectores económicos e inclusive la seguridad de su uso y las futuras regulaciones.

Para el caso de la agricultura no es secreto que la implementación de una tecnología tan avanzada sugiere un gran reto, en especial por la adopción de conocimientos y técnicas modernas en agricultores que llevan un estilo de trabajo más rudimentario. La Comisión Europea (2023) resalta un conjunto de dificultades en relación a lo anterior como: los problemas de conectividad e infraestructura relacionados a la ubicación de granjas en zonas rurales donde carecen de acceso a internet, la conciencia limitada sobre los potenciales beneficios de la digitalización así como la falta de recursos necesarios para su implementación, la carencia de conocimientos digitales por parte de algunos agricultores que perjudica la adaptación a su uso, el alto coste de implementación que puede superar los beneficios esperados y la resistencia a compartir sus datos por la privacidad y propiedad de los mismos así como su falta de regulación. Igualmente, la agricultura presenta una gran dificultad para su estudio en efectos de cuantificación estadística debido a los cambios climáticos constantes de una sección a otra, así como cambios impredecibles en la calidad del suelo o presencia de plagas y enfermedades. Además, la IA necesita acceso a grandes cantidades

de datos para su proceso de aprendizaje y encontrar datos históricos de calidad para este sector puede ser un tema bastante complicado, especial para aquellas regiones menos desarrolladas. En el caso de Pakistán, los factores socioeconómicos como la edad, el nivel de educación, la cultura, la religión y otros valores sociales están afectando la decisión de los agricultores en cuanto a la adopción de instalaciones digitales (Ashraf et al., 2019)

Por tanto, las limitaciones para la aplicación de IA en la agricultura son abundantes e inclusive representan una barrera muy fuerte entre muchos agricultores; incluyendo desde perspectivas sociales hasta problemas relacionados con la ética y confianza. Para ilustrar la información expuesta, se muestra el gráfico 4 con respuestas de agricultores provenientes de Canadá, USA, India, Brasil, Argentina, China y la Unión Europea en relación a sus principales preocupaciones con la inclusión de la IA en sus cultivos. Se observa que para el 47% de los encuestados el alto coste de la tecnología es un obstáculo importante, situación que indica como el desembolso inicial requerido es considerado como una de sus principales preocupaciones. Inclusive, el dato relacionado a la baja disposición a pagar es bastante interesante dado que el 50% de los agricultores no están dispuestos a pagar por estas soluciones, esto puede ser resultado de prácticas de marketing en la industria, como descuentos y suscripciones gratuitas a plataformas digitales, que generan dudas en los agricultores sobre la rentabilidad (Fiocco, 2022). Por último, el 30% de los agricultores citaron el retorno de la inversión incierto como principal obstáculo para la adopción, esto indica la falta de confianza en los posibles beneficios económicos.

Gráfico 4. Barreras para la adopción de IA a nivel mundial



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Farmers Global Insights Survey 2022, Mckinsey and Company.

En resumen, los principales desafíos que se enfrenta la aplicación de la IA en la agricultura se agrupan en: dificultad por acceso a datos y calidad de los datos, costes y recursos, ética y confianza y carencia de conocimientos/adaptación. Superar estos desafíos requerirá de una combinación de esfuerzos entre las partes interesadas y evaluación con respecto a su viabilidad.

6. Conclusiones

En este trabajo se realizó una recopilación y repaso de estudios y casos prácticos relacionados a los efectos del uso de la IA en la agricultura, desde los antecedentes que ayudan a organizar el concepto de las tecnologías que integran la IA hasta sus análisis de los efectos económicos sobre la productividad, los costes y la rentabilidad de las actividades relacionadas con la cadena de suministro de productos agrícolas. Además, se repasan algunas consideraciones de las posibles implicaciones éticas, sociales y medioambientales relacionadas con su uso. En primer

lugar, diversos estudios muestran que esta tecnología posiblemente sea el instrumento clave para resolver problemas a los que se enfrenta la agricultura como son el aumento en la demanda de alimentos y la falta de insumos básicos que requieren del uso eficiente de recursos. A pesar de ello, no sería adecuado pensar que es la única herramienta para esta solución, especialmente por los aspectos negativos que impactan en nuestra sociedad como son algunas consideraciones relativas a la privacidad de los datos y el posible despido masivo de empleados.

Los primeros resultados observados sugieren un impacto positivo de la IA en todas las fases de la cadena de suministro de productos agrícolas desde la decisión sobre el cultivo más rentable, siembra, vigilancia de los suelos, automatización de tareas logísticas y riego adaptado a las condiciones climáticas así como otras actividades que han ayudado a mejorar la productividad y reducir los costes. Asimismo, las herramientas de IA han influido en el mejor conocimiento de las preferencias de los consumidores posibilitando un conjunto de estrategias comerciales que pueden también mejorar los ingresos y en conjunto los beneficios económicos. En definitiva, la extensión de la IA en la cadena de suministro de productos agrícolas se presenta como un recurso tecnológico muy potente a la hora de mejorar la rentabilidad económica del sector.

Los estudios sugieren que la implementación de herramientas de IA permiten incrementar la producción del sector agrícola debido a la automatización en los procesos e igualmente mejorar la eficiencia por el menor consumo en inputs, siendo estos dos efectos los responsables de un posterior aumento en la productividad. Además, se ha podido comprobar como agricultores que aplican este tipo de tecnología han tenido mejores resultados que aquellos que no lo utilizan. Seguidamente, al haber un aumento en la eficiencia y productividad, se observaría una reducción en los costes. No obstante, este análisis destaca la importancia de diferencias entre los efectos sobre los costes a corto y largo plazo, así, mientras que a corto plazo los costes serán mayores por motivo de una fuerte inversión inicial en la tecnología, a largo plazo irán disminuyendo por la mejora en la productividad de los factores empleados. Luego, al presentarse tanto un aumento en la productividad como una disminución en los costes, y mediante la mejora de los ingresos que puede lograrse con el mejor conocimiento de la demanda, se proporciona evidencia que apunta a la mejora de rentabilidad impulsada por el uso de la IA. Todo este proceso impacta positivamente en todas las fases de la cadena de suministro de productos agrícolas, se estima que una aplicación puede afectar a los distintas etapas; de tal forma que herramientas como los bots que proporcionen información a los agricultores permitan una mejora en la toma de decisiones mediante la recopilación de grandes datos e influir positivamente en cada etapa. Igualmente hay indicios que muestran el impacto positivo que tendrá el uso de este tipo de tecnología en la sostenibilidad medioambiental al permitir una gestión más precisa y eficiente de los recursos agrícolas, situación que conduce a una reducción del impacto ambiental, la conservación de los recursos naturales y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles.

Sin embargo las repercusiones positivas dependen de dos aspectos fundamentales: Primeramente el posicionamiento de los Gobiernos ante la IA y su actuación ante regulaciones adecuadas y en segundo lugar, el requisito por parte de los agricultores de involucrarse en procesos de aprendizaje y educación específico sobre esta tecnología para así aprovechar plenamente sus beneficios. Se hace un hincapié en el aspecto de la educación en IA dado que puede implicar el cambio necesario para no sufrir un fuerte impacto en el empleo, es decir, si se proporciona una educación adecuada en este tipo de tecnologías es posible equipar a las personas con las habilidades necesarias para participar activamente en el mercado laboral del

futuro y no perjudicar la vida laboral de muchas personas; el mejor de los casos sería que este tipo de educación sea incluida por parte del Gobierno en los futuros planes de estudio y empleo. Si estos dos aspectos se gestionan adecuadamente sería posible disminuir la fuerte caída que se espera en el empleo por el reemplazo de personas por máquinas, sin embargo mucho recae en las futuras acciones de las autoridades en los países ante la protección, privacidad y bienestar de los ciudadanos. Por los momentos, la Unión Europea lidera el movimiento ante la regulación de la IA mientras que China y EE.UU lideran el papel activo ante el uso de esta herramienta pero sin regulaciones precisas que protejan a su población.

En resumen, la IA tendrá efectos positivos en la agricultura que permitirán que el sector pueda tener un peso mayor en nuestra economía por los aumentos en la eficiencia de los procesos y por supuesto los beneficios medioambientales ante una producción más sostenible. Sin embargo, no es posible olvidar los efectos negativos relacionados con el bienestar de sus agricultores, empleados y su privacidad. Es posible que tenga un efecto positivo si las autoridades toman las decisiones correctas, aunque pequeñas desviaciones pueden influir en el rumbo de los acontecimientos. Por el momento es muy temprano para tener una conclusión concreta, pero los próximos años serán clave para saber cómo será nuestro futuro.

8. Referencias bibliográficas

- Abeliuk, A., & Gutiérrez, C. (2021). Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Bits de Ciencia*, (21), 14-21.
- Accenture. (2022). *The art of AI maturity: Advancing from practice to performance*. <https://www.accenture.com/us-en/insights/artificial-intelligence/ai-maturity-and-transformation>
- Agrosmart Solutions, *tecnología inteligente para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de la agricultura*. (2016, 23 de Mayo). Retema. <https://www.retema.es/actualidad/agrosmart-solutions-tecnologia-inteligente-mejorar-sostenibilidad-eficiencia-agricultura>
- Alam, M. (2020, 4 de Noviembre). *Economics of AI: Agriculture*. Medium. <https://medium.datadriveninvestor.com/economics-of-ai-agriculture-7c363b3ae3eb>
- Albrecht, C. (2019, 27 de Febrero). *AgShift Launches Hydra, its AI-Powered Food Quality Analyzer for Bulk Inspections*. The Spoon. <https://thespoon.tech/agshift-launches-hydra-its-ai-powered-food-quality-analyzer-for-bulk-inspections/>
- Amatya, S., Karkee, M., Gongal, A., Karkee, M., Whiting, M., & Zhang, Q. (2016). Detection of cherry tree branches with full foliage in planar architecture for automated sweet-cherry harvesting. *Biosystems Engineering*, 146, 3-15.
- Amazon Web Services. (2020). *Caso práctico de AgriDigital*. Amazon AWS. <https://aws.amazon.com/es/solutions/case-studies/agridigital-case-study/>
- Artificial Intelligence in Agriculture: Overview, Applications, Challenges & More*. (2023, 15 de Marzo). Jiva. <https://www.jiva.ag/blog/artificial-intelligence-in-agriculture-overview-applications-challenges-more>
- Ashraf, M., Ashraf, A., Asif, M., Sajid, M., & Warraich, I. (2019). Socio-Economic Impediments in Usage of Modern Mechanized Technological Ideals in Agriculture Sector: A Case Study of District Lodhran, Punjab-Pakistan. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 17(2), 86-92.
- Barrera, L. (2012). Fundamentos históricos y filosóficos de la inteligencia artificial. *Revista de Investigación y Cultura*, 1(1), 87-92.

- Bochtis, D., Busato, P., Moshou, D., Liakos, K., & Pearson, S. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- Bronson, K., & Knezevic, I. (2016). Big Data in food and agriculture. *Big Data & Society*, 3(1). <https://doi.org/10.1177/2053951716648174>
- Calvo, J., & Vicario, R. (2023, 26 de Abril). *De temporeros a ingenieros: los empleos en el campo amenazados por la Inteligencia Artificial*. *elEconomista.es*. <https://www.economista.es/podcasts/noticias/12244694/04/23/de-temporeros-a-ingenieros-los-empleos-en-el-campo-amenazados-por-la-inteligencia-artificial.html>
- Carvajal, L. (2021). Gestión de la cadena de suministro en la comercialización de productos agrícolas en Ecuador. *SUMMA. Revista disciplinaria en ciencias económicas y sociales*, 3(2), 1-23. www.doi.org/10.47666/summa.3.2.38
- Chen, S.-Y., Chen, Y.-C., Chung, C.-L., Huang, K.-J., Kuo, Y.-F., & Lai, M.-H. (2016). Detecting Bakanae disease in rice seedlings by machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 404-411.
- Chui, M., Hall, B., Singla, A., & Sukharevsky, A. (2021, 8 de Diciembre). *Global survey: The state of AI in 2021*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/global-survey-the-state-of-ai-in-2021>
- Chui, M., Hall, B., Singla, A., & Sukharevsky, A. (2022, Diciembre 6). *The state of AI in 2022—and a half decade in review*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review#/>
- Clark, J., Brynjolfsson, E., Etchemendy, L., Fattorini, L., Ligett, K., Lyons, T., Manyika, J., Maslej, N., Niebles, J., Ngo, H., Parli, V., Perrault, R., Shoham, Y., & Wald, R. (2023). *The AI Index 2023 Annual Report*. Stanford, CA.
- Comisión Europea. (2018). *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones: Inteligencia artificial para Europa (COM/2018/0237)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0237>
- Comisión Europea. (2018). *A definition of AI: main capabilities and scientific disciplines*. Bruselas.
- Comisión Europea. (2020). *Libro Blanco Sobre la Inteligencia Artificial ([COM(2020)65] ed)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0065>
- Comisión Europea. (2023). *Artificial intelligence in the agri-food sector: Applications, risks and impacts*. Bruselas.
- Comisión Europea. (2023, 5 de abril). *The Digitalisation of the European Agricultural Sector*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-agriculture>
- Comité Económico y Social Europeo. (2021). *Boosting the use of Artificial Intelligence in Europe's micro, small and medium-sized Enterprises*. <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/files/qe-02-21-953-en-n.pdf>
- Corvalán, J. (2019). El impacto de la Inteligencia Artificial en el trabajo. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, 10(1).
- Crooks, A., Evans-Greenwood, P., & Nuttall, K. (2020, 20 de Mayo). *Why hasn't AI delivered on its promise?* Deloitte. <https://www2.deloitte.com/xs/en/insights/topics/emerging-technologies/ai-adoption-challenges.html>
- Diederichs, D., Nel, L., & Munnisunker, S. (2022). The Impact of Artificial Intelligence on Agricultural Labour in Europe. *Journal of Agricultural Informatics*, 13(1), 46-54. [10.17700/jai.2022.13.1.638](https://doi.org/10.17700/jai.2022.13.1.638)

- Engler, A. (2023, 25 de Abril). *The EU and U.S. diverge on AI regulation: A transatlantic comparison and steps to alignment*. Brookings Institution.
<https://www.brookings.edu/articles/the-eu-and-us-diverge-on-ai-regulation-a-transatlantic-comparison-and-steps-to-alignment/>
- Ernst, E., Merola, R., & Samaan, D. (2018). *The economics of artificial intelligence: Implications for the future of work*.
https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---cabinet/documents/publication/wcms_647306.pdf
- FAO. (2016). *Manual de Estadísticas sobre Costos de Producción Agrícola Lineamientos para la Recolección, Compilación y Difusión de Datos*. Roma, FAO
- FAO. (2017). *El futuro de la alimentación y agricultura: Tendencias y desafíos*. Roma, FAO
- FAO. (2022). *In Brief to The State of Food and Agriculture 2022. Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Roma, FAO.
<https://doi.org/10.4060/cc2459en>
- Ferreira, N., Fiocco, D., Ganesan, V., Garcia de la Serrana, M., Gryscek, O., & Luiza, A. (2022). *Global Farmer Insights 2022*. McKinsey & Company.
<https://globalfarmerinsights2022.mckinsey.com/#d04>
- Fiocco, D., Ganesan, V., & Garcia de la Serrana, M. (2022, 23 de Septiembre). *Voice of the US farmer in 2022: Innovating through uncertainty*. McKinsey & Company.
<https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/voice-of-the-us-farmer-in-2022-innovating-through-uncertainty>
- Flores, J., Manrique, M., Quispe, J., & Taco, A. (2019). Gestión de cadena de suministro: una mirada desde la perspectiva teórica. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(88), 1136-1146.
- García, G. (2022, 7 de Enero). *Drones en la agricultura: tecnología al servicio del pequeño agricultor*. The Food Tech.
<https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/drones-en-la-agricultura-aliados-de-los-pequenos-agricultores/>
- Gobierno de España. (2023, 19 de Abril). *Qué es la Inteligencia Artificial*. Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.
<https://planderecuperacion.gob.es/noticias/que-es-inteligencia-artificial-ia-prtr>
- Griffin, T., McFadden, J., & Njuki, E. (2023). *Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms* (EIB-248). U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Hassanien, A. E., Bhatnagar, R., & Darwish, A. (2020). *Artificial Intelligence for Sustainable Development: Theory, Practice and Future Applications* (Vol. 912). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51920-9_1
- Hua, Q., Tang, S., Wang, Z., Wan, J., Yan, H., & Zhang, C. (2018). Industrial Big Data Analytics for Prediction of Remaining Useful Life Based on Deep Learning. *IEEE Access*, 6, 17190-17197.
- IBM. (s.f.). *What is Artificial Intelligence (AI)?*. <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>
- IBM. (2022). *IBM Global AI Adoption Index 2022*. <https://www.ibm.com/downloads/cas/GVAGA3JP>
- INE. (2021). *Las TIC en las empresas con 10 o más empleados (primer trimestre de 2021) por agrupación de actividad económica*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística
- InfoAgro. (2018). *Sistemas de embalaje y envasado para productos frescos*. InfoAgroMéxico.
<https://mexico.infoagro.com/sistemas-de-embalaje-y-ensado-para-productos-frescos/>
- Intel. (s.f.). *¿Qué es la Visión artificial?*.
<https://www.intel.es/content/www/es/es/manufacturing/what-is-machine-vision.html>

- Janrao, S., & Shah, D. (2022). Return on investment framework for profitable crop recommendation system by using optimized multilayer perceptron regressor. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 11(3), 969-976. <http://doi.org/10.11591/ijai.v11.i3.pp969-976>
- Junta de Extremadura. (2023, 23 de Marzo). *El nuevo decreto ley de Inteligencia Artificial es el primer paso para aprovechar las nuevas oportunidades de crecimiento económico, emprendimiento y creación de empleo*. JUNTAEX. <https://www.juntaex.es/w/convalidacion-decreto-ley-de-inteligencia-artificial>
- Kang, L., Gruetzemacher, R., & Paradice, D. (2020). Forecasting extreme labor displacement: A survey of AI practitioners. *Technological Forecasting and Social Change*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120323>
- Kardoudi, O. (2023, 14 de Abril). *EEUU, China y Europa pisan el freno ante el poder destructor de la inteligencia artificial*. El Confidencial. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2023-04-14/regulacion-inteligencia-artificial-peligro-chatgpt_3610493/
- Larrazabal, M. (2019, 27 de Noviembre). *La inteligencia artificial al servicio de la agricultura*. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/259986-inteligencia-artificial-servicio-agricultura-Mariano-Larrazabal-Consultor-Agromarketing.html>
- Las aplicaciones de la inteligencia artificial que van a impulsar la sostenibilidad y la digitalización del campo*. (2023, 2 de Febrero). Plataforma Tierra. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/las-aplicaciones-de-la-inteligencia-artificial-que-van-a-impulsar-la-sostenibilidad-y-la-digitalizacion-del-campo/>
- Lowenberg-DeBoer, J. (2022). *Economics of adoption for digital automated technologies in agriculture. Background paper for The State of Food and Agriculture 2022*. FAO Agricultural Development Economics Working Paper 22-10. Rome, FAO.
- Manning, C. (2020). *Artificial Intelligence Definitions*. <https://hai.stanford.edu/sites/default/files/2020-09/AI-Definitions-HAI.pdf>
- Matuszak, J. (2021, 9 de Noviembre). *The Role of Transport in Agriculture*. KnowHow Hub. <https://knowhow.distrelec.com/transportation/the-role-of-transport-in-agriculture/>
- Montagud, N. (2019, 21 de Agosto). *Las 4 diferencias entre producción y productividad*. Psicología y Mente. <https://psicologiymente.com/organizaciones/diferencias-produccion-productividad>
- National Geographic. (2020, 2 de Diciembre). *Breve historia visual de la inteligencia artificial*. National Geographic. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/breve-historia-visual-in-inteligencia-artificial_14419
- Ning, S., & Yan, M. (2010, 9-11 Julio). *Discussion on research and development of artificial intelligence*. 2010 IEEE International Conference on Advanced Management Science(ICAMS 2010)[Congreso]. 10.1109/ICAMS.2010.5553039
- Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad. (2023). *Uso de inteligencia artificial y big data en las empresas españolas*. <https://www.ontsi.es/sites/ontsi/files/2023-03/brujula-uso-IA-big-data-2023.pdf>
- Oliver, N. (2022, 1 de Marzo). *Inteligencia artificial contra la crisis climática - Ethic*. Ethic. <https://ethic.es/2022/03/una-inteligencia-artificial-contra-la-crisis-climatica/>
- Parlamento Europeo. (2020, 8 de Septiembre). Europarl. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa>
- Parlamento Europeo. (2023, 12 de Junio). *Ley de IA de la UE: primera normativa sobre inteligencia artificial*. Europarl. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20230601STO93804/ley-de-ia-de-la-ue-primer-normativa-sobre-inteligencia-artificial>
- Patel, N., Shah, D., Shah, M., Talaviya, T., & Yagnik, H. (2020). Implementation of artificial

- intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73.
<https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>
- Pelegri, J. (2022, 16 de Mayo). *Robots para agricultura*. Universal Robots.
<https://www.universal-robots.com/es/blog/robots-para-agricultura/>
- Pieffet, G. (2020). Inteligencia Artificial: pasado, presente y futuro. *Revista SayWa*, 2(3), 7-13.
- Pincheira, H. (2022, 24 de Noviembre). *El desarrollo de la tecnología israelí y su impacto en la agricultura*. Hector Pincheira.
<https://www.hectorpincheira.com/tecnologias/desarrollo-de-la-tecnologia/>
- PricewaterhouseCoopers. (2017). *Sizing the prize What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?*
<https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>
- PricewaterhouseCoopers. (2018). *The macroeconomic impact of artificial intelligence*.
<https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/macro-economic-impact-of-ai-technical-report-feb-18.pdf>
- PricewaterhouseCoopers. (2019). *El futuro del sector agrícola español*.
<https://www.pwc.es/es/publicaciones/assets/informe-sector-agricola-espanol.pdf>
- P&S Market Research. (2022). *AI in Agriculture Market*.
<https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/artificial-intelligence-in-agriculture-market>
- Ramón, F. (2020). Inteligencia artificial y agricultura: nuevos retos en el sector agrario. *Campo jurídico: revista de direito agroambiental e teoria do direito*, 8(2), 123-129.
<https://doi.org/10.21902/revistacampjur.v8i2.6629>
- Rubio, A. (2019, 4 de Septiembre). *eHighway, las autopistas del futuro comienzan a ser una realidad*. Interempresas.
https://www.interempresas.net/Smart_Cities/Articulos/253642-eHighway-las-autopistas-del-futuro-comienzan-a-ser-una-realidad.html
- Sánchez, F. (2022, 20 de Diciembre). *Inteligencia Artificial agroalimentaria para mejorar la predicción de la demanda*. Revista Mercados.
<https://revistamercados.com/inteligencia-artificial-agroalimentaria-para-mejorar-la-prediccion-de-la-demanda/>
- Sepúlveda, Y. (2020). *Inteligencia artificial (IA) y sus aplicaciones en la agricultura moderna*. 10.13140/RG.2.2.17264.89603
- Skuza, A. (2019, 19 de Mayo). *Innovative Startup: Agrosmart Lets Farmer Monitor Plant Growth and Perform Farming Automation*. LinkedIn.
https://www.linkedin.com/pulse/innovative-startup-agrosmart-lets-farmer-monitor-plant-arek-skuza?trk=portfolio_article-card_title
- Tello, J., & Subramanian, L. (2022). *The magic behind turning data into profit*. Deloitte.
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/deloitte-analytics/us-ai-institute-challenges-of-using-artificial-intelligence-final.pdf>
- Vélez, J. (2022, 5 de Julio). *Aprendizaje automático frente a IoT: Entender la diferencia*. Barbara IoT.
<https://barbaraiot.com/es/blog/diferencia-machine-learning-inteligencia-artificial>
- Walch, K. (2019, 05 de Julio). *How AI Is Transforming Agriculture*. Forbes.
<https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/07/05/how-ai-is-transforming-agriculture/?sh=3087e9a14ad1>
- Zugarramurdi, A. (1998). *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*. (Vol. 351) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación