



ACADEMIA DE CIENCIAS VETERINARIAS
DE LA REGIÓN DE MURCIA

**LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

LECCIÓN INAUGURAL DEL CURSO ACADÉMICO 2025
EN LA ACADEMIA DE CIENCIAS VETERINARIAS
DE LA REGIÓN DE MURCIA

ILMA. SRA. DÑA. MARÍA BELÉN LÓPEZ MORALES

Murcia, 25 de febrero de 2025

EDITA:



ACADEMIA DE CIENCIAS VETERINARIAS DE LA REGIÓN DE MURCIA

El texto de este volumen se corresponde con el original y correcciones efectuadas por los autores

ISBN: 978-84-09-66253-1

Depósito legal: MU 183-2025

Impreso en España - Printed in Spain

Imprime: 42 líneas

42lineasdigital@gmail.com

ÍNDICE

A. APLICACIONES DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	10
1. Optimización de la producción y la cadena de suministro	10
2. Automatizacion de procesos	12
3. Seguridad alimentaria	15
4. Desarrollo de nuevos productos	17
5. Marketing y ventas	19
B. REGULACIÓN Y PRINCIPIOS ÉTICOS DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	22
C. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	25
D. IMPACTO ECONÓMICO DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	28
E. DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	31
F. APLICACIONES DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA EN ESPAÑA	35
CONCLUSIÓN	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

Excmo. Sr. Presidente de la Academia de Ciencias Veterinarias de la Región de Murcia.

Excmo. Sr. consejero de Medio Ambiente, Universidades, Investigación y Mar Menor. Presidente del Consejo de Academias.

Excmos. Sres. presidentes de las Academias de nuestra Comunidad.

Excmo. Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Murcia,

Excmas. e Ilmas. autoridades, civiles y militares,

Excmos. e Ilmos. Sres. Académicos,

Amigos y compañeros, Señoras y señores:

Estamos aquí para celebrar la inauguración del Curso Académico 2025 de la Academia de Ciencias Veterinarias de la Región de Murcia. Tengo que decir que para mí es un honor ocupar esta tribuna en representación de nuestra Ilustre Academia. Honor que no se debe a mis méritos, sino a los turnos establecidos por el Pleno de la Academia.

Desde que recibí el encargo para hacer el discurso en este acto, comencé a pensar en el tema a tratar en mi disertación y, finalmente, basándome en mi trayectoria profesional donde ha ocupado un lugar destacado el control de procesos de la industria alimentaria, decidí ir un paso más allá y desarrollar el empleo de la inteligencia artificial (IA) en dicha industria.

Pero para poder compartir con ustedes estas ideas ha sido fundamental el apoyo que en mis investigaciones ha tenido cada uno de los miembros de mi grupo de investigación a los que quedo profundamente agradecida.

También mi familia es el gran pilar de mi sustento emocional, pues como decía Bowen (1993), “La familia actúa como una red de seguridad que fomenta la resiliencia y la confianza, elementos esenciales en el crecimiento profesional”. Así es que desde aquí les digo: ¡Gracias Cosmej, ¡Gracias Álvaro y Laura! ¡porque vosotros dais sentido a mis logros y equilibrio a mi vida, ya que

poder compartirlos con vosotros es lo que hace que merezca la pena seguir progresando.

Dicho esto, paso a exponer los retos y aplicaciones de la IA en la industria alimentaria.

En primer lugar, realizaré una contextualización de la situación de la industria y su evolución de 4.0 hacia 5.0, así como los cambios de paradigma que supone dicha evolución.

Para la industria alimentaria garantizar el suministro de alimentos adecuados, seguros, sostenibles y accesibles es un objetivo estratégico, que justifica una apuesta continua por la innovación, implementación y mejora de procesos industriales, y el desarrollo de nuevos productos adaptados a las continuas demandas de los consumidores. La Industria Alimentaria 4.0 surge para dar respuesta a un entorno interconectado que, apuesta por la producción flexible y eficiente, la integración del consumidor en los procesos de innovación, la creación de cadenas de valor colaborativas y una mejor adaptación al entorno. Esta evolución de la industria permite tomar decisiones rápidas gracias a la implementación de sistemas de producción inteligentes y eficientes, que conducen a un mejor aprovechamiento de los recursos, minimizan los defectos de fabricación y generan un ahorro en costes.

Las transformaciones que se han realizado en la industria alimentaria se han sucedido en la historia de la humanidad, pero acortando los tiempos en los que se generaban ya que desde que se inició la primera revolución industrial en la segunda mitad del siglo XVIII hasta hoy, solo han pasado unos 250 años. Incluso, si analizamos con más detalle este progreso, se puede ver cómo la actual industria (la industria 4.0), comenzó hace poco más de una década y ya se está hablando de un nuevo paradigma, la industria 5.0.

La industria 4.0 se caracteriza por impulsar la digitalización, el análisis de datos en la gestión empresarial y la interconexión de los procesos de producción mediante la integración de tecnologías avanzadas, como el internet de las cosas (IdC), los gemelos digitales, la computación en la nube y los sistemas inteligentes. Esta revolución ha permitido que la industria sea más eficiente, flexible y personalizada, gracias a la monitorización y automatización en tiempo real de las cadenas de producción y de logística. De esta forma, las empresas han logrado promover la optimización de los recursos y la mejora de su capacidad de respuesta ante las demandas de los mercados.

En definitiva, esta revolución ha permitido a la humanidad avanzar con mayor rapidez en la producción de bienes y servicios, pero no ha garantizado una estabilidad del sector industrial. Un claro ejemplo de ello fue la crisis de la Covid-19 y la respuesta económica de la Unión Europea, que destinó más de mil millones de euros para el apoyo a la inversión en transición digital, sostenibilidad y resiliencia. Esta situación ha conllevado que se plantee una nueva estrategia: la industria 5.0.

A diferencia de la Industria 4.0, que tiende hacia la completa automatización, la Industria 5.0 reconoce el valor único de las habilidades humanas y la creatividad en el proceso productivo. La industria 5.0 busca la integración entre humanos y tecnología para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de la producción industrial.

Esta transformación responde al objetivo de ir un paso más allá en la automatización, para convertir las fábricas automatizadas en fábricas inteligentes, mediante la extracción, correlación, análisis avanzado y el almacenamiento en nube.

Si bien en la industria 4.0 los trabajadores debían adquirir nuevas habilidades para poder usar y aprovechar al máximo los sistemas emergentes, en la industria 5.0, los esfuerzos se orientan para que la tecnología ayude, guíe y capacite al trabajador en base a sus necesidades. Hemos pasado de preguntarnos “qué podemos hacer con las nuevas tecnologías” a “qué puede hacer la tecnología por nosotros”.

Al poner la tecnología al servicio de las personas, la industria logra combinar las ventajas de la automatización industrial (precisión, repetitividad, seguridad, alta velocidad) con las capacidades únicas del ser humano (creatividad, pensamiento crítico, habilidades cognitivas, razonamiento, etc.).

El sector industrial representa un 27,5% del PIB mundial y se estima que su cuota de mercado sea de unos 210 mil millones de dólares para el año 2026, según McKinsey & Company (2023). Estos datos muestran la interconexión significativa entre la industria, la economía y la sociedad, ya que hace patente cómo las dinámicas económicas y sociales influyen y son influidas por este sector.

Si queremos que nuestras industrias sean líderes, relevantes y competitivas a escala mundial, hay que trabajar en los tres pilares específicos

que sustentan la industria 5.0: el empoderamiento humano, la sostenibilidad y la resiliencia.

El principal objetivo de la industria 5.0 es convertir la industria en una proveedora de bienestar social, ambiental y económico. La sostenibilidad es un eje estratégico que plantea la industria 5.0 ya que desarrolla procesos circulares que reducen, reutilizan y reciclan los recursos naturales.

La resiliencia aplicada a la industria 5.0 plantea la necesidad de dotar a la industria de herramientas para enfrentar las condiciones adversas y asegurar el abastecimiento a infraestructuras críticas en tiempos de crisis. La pandemia de la Covid-19, el Brexit o, más recientemente, la invasión de Rusia a Ucrania y la crisis en la Franja de Gaza, actualmente en fase de remisión, son eventos que han alterado los acuerdos comerciales, los precios de algunas materias primas y combustibles, las operaciones industriales y los flujos logísticos a escala mundial.

Para conseguir esta transformación es necesario que se apoyen en avances tecnológicos entre los que destacamos:

- Interacción individualizada hombre-máquina
- Tecnologías y materiales inteligentes.
- Gemelos digitales.
- Tecnologías de transmisión, almacenamiento y análisis de datos.
- Inteligencia artificial

Muchos organismos mundiales, incluidos el WEF (World Economic Forum) y la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), solicitan la innovación de soluciones que aprovechen la gran cantidad de datos sensores y bases de datos para el beneficio de la sociedad y el medioambiente (Mbassegue et al., 2016). La investigación en IA ayudará a optimizar la productividad y el mantenimiento preventivo en el sector industrial y aportará mejoras importantes en la toma de decisiones (Cheng et al., 2018). La IA posibilita el aprendizaje automático de procesos industriales realizados por máquinas, sistemas robotizados y líneas de producción para aumentar su productividad y eficiencia al permitir reflejar con precisión la

realidad y proporcionar resultados precisos para predecir y resolver problemas complejos.

Las tecnologías emergentes como la IA generativa están comenzando a ser utilizadas para el desarrollo de nuevos productos con propiedades únicas, como texturas adaptadas o perfiles de sabor personalizados, marcando una nueva era de innovación en el sector (Brown et al., 2023). En este contexto, la IA emerge como una de las herramientas más poderosas y prometedoras para abordar los desafíos globales relacionados con la alimentación, como así lo demuestran estudios recientes sobre su impacto en la mejora de la sostenibilidad agrícola (Sakapaji & Puthenkalam, 2023) y en el diseño de soluciones de seguridad alimentaria mediante análisis predictivos (Jones & Patel, 2023).

La IA está revolucionando a la industria alimentaria ya que no solo se enfrenta retos como el cambio climático, la escasez de recursos y el crecimiento poblacional, sino también a la presión de los consumidores por alimentos más saludables y sostenibles. Es aquí donde la IA muestra su valor al ofrecer soluciones innovadoras que optimizan los procesos, reducen desperdicios y permiten una mejor trazabilidad.

Durante mi intervención realizaré un análisis de las aplicaciones de la IA en la industria alimentaria, regulación, impacto económico, retos y perspectivas futuras, aportando en cada uno de los apartados ejemplos que nos acerquen a esta realidad. La integración de la IA en la industria alimentaria no es un concepto futurista; es una realidad que está moldeando nuestra manera de entender la producción y el consumo.

A. APLICACIONES DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Las tecnologías basadas en IA están transformando la industria alimentaria al proporcionar herramientas que transforman la forma en la que producimos, distribuimos y consumimos los alimentos, ofreciendo soluciones innovadoras que pueden transformar estos retos en oportunidades.

Las principales aplicaciones de la IA las podemos agrupar en diferentes apartados en función de sus objetivos; optimización de la producción y cadena de suministro, automatización de procesos, seguridad alimentaria, desarrollo de nuevos productos y marketing y ventas. A continuación, desarrollaremos cada uno de estos apartados.

1. Optimización de la producción y la cadena de suministro

Uno de los mayores avances de la IA en la industria alimentaria es la mejora en la eficiencia de la producción. Los sistemas de IA pueden analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, lo que permite ajustar la producción y la distribución para satisfacer mejor las necesidades del mercado (Márquez et al., 2022). La IA permite monitorear los niveles de inventario en tiempo real y automatizar los pedidos de reposición, reduciendo el riesgo de desabastecimiento y minimizando los costes de almacenamiento.

La introducción de sistemas inteligentes capaces de programar, optimizar, gestionar, monitorear las distintas etapas y procesos agrícolas, puede conducir a niveles de efectividad y eficiencia muy superiores a los permitidos por los métodos tradicionales (Zamora-Izquierdo et al., 2019).

Aunando todos los conceptos anteriores surgen las llamadas, “urban plant factories”, por ser concebidas para su instalación en zonas urbanas o periurbanas, que pueden producir plantas enteras o productos mínimamente procesados (por ejemplo, brotes o baby-leaf), pero también componentes específicos asociados a otras áreas de interés comercial, como aceites esenciales, suplementos naturales, frutas blandas y productos nutricionales o farmacéuticos. En España, esta tecnología está en proceso de desarrollo o investigación. Rufepa Tecnoagro (2016), fue una de las primeras empresas

que empezó a investigar y desarrollar sistemas verticales de producción de hortalizas de hoja con luz artificial.

El uso de cámaras hiperespectrales y algoritmos de aprendizaje permiten detectar defectos en frutas, verduras y granos a una velocidad y precisión que supera a los métodos manuales. El uso de cámaras hiperespectrales integradas con IA permitió identificar defectos invisibles al ojo humano en frutas tropicales, y logró una precisión del 98% al clasificar frutas por tamaño y calidad, mejorando la tasa de aceptación de productos en un 20%. El reconocimiento automático de ingredientes alimentarios se puede realizar mediante un esquema de clasificación basado en el aprendizaje aplicando una red neuronal convolucional combinada con una técnica de fusión de subredes (Pan et al., 2020). Este tipo de innovación no solo reduce los errores humanos, sino que también incrementa la eficiencia en líneas de producción de alta demanda.

Una empresa líder en el sector maquinaria industrial, ha implementado estas tecnologías en líneas de producción, logrando una reducción del 30% en desperdicios y un incremento del 25% en la precisión del control de calidad (Tomra Food, 2022). Más recientemente, Bühler Group, empresa especializada en el desarrollo de procesos alimentarios ha aplicado IA en los sistemas avanzados de inspección visual reduciendo la contaminación por cuerpos extraños en un 15% en plantas procesadoras de nueces (Bühler Group, 2023). Asimismo, también se demostró la eficacia de un sistema híbrido de IA y visión espectral para clasificar granos con una tasa de error inferior al 2%. (Chakravartula et al., 2022)

La IA también juega un papel crucial en la optimización de la alimentación del ganado, ya que mediante el análisis de grandes volúmenes de datos los algoritmos pueden crear planes de alimentación personalizados. Estos sistemas consideran factores como la edad, el peso, la actividad y la fase de lactancia, ajustando las raciones para maximizar la producción de leche y minimizar los costes operativos (Gupta & Yadav, 2020). Con esta tecnología es posible la automatización de la distribución de alimentos a través de sistemas de alimentación inteligente, que ajustan las cantidades y tipo de alimentación en función de las condiciones y necesidades de cada animal, lo que contribuye a una mayor eficiencia de los recursos (Singh & Kumar, 2022).

Los sistemas basados en IA también pueden predecir la calidad de los productos lácteos mediante el análisis de datos históricos y patrones de producción. Por ejemplo, en la producción de queso, los algoritmos pueden predecir la maduración del queso en función de variables como la temperatura, la humedad y el tiempo, permitiendo a los productores ajustar los parámetros de producción en tiempo real, logrando productos más consistentes y de calidad (Pérez & Martínez, 2019).

La visión artificial, se utiliza para inspeccionar los productos lácteos en las líneas de producción. Las cámaras equipadas con algoritmos de IA son capaces de identificar defectos visibles en la textura, el color y la forma de los productos. Esto ayuda a garantizar que sólo los productos que cumplen con los estándares de calidad lleguen al mercado, mejorando la satisfacción del cliente y reduciendo los desperdicios (Gupta & Yadav, 2020).

La optimización de las rutas de distribución es otra área en la que la IA se está aplicando ya que permite el análisis del tráfico, las condiciones meteorológicas y otros factores en tiempo real para determinar las rutas más eficientes para la entrega de productos lácteos. Esto no solo reduce los costes de transporte, sino que también mejora la frescura de los productos al garantizar tiempos de entrega más cortos (Singh & Kumar, 2022).

Además, la IA puede automatizar la distribución de alimentos a través de sistemas de alimentación inteligente, que ajustan las cantidades y tipos de alimento en función de las condiciones y necesidades de cada animal, lo que contribuye a una mayor eficiencia en el uso de los recursos (Singh et al., 2022).

2. Automatización de procesos

Los avances en la producción de alimentos se pueden alcanzar mediante la automatización de los procesos y la introducción de tecnologías que permitan mejorar la calidad del producto final. Esta tecnología no solo mejora la eficiencia, sino que también asegura que los productos cumplan con los estándares de calidad y seguridad.

La IA se utiliza para modelar y simular procesos complejos en plantas de procesamiento de alimentos, identificando cuellos de botella, reduciendo el tiempo de inactividad y rentabilizando recursos. En este sentido, Nestlé implementó algoritmos de aprendizaje automático para optimizar la mezcla de

ingredientes en sus productos, logrando una reducción del 12% en el uso de materias primas (Nestlé, 2021).

Otro ejemplo destacado es la aplicación de IA en las fábricas de Danone, que la implementa para gestionar y prever las necesidades de producción en sus plantas, mediante la predicción de la demanda y gestión del inventario, lo que mejora la eficiencia en toda la cadena de suministro y reduce las pérdidas alimentarias. Además, los sistemas basados en IA gracias a la implementación de mantenimiento predictivo pueden predecir fallos en los equipos.

En los últimos años son cada vez más las industrias que utilizan IA en sus plantas. Un informe de Deloitte (2021) señala que la aplicación de IA en una planta cárnica en Europa redujo el 30% de los costes de mantenimiento. En una industria láctea ubicada en Europa, la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo basados en IA permitió detectar anomalías en maquinaria crítica con una precisión del 95%, evitando paradas no planificadas y ahorrando aproximadamente 500.000 euros anuales. Además, el uso de IA en una fábrica cárnica demostró cómo estos sistemas pudieron optimizar los ciclos de mantenimiento, reduciendo el tiempo de inactividad en un 20% y generando un retorno de inversión en menos de un año. Del mismo modo, la utilización de IA en líneas de procesamiento cárnico permitió optimizar tiempos de producción en un 25%, reduciendo también el desperdicio (Wang, 2022). Otro ejemplo es el de la empresa Tetra Pak, que utilizó modelos de aprendizaje para optimizar el procesamiento de bebidas, logrando una reducción del 20% en el consumo energético (Tetra Pak, 2022). PepsiCo utiliza sistemas de análisis predictivo para monitorear y ajustar en tiempo real en sus líneas de embotellado, logrando una reducción del 15% en el consumo de agua durante la producción (PepsiCo, 2023).

La optimización de procesos mediante IA en una planta de láctea permitió incrementar la producción en un 15% sin necesidad de invertir en infraestructura adicional (IBM Research, 2023). La empresa Bühler Group utiliza IA para predecir el desgaste de componentes críticos en líneas de producción, asegurando un tiempo de actividad constante y una reducción de hasta el 25% en gastos asociados a reparaciones no planificadas (Bühler Group, 2023).

La calidad de los productos lácteos es un aspecto fundamental que afecta la competitividad de las empresas de este sector. La inteligencia artificial,

particularmente en forma de sistemas de visión artificial y redes neuronales, está revolucionando el control de calidad de productos como queso, yogur y leche pasteurizada (Liu et al., 2022). Los sistemas de IA permiten detectar defectos en los productos de manera más rápida y precisa que los métodos tradicionales (Pérez & Martínez, 2019).

Además, la IA puede detectar alteraciones en el sabor o la composición de los productos, utilizando técnicas de análisis sensorial avanzado (Bagnulo et al., 2024). Por ejemplo, sistemas de IA pueden analizar datos de sensores que evalúan parámetros como la acidez o la consistencia de la leche, ajustando el proceso de producción para asegurar un producto uniforme y de alta calidad (Gupta & Sharma, 2021).

Cada vez son más demandados los gemelos digitales en los entornos de producción modernos (Tao et al., 2019) que deben lidiar de manera ágil con las reconfiguraciones y cambios de comportamiento, debido a la producción personalizada de bajo volumen y la eficiencia de los recursos disponibles (energía, agua). Los gemelos digitales son modelos virtuales de alta fidelidad del estado y el comportamiento de los activos y procesos físicos. Estos modelos digitales (Parrot & Warshaw, 2013) se crean a partir del análisis de la información y el modelado experto, o utilizando técnicas basadas en datos con datos de sensores recopilados a través de tecnologías de internet de las cosas (IdC). El modelado de procesos industriales explotará los datos de diversas fuentes, no solo sensores IdC y sistemas industriales, sino también registros manuales de los empleados mediante interfaces hombre-máquina, así como la información inferida por los algoritmos de aprendizaje como son las predicciones. El modelado de procesos incorporará este tipo de fuentes y datos en el proceso analítico para crear una simulación igual a la realidad que esté aprendiendo continuamente y validando diferentes configuraciones y posibles optimizaciones en los procesos industriales. Los diferentes procesos que ocurren en diferentes sectores industriales están haciendo que los gemelos digitales se definan ad-hoc, y hay una falta de modelos industriales y bibliotecas de procesos que permitan replicar y escalar sus gemelos digitales. Además, otras limitaciones actuales son que los expertos en simulación y modelado no están disponibles en las pequeñas y medianas empresas industriales y que los gemelos digitales basados en datos generalmente reciben capacitación sobre los datos que se recopilaron de un proceso específico. Estas limitaciones hacen

que sea económicamente costoso desarrollar nuevos gemelos digitales, que a menudo se necesitan en la fabricación moderna con reconfiguraciones ágiles.

Siemens desarrollo un gemelo digital en una planta láctea que permitió la reducción de un 15% de los costes de mantenimiento al optimizar la ubicación de la maquinaria y minimizar el tiempo de inactividad (Siemens, 2023).

La IA también está desempeñando un papel crucial en la lucha contra el desperdicio alimentario. Según la FAO (2021), aproximadamente un tercio de los alimentos producidos globalmente se pierden o desperdician. Empresas como Too Good To Go, una aplicación que conecta a los consumidores con restaurantes y supermercados para vender alimentos sobrantes, utilizan algoritmos de IA para optimizar la distribución y evitar el desperdicio. La aplicación predice la oferta y la demanda de productos de manera eficiente, conectando a los consumidores con alimentos que, de otro modo, habrían sido descartados.

La empresa Unilever ha implementado sistemas de IA para optimizar la producción de alimentos en sus fábricas y reducir el desperdicio en la etapa de fabricación. Utilizando aprendizaje automático, la compañía puede prever la cantidad exacta de ingredientes necesarios, lo que reduce el exceso de producción y mejora la sostenibilidad de sus procesos. Esta estrategia no solo reduce el desperdicio de alimentos, sino que también minimiza la huella de carbono de la empresa (Unilever, 2022).

3. Seguridad alimentaria

Otro aspecto crucial es la mejora de la seguridad alimentaria. Los sistemas de IA, combinados con sensores avanzados, pueden monitorear las condiciones de almacenamiento, detectar contaminantes en los alimentos y prever posibles brotes de enfermedades transmitidas por alimentos. *“La IA puede transformar la seguridad alimentaria al permitir que se identifiquen y mitiguen riesgos antes de que se conviertan en problemas graves”* (Sarewitz, D., 2018). Son diferentes aspectos los que se pueden abordar para garantizar la seguridad alimentaria entre los que destacamos; la detección de contaminantes, la trazabilidad de productos y la gestión de riesgos y fraudes. A través del análisis predictivo, la IA puede ayudar a las empresas a prever mejor las necesidades de producción y distribución, evitando la sobreproducción y

el desperdicio. *“La IA puede ser una herramienta poderosa para ayudar a la industria alimentaria a reducir su huella de carbono y hacer que la producción de alimentos sea más sostenible”* (Gauthier, A., 2022). Además, en la agricultura, la IA puede optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, contribuyendo a la producción de alimentos más sostenibles.

Mediante el análisis predictivo la IA puede analizar grandes volúmenes de datos y detectar patrones que indiquen la presencia de contaminantes en los alimentos. Estos modelos pueden considerar factores como el pH, la humedad y la temperatura para predecir el crecimiento microbiano (Márquez et al., 2022) y la prevención de la aparición de biofilms (Lee et al., 2021).

Los sistemas de visión artificial pueden inspeccionar los alimentos en tiempo real durante el proceso de producción. Estos sistemas utilizan cámaras y algoritmos de aprendizaje para identificar contaminantes físicos, como fragmentos de vidrio o metal, y defectos en los productos. Los sistemas de IA analizan imágenes de alta resolución y datos espectroscópicos para identificar irregularidades en los productos, como partículas extrañas o problemas de envasado.

Por ejemplo, un sistema basado en redes neuronales logró detectar contaminantes en productos lácteos con una precisión del 96%. Esta tecnología no solo mejora la seguridad del consumidor, sino que también protege a las empresas de posibles retiradas de productos y daños a su reputación. Otro estudio realizado por Huang et al. (2023) demostró que los sistemas de IA basados en sensores NIR (infrarrojo cercano) pueden identificar alérgenos ocultos en alimentos procesados con una precisión del 94%. Asimismo, se ha descrito un sistema híbrido que combina visión espectral con redes neuronales, logrando identificar contaminantes microscópicos con un margen de error inferior al 1%. Este sistema se ha implementado en líneas de producción de productos lácteos, donde se utiliza para detectar trazas de residuos químicos, como pesticidas o antibióticos, con una sensibilidad excepcional. Además, en el procesamiento de frutos secos, esta tecnología ha reducido un 15% las pérdidas asociadas a la contaminación cruzada ha demostrado ser capaz de identificar partículas metálicas o plásticas que podrían haber ingresado durante el almacenamiento o transporte, lo que refuerza significativamente la seguridad alimentaria. Estas innovaciones no solo optimizan la producción,

sino que también mejoran significativamente la seguridad alimentaria y la sostenibilidad.

La combinación de blockchain con IA permite una trazabilidad completa de los productos alimentarios desde su origen hasta el consumidor final. Esto asegura la transparencia en la cadena de suministro y facilita la identificación rápida de problemas en caso de retirada de productos. Un ejemplo notable de esta aplicación es el sistema IBM Food Trust, utilizado por empresas como Walmart y Nestlé. Esta plataforma blockchain basada en IA permite rastrear los alimentos desde su origen hasta el punto de venta, proporcionando a los consumidores información detallada sobre el origen de los productos y asegurando su calidad y seguridad. Los sensores equipados con IA pueden monitorear las condiciones de almacenamiento y transporte de los alimentos, como la temperatura y la humedad, en tiempo real contribuyendo a que los productos se mantengan en condiciones óptimas y reduce el riesgo de deterioro (Caicedo & López, 2009).

Sweetgreen, una cadena de restaurantes en Estados Unidos utiliza IA para monitorear en tiempo real las condiciones de los productos que reciben, garantizando que se mantengan dentro de los estándares de seguridad. La empresa utiliza sensores IdC y algoritmos de aprendizaje automático para analizar la frescura de los ingredientes y detectar cualquier riesgo de contaminación (Sweetgreen, 2023).

Los algoritmos de IA pueden analizar datos de múltiples fuentes para identificar patrones inusuales que podrían indicar fraude alimentario, como la adulteración de ingredientes o el etiquetado incorrecto. La IA puede evaluar los riesgos asociados con diferentes etapas de la cadena de suministro alimentaria, permitiendo a las empresas implementar medidas preventivas más efectivas.

4. Desarrollo de nuevos productos

La IA puede analizar grandes volúmenes de datos de redes sociales, encuestas y ventas para identificar nuevas tendencias y preferencias del consumidor. Esto permite a las empresas desarrollar productos que se alineen con las demandas del mercado. Los algoritmos de IA pueden combinar ingredientes de maneras novedosas para crear nuevas recetas y sabores. Esto fomenta la innovación y la diferenciación en un mercado competitivo. La

personalización de productos también está siendo impulsada por la IA. *“La IA nos permite no solo entender qué quieren los consumidores, sino también predecir sus necesidades futuras, lo que da lugar a productos alimenticios más personalizados”* (Miller, 2021). Una de las aplicaciones más innovadoras de la IA es la capacidad de personalizar productos alimenticios en tiempo real. Las líneas de producción equipadas con sistemas inteligentes pueden ajustar recetas según las preferencias del consumidor o las restricciones dietéticas, como alimentos bajos en azúcar o sin gluten.

La IA facilita la optimización de pastas para impresión 3D, ajustes en parámetros de impresión, y personalización según requerimientos nutricionales específicos. La integración de IA y 3D-FP tiene un potencial disruptivo para la industria alimentaria, contribuyendo al desarrollo de alimentos innovadores, nutritivos y sostenibles (Brown et al., 2023).

Un caso notable es el de la empresa Bühler Group, que utiliza IA para ajustar automáticamente la formulación de productos horneados en función de las condiciones climáticas y las propiedades de los ingredientes, garantizando la calidad incluso en circunstancias variables (Bühler Group, 2020). La optimización de las materias primas basada en IA sugiere que se puede reducir significativamente los costes asociados con errores en fórmulas aplicadas a la personalización de los alimentos (Li et al. 2022) y aumentar la satisfacción del cliente en un 18% en las empresas de alimentos que la han adoptado (Brown et al. 2023).

El uso de IA para el desarrollo de alimentos alternativos, como carnes vegetales, ha permitido a empresas como Impossible Foods y Beyond Meat ajustar texturas y sabores en tiempo real según la respuesta del consumidor, acelerando el desarrollo de nuevos productos (Impossible Foods, 2023). Un ejemplo innovador de esta tendencia es el caso de Benevolent AI, una empresa emergente que utiliza IA para investigar nuevos ingredientes y desarrollar alimentos con beneficios nutricionales específicos, como alimentos con propiedades antiinflamatorias o adecuados para dietas de control de peso.

Tyson Foods ha implementado algoritmos de aprendizaje automático para analizar datos sensoriales y optimizar la textura y el sabor de sus productos cárnicos procesados, lo que ha dado lugar a un incremento del 12% en la satisfacción del consumidor (Tyson Foods, 2022). Además, plataformas como Yummly y Food AI están utilizando algoritmos de IA para personalizar las

recomendaciones de recetas y menús según las preferencias dietéticas, alergias y objetivos de salud de los usuarios. Estos sistemas, al integrar datos personales como las preferencias de sabor, el historial médico y las restricciones dietéticas, ofrecen recomendaciones de alimentos completamente personalizados, lo que transforma la experiencia del consumidor y fomenta una alimentación más saludable.

La empresa emergente NotCo utiliza IA para desarrollar productos alimenticios veganos con un ahorro del 40% en los costes de investigación y desarrollo. Estas innovaciones no solo transforman las operaciones internas de las empresas, sino que también benefician a los consumidores al ofrecer productos de mayor calidad y sostenibilidad. Brown et al. (2023) destacan cómo el empleo de los algoritmos predictivos puede reducir en un 20% las discrepancias en la oferta y la demanda, mientras que Li et al. (2022) subrayan el impacto de la IA en la optimización de fórmulas alimenticias, logrando reducir los costes asociados en un 15%. Estas innovaciones prometen transformar no solo la eficiencia operativa, sino también la experiencia del consumidor y la sostenibilidad global.

5. Marketing y ventas

La IA está transformando la industria alimentaria, especialmente en las áreas de marketing y ventas, al ofrecer soluciones innovadoras que permiten a las empresas adaptarse mejor a las demandas de los consumidores, optimizar sus estrategias y mejorar la experiencia del cliente. En este sector, donde las tendencias cambian rápidamente y la personalización juega un papel crucial, esta tecnología es una herramienta clave para incrementar la eficiencia y la competitividad.

Una de las aplicaciones más notables de la IA en la industria alimentaria es la personalización de la experiencia del cliente. Supermercados, restaurantes y servicios de entrega a domicilio utilizan algoritmos de IA para analizar datos como preferencias alimenticias, historial de compras y comportamientos en línea. Esto les permite crear ofertas personalizadas y sugerencias relevantes. Por ejemplo, empresas como Domino's Pizza implementan sistemas basados en IA que recomiendan combinaciones de productos según el historial del cliente, aumentando significativamente las tasas de conversión y la fidelidad. Según

McKinsey & Company (2023), este tipo de personalización puede incrementar los ingresos entre un 10 % y un 30 %, un dato especialmente relevante para la industria alimentaria, donde las decisiones de compra suelen ser rápidas y emocionales.

Además, la IA está transformando las estrategias de precios en la industria alimentaria a través de modelos de precios dinámicos. Supermercados y plataformas de distribución como Uber Eats, utilizan esta tecnología para ajustar los precios en tiempo real basándose en la demanda, las condiciones del mercado y la disponibilidad de productos. Esto no sólo permite maximizar los ingresos, sino que también ayuda a las empresas a optimizar el manejo del inventario, un factor crucial en un sector donde los productos perecederos representan un desafío logístico importante. Estas estrategias impulsadas por IA mejoran tanto la rentabilidad como la percepción de valor por parte del cliente.

La publicidad programática es otra área donde la IA está marcando una diferencia significativa en el marketing de alimentos y bebidas. Mediante el análisis de datos demográficos, preferencias y comportamientos de los consumidores, las empresas pueden diseñar campañas publicitarias que se ajusten de manera precisa a las necesidades y deseos de sus audiencias. Plataformas como Google Ads y Meta Ads son ampliamente utilizadas en este sector para promover productos orgánicos, snacks saludables o servicios innovadores como kits de comida a domicilio. Estas herramientas optimizan los presupuestos publicitarios y garantizan que los mensajes lleguen a las personas adecuadas en el momento ideal.

Por otro lado, los asistentes de IA han transformado la atención al cliente en la industria alimentaria, especialmente para servicios de comida rápida y supermercados. Estos sistemas automatizados son capaces de responder preguntas frecuentes, sugerir productos y procesar pedidos, mejorando la eficiencia y la satisfacción del cliente. Empresas como Starbucks han desarrollado asistentes virtuales que no solo gestionan pedidos, sino que también aprenden de las preferencias del usuario para ofrecer recomendaciones personalizadas. Según Adamopoulou & Moussiades (2020), esta tecnología no solo reduce costes operativos, sino que también fortalece la relación entre las marcas y sus clientes contribuyendo a su fidelización.

Asimismo, la IA juega un papel crucial en la segmentación avanzada del mercado, permitiendo a las empresas identificar grupos específicos de consumidores según sus hábitos alimenticios, estilos de vida o preocupaciones de salud. Esto ha sido particularmente relevante en el auge de productos como los alimentos veganos, orgánicos y libres de alérgenos. Herramientas de análisis impulsadas por IA permiten a las empresas ajustar sus estrategias para captar a consumidores con necesidades específicas, maximizando así el impacto de sus campañas.

La IA está revolucionando el marketing y las ventas en la industria alimentaria al ofrecer soluciones que personalizan la experiencia del cliente, optimizan los precios, mejoran la atención al cliente y segmentan los mercados con precisión. Las empresas que adoptan estas tecnologías no solo logran destacarse en un entorno cada vez más competitivo, sino que también establecen relaciones más sólidas con sus consumidores al anticiparse a sus necesidades y deseos.

B. REGULACIÓN Y PRINCIPIOS ÉTICOS DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Los avances que supone la aplicación de la IA en la industria alimentaria van acompañados de desafíos. Ya que, aunque la IA ofrece grandes oportunidades para mejorar la eficiencia y la calidad de los alimentos, también es necesario un marco regulatorio robusto que asegure la transparencia, la equidad y la protección de los consumidores.

Es necesario por lo tanto crear un marco normativo que no solo permita aprovechar las ventajas de la IA, sino que también proteja la salud y los derechos de los consumidores, así como promueva la transparencia y la ética en la toma de decisiones automatizadas.

La Unión Europea está desarrollando el Reglamento de IA que clasifica los sistemas de IA según su nivel de riesgo. Este reglamento establece requisitos específicos para los sistemas de alto riesgo, como los relacionados con la seguridad alimentaria, incluyendo la transparencia y auditorías regulares (Reglamento UE 2024/1689). Además, el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) asegura que los sistemas de IA respeten la privacidad de los datos personales, fundamental en la industria alimentaria debido a la gestión de información sensible sobre los consumidores (Reglamento UE 2018/1725).

“La propuesta de reglamento establece un marco legal para garantizar que la IA en Europa se desarrolle y se utilice de manera que se respeten los derechos fundamentales de las personas, la seguridad, la salud pública y la protección de la privacidad”. (Reglamento de la IA, 2021, Art. 1).

Dentro de esta normativa, se incluyen medidas para supervisar los sistemas de IA en sectores como la agricultura y la producción alimentaria, donde los riesgos pueden ser elevados debido al impacto directo en la salud de los consumidores. La regulación contempla la obligación de realizar evaluaciones de conformidad para los sistemas de IA que operen en estos entornos, garantizando que las aplicaciones sean seguras y no discriminatorias.

Además de las normativas generales sobre IA, existen regulaciones más específicas que abordan la trazabilidad de los alimentos y la automatización de procesos en la cadena de suministro. En Europa, el Reglamento (UE) 178/2002,

que establece los principios y requisitos generales de la legislación alimentaria, también incorpora el empleo de IA en la trazabilidad de los alimentos.

En Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) ha implementado un enfoque similar al europeo para regular la IA en el ámbito de la seguridad alimentaria. La FDA ha publicado varias directrices sobre el uso de tecnologías de IA y aprendizaje automático en la inspección de alimentos, sobre todo en lo relacionado con la detección de patógenos y contaminantes. La FDA reconoce el potencial de la IA para mejorar la eficiencia y la precisión de las evaluaciones de seguridad alimentaria, pero también establece que cualquier sistema automatizado debe cumplir con rigurosos estándares de seguridad antes de ser implementado.

“Los sistemas de IA que se utilicen para la seguridad alimentaria deben ser validados para garantizar que los resultados sean precisos, reproducibles y no presenten riesgos adicionales a la salud pública”. (FDA, Directrices sobre el uso de IA en la seguridad alimentaria, 2020).

Además, la FDA ha publicado guías específicas sobre el uso de algoritmos de aprendizaje automático en sistemas relacionados con la salud y la seguridad alimentaria, enfatizando la necesidad de procesos de validación continua, verificación de datos y auditorías periódicas para garantizar la fiabilidad de estas tecnologías (FDA, 2022)

Algunos países han implementado sus propias regulaciones específicas para la IA en sectores críticos. Por ejemplo, en Japón, el Consejo de Política de IA trabaja en estándares éticos y normativos aplicables a diversas industrias, incluida la alimentaria. En China, las regulaciones enfatizan el uso responsable de la IA en la agricultura y la producción de alimentos, con un enfoque en la seguridad de los datos (Schulz & Sforzin, 2023).

La IA tiene el potencial de revolucionar la industria alimentaria, mejorando la eficiencia, la sostenibilidad y la calidad de los productos. Sin embargo, su implementación debe ser guiada por una normativa robusta que garantice su uso responsable, proteja los derechos de los consumidores y fomente la inclusión. En este sentido, UNESCO ha propuesto principios éticos para el desarrollo y uso de la IA, que incluyen el respeto por los derechos humanos, la sostenibilidad y la inclusión. Estas directrices son relevantes para la industria alimentaria, donde las decisiones automatizadas pueden tener un impacto significativo en la equidad y el acceso a los recursos (UNESCO, 2021).

Un aspecto clave en la regulación de la IA es la ética en el uso de estos sistemas. La toma de decisiones automatizada puede tener un impacto significativo en la industria alimentaria, desde la selección de proveedores hasta la distribución de productos, por lo que es esencial que los algoritmos sean diseñados de manera ética. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha destacado que las políticas públicas deben garantizar que la IA sea utilizada de manera justa, transparente y responsable, para evitar daños tanto a los consumidores como a los productores (OCDE, 2020).

A nivel global, el Documento de Principios de la OCDE sobre la IA (2020) también establece directrices fundamentales que deben ser adoptadas para garantizar que la IA sea utilizada de manera ética y transparente. Este enfoque ético subraya la necesidad de que las aplicaciones de IA, especialmente en la industria alimentaria, sean auditables, explicables y justas, de modo que no se utilicen para la discriminación o manipulación de los consumidores. El Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea también será clave en la regulación del uso de IA en el sector alimentario, dado que los sistemas de IA a menudo requieren el manejo de grandes volúmenes de datos personales, como los relacionados con las preferencias alimentarias de los consumidores.

“Las decisiones automatizadas, incluida la utilización de IA, deben ser transparentes y deben garantizar que los individuos tengan el derecho de no ser objeto de decisiones exclusivamente basadas en el tratamiento automatizado de sus datos”. (Reglamento General de Protección de Datos (GDPR), Art. 22).

Las políticas públicas deben evolucionar constantemente para mantenerse al día con los avances tecnológicos y asegurar que los beneficios de la IA se maximicen sin comprometer la seguridad ni los derechos fundamentales de los individuos. El marco legislativo sobre la IA en la industria alimentaria es complejo y está en constante desarrollo, a medida que los avances tecnológicos abren nuevas posibilidades.

C. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La industria alimentaria se enfrenta a retos significativos, como el aumento de la demanda global de alimentos, la necesidad de reducir el desperdicio y la presión por disminuir su huella ambiental, siendo necesario evaluar el impacto ambiental de estas innovaciones tecnológicas, determinando sus beneficios y el impacto derivado de la aplicación de estas.

La IA ha demostrado ser altamente efectiva en la reducción del desperdicio alimentario, un problema crítico en la cadena de suministro de alimentos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021), aproximadamente un tercio de los alimentos producidos en el mundo se pierde o desperdicia cada año, lo que genera no solo una pérdida económica, sino también un impacto ambiental significativo debido a los recursos utilizados en su producción. Las herramientas de IA, como los algoritmos predictivos, permiten anticipar la demanda de productos alimenticios y evitar la sobreproducción, reduciendo así el desperdicio de alimentos. Asimismo, la visión artificial, aplicada a la clasificación de alimentos, identifica productos que aún son aptos para el consumo, pero que podrían ser descartados por no cumplir estándares de tamaño y forma, promoviendo así un uso más eficiente de los recursos (FAO, 2021).

En el ámbito agrícola, la agricultura de precisión puede reducir significativamente la contaminación del suelo y minimizando el uso excesivo de agua e insumos químicos (Smith et al., 2020). El uso de sensores e IA pueden identificar áreas específicas que requieren riego o nutrientes, disminuyendo la contaminación de suelos, contribuyendo a la regeneración del suelo y a la protección de la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas.

La IA también contribuye a optimizar rutas de transporte y almacenamiento, reduciendo las emisiones de carbono asociadas a la cadena de suministro (Smith et al., 2019), ya que permiten el cálculo de rutas más cortas y eficientes que reducen el consumo de combustible, así como los costes operativos. Esto no solo reduce los costes operativos, sino que también

disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a mitigar el cambio climático (Jones et al., 2022).

El uso de la IA para el desarrollo productos alimentarios más sostenibles, como alternativas vegetales a la carne y productos con envases biodegradables reducen la dependencia de recursos naturales intensivos en carbono, como la ganadería tradicional.

Otro aspecto positivo de la IA en la industria alimentaria es su capacidad para fomentar prácticas agrícolas sostenibles. El uso de drones, sensores remotos y análisis de datos en tiempo real facilita el monitoreo y la certificación de métodos agrícolas responsables, incentivando a los productores a adoptar prácticas que respeten el medio ambiente (Garnett et al., 2019). Esto es especialmente relevante en el contexto actual, donde la sostenibilidad se ha convertido en un criterio clave para los consumidores y las empresas.

Sin embargo, a pesar de estos beneficios, la implementación de la IA en la industria alimentaria también plantea desafíos importantes para el medio ambiente. Uno de los principales problemas es el alto consumo energético asociado a los sistemas de IA, particularmente aquellos basados en aprendizaje (Strubell et al., 2020). Los centros de datos que soportan estas tecnologías requieren grandes cantidades de electricidad, lo que contribuye significativamente a las emisiones de carbono si la energía utilizada proviene de fuentes no renovables (Jones et al., 2022). Por ejemplo, un estudio de Patterson et al. (2021) reveló que el entrenamiento de modelos avanzados de aprendizaje automático puede generar emisiones de carbono equivalentes a las de un automóvil promedio durante toda su vida útil.

Otro desafío es la creciente acumulación de residuos electrónicos, impulsada por la necesidad de dispositivos avanzados como sensores, máquinas automatizadas e IdC en la cadena de suministro alimentaria. Estos equipos tienen ciclos de vida relativamente cortos y, en ausencia de sistemas efectivos de reciclaje, contribuyen al problema global de los residuos tecnológicos (Yadav & Gupta, 2020)

Además, aunque la IA puede optimizar la producción agrícola, existe el riesgo de que fomente la expansión de monocultivos intensivos, que priorizan la eficiencia sobre la biodiversidad. Los monocultivos pueden tener efectos negativos en los ecosistemas locales, reduciendo la diversidad biológica y afectando la salud del suelo a largo plazo. Garnett et al. (2019) destacan que

esta práctica, aunque eficiente, socava la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático y otros desafíos ambientales.

Finalmente, el acceso desigual a estas tecnologías plantea un obstáculo significativo para la adopción de la IA en prácticas sostenibles. Los pequeños agricultores, que a menudo carecen de los recursos financieros y técnicos necesarios, corren el riesgo de quedar excluidos de los beneficios de estas innovaciones, perpetuando desigualdades en el sector agrícola. Esto limita la capacidad de la IA para generar un impacto positivo a nivel global, especialmente en regiones donde la sostenibilidad es más urgente (Yadav & Gupta, 2020).

D. IMPACTO ECONÓMICO DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La IA ha revolucionado la industria alimentaria en los últimos años, transformando cada etapa del proceso, desde la producción hasta el consumo final, mejorando la eficiencia, la seguridad alimentaria, y la sostenibilidad. La integración de IA en la industria alimentaria ha demostrado ser una inversión altamente rentable. Diversos estudios cuantifican el impacto directo en la reducción de costes operativos, desperdicios y tiempos de producción.

La aplicación de la IA en la industria alimentaria está experimentando un crecimiento significativo, con proyecciones económicas destacables. Según un informe de Mordor Intelligence, se estima que el mercado de IA en alimentos y bebidas alcanzará los 9,68 mil millones de dólares en 2024 y crecerá a una tasa compuesta anual del 38,30%, llegando a 48,99 mil millones de dólares en 2029 (Mordor Intelligence, 2024).

Este crecimiento se debe a diversas aplicaciones de la IA en el sector. Por ejemplo, en el procesamiento de alimentos, los algoritmos de aprendizaje automático mejoran la calidad y seguridad alimentaria mediante la automatización de procesos de inspección y control de calidad. Las máquinas equipadas con visión por computadora pueden detectar defectos, contaminantes y variaciones en la textura y color, asegurando que solo los productos que cumplen con los estándares lleguen a los consumidores (The Food Tech, 2024).

Un estudio de Emergen Research indica que el tamaño global del mercado de IA y Big Data en la industria alimentaria fue de 6,86 mil millones de dólares en 2022 y se espera que registre una tasa compuesta anual de ingresos del 44,4% (Emergen Research, 2024).

A nivel global, un análisis de McKinsey & Company (2021) estimó que el uso de IA en el sector alimentario podría generar ahorros totales de hasta \$50 mil millones al año en 2030. Este cálculo se basó en un análisis de múltiples factores, como la optimización de procesos logísticos, la reducción de desperdicios en líneas de producción y el ahorro energético en instalaciones automatizadas. El informe destaca que la adopción de sistemas de predicción

de demanda puede reducir hasta un 20% los costes de inventario, mientras que las tecnologías de mantenimiento predictivo disminuyen en un 25% los gastos asociados a paradas no planificadas.

Estas cifras reflejan la creciente importancia de la IA en la industria alimentaria, impulsando mejoras en eficiencia, calidad y sostenibilidad en toda la cadena de valor.

Un estudio de Frost & Sullivan (2023) señaló que las empresas que han integrado soluciones basadas en IA para la optimización logística lograron reducir en un 25% los costes asociados al transporte y la distribución de productos alimenticios.

Por otro lado, Bühler Group reportó una disminución del 12% en el consumo energético gracias a líneas de producción automatizadas con IA (Bühler Group, 2022), mientras que Tetra Pak implementó soluciones de IA para ajustar procesos de envasado, logrando una reducción del 20% en el uso de materiales de embalaje (Tetra Pak, 2023).

Estudios recientes también destacan el impacto en el procesamiento de alimentos: Capgemini (2021) determinó que el empleo de IA en líneas de producción redujo los rechazos de productos en un 18%, mientras que Wang (2022) documentaron un ahorro del 15% en costes operativos mediante el uso de gemelos digitales para simular y optimizar procesos en plantas de alimentos. Por ejemplo, en una industria láctea, la simulación en tiempo real ayudó a reducir en un 12% los tiempos de inactividad y a incrementar la eficiencia en un 20%, los sistemas de visión hiperespectral han permitido a empresas como Nestlé reducir hasta un 18% los rechazos de productos en sus líneas de procesamiento, mientras que el uso de análisis predictivo por PepsiCo ha generado una reducción del 15% en el consumo de agua. Un análisis reciente de destaca que la implementación de IA en el sector de alimentos y bebidas puede generar un retorno de inversión del 25% en menos de tres años Accenture (2023).

La adopción de la IA en la industria alimentaria también está creando nuevas oportunidades laborales, especialmente en áreas tecnológicas como el análisis de datos, la ingeniería de IA y la robótica. Si bien algunas funciones manuales pueden ser reemplazadas por la automatización, surgen nuevos roles relacionados con el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de IA, así como con el análisis de los datos generados por estos sistemas.

Por ejemplo, en una cadena de supermercados (Kroger), que ha invertido en IA para optimizar la experiencia de compra en línea y en sus tiendas físicas, ha generado la creación de nuevos puestos de trabajo en áreas como la IA aplicada a la logística y el análisis de datos del comportamiento del consumidor. A medida que más empresas adoptan la IA, se prevé que continúen surgiendo nuevas oportunidades laborales, especialmente en campos relacionados con la tecnología y la sostenibilidad.

La aplicación de la IA en la industria alimentaria española está generando resultados económicos notables. Según un estudio del Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario, el 46% de las empresas españolas ya utilizan la IA en alguna de sus tareas, lo que refleja una adopción significativa de esta tecnología en el sector (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2024).

Empresas españolas están invirtiendo en innovación mediante IA, Pascual, a través de su unidad Pascual Innoventures, ha ampliado su inversión en empresas emergentes del sector alimentario, destinando dos millones de euros en las tres primeras ediciones de Mylkcubator, un programa especializado en innovación alimentaria. En su tercera edición, ha invertido en dos empresas emergentes españolas, Cultzyme e Innomy, que trabajan en bio fabricación y producción de proteínas alternativas (Cinco Días, 2024).

Además, empresas como Patatas Meléndez han implementado tecnologías avanzadas de IA, robotización y automatización en sus plantas de producción, mejorando la eficiencia y calidad de sus productos. La IA también está optimizando la cadena de suministro y reduciendo desperdicios.

E. DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

El uso de la IA en la industria alimentaria ha generado avances significativos en términos de eficiencia y calidad, pero también plantea una serie de problemas que deben ser abordados. Uno de los mayores desafíos es la seguridad de los datos. Los sistemas basados en IA recopilan grandes cantidades de información, lo que los hace vulnerables a ataques cibernéticos y filtraciones. Por ejemplo, un estudio de Ahmed et al. (2021) destaca que las empresas alimentarias que utilizan IA para rastrear cadenas de suministro se enfrentan riesgos crecientes de ciberataques, lo que podría comprometer tanto la operación como la privacidad de los consumidores.

La falta de transparencia, ya que complejidad de los algoritmos de IA puede dificultar la comprensión de cómo se toman decisiones clave en el sector alimentario, genera desconfianza entre los consumidores, que exigen mayor transparencia sobre cómo se seleccionan o procesan los alimentos (Binns, 2018).

Otro problema importante es el sesgo inherente en los algoritmos. Los sistemas de IA pueden favorecer ciertos productos o perfiles demográficos debido a datos mal equilibrados o insuficientes. Esto puede llevar a decisiones discriminatorias o ineficientes (Mehrabi et al., 2021).

La automatización impulsada por IA puede generar una dependencia excesiva en la tecnología, lo que aumenta el riesgo de interrupciones graves en caso de fallos técnicos. Además, el reemplazo de trabajadores humanos por máquinas plantea desafíos sociales significativos. Según Brynjolfsson & McAfee (2014), esta tendencia hacia la automatización masiva podría exacerbar las desigualdades económicas al eliminar empleos tradicionales en sectores clave como el procesamiento y distribución de alimentos.

Aunque la IA tiene el potencial de optimizar procesos y reducir desperdicios, también puede aumentar el consumo energético debido a la infraestructura tecnológica necesaria para su funcionamiento. Un informe reciente del Foro Económico Mundial (2023) advierte que las soluciones

basadas en IA deben diseñarse cuidadosamente para minimizar su impacto ambiental y garantizar prácticas sostenibles.

La alta inversión inicial, así como la falta de personal cualificado puede dificultar su implementación en las pequeñas y medianas empresas ya que estas barreras limitan el acceso equitativo a las ventajas que ofrece la IA, consolidando aún más las desigualdades entre grandes corporaciones y pequeñas empresas (Singh et al.,2022).

Aunque los desafíos que tiene que abordar la IA son numerosos, los progresos que se realizan en la IA medida que avanzamos hacia 2050 continuaran siendo un catalizador para la innovación tecnológica en la industria alimentaria.

Uno de los desarrollos más prometedores en el horizonte es la impresión 3D de alimentos, una tecnología que ha comenzado a ganar terreno en los últimos años y que, para 2050, podría ser una práctica común en los hogares y restaurantes. Los avances en la IA permitirán diseñar y personalizar alimentos a través de impresoras 3D transformando ingredientes en productos comestibles con texturas y formas complejas, favoreciendo la reducción de residuos al utilizar proteínas vegetales o algas reduciendo al mismo tiempo la huella ambiental (Huang et al, 2025).

El empleo de la IA en la agricultura vertical permitirá gestionar estas granjas verticales de manera completamente autónoma, optimizando el crecimiento de los cultivos y ajustando los parámetros ambientales en tiempo real, estos sistemas automatizados se complementarán con algoritmos de aprendizaje automático que pueden predecir las necesidades de los cultivos y predecir posibles brotes de enfermedades antes de que ocurran, mejorando así la resiliencia de las cosechas.

Para 2050, la IA será crucial para mejorar la eficiencia de los bioreactores alimentarios, que crean proteínas animales sin necesidad de criar y sacrificar animal a partir del cultivo de células animales.

Un estudio de *Nature Biotechnology* (2025) afirma que “la IA acelerará el proceso de cultivo celular, optimizando las condiciones para el crecimiento de células animales, lo que reducirá los costes de producción y mejorará la calidad de los productos”. Estos bioreactores podrían producir proteínas de manera más eficiente, sin los impactos ambientales asociados con la ganadería tradicional, como la deforestación y la emisión de gases de efecto invernadero.

La trazabilidad de los productos alimentarios se beneficiará enormemente de la combinación de IA con blockchain, ya que permitirá un seguimiento de cada ingrediente a lo largo de toda la cadena de suministro alimentaria, desde su origen hasta el consumidor final. La implementación de IA en blockchain permitirá procesar grandes volúmenes de datos de manera rápida y eficiente, asegurando que cada producto alimentario sea rastreado en tiempo real (Trovera, 2025), este sistema podrá garantizar que las prácticas agrícolas sean sostenibles y transparentes, y permitirá identificar posibles fallos en la cadena de suministro.

La automatización en el procesamiento y envasado de alimentos está avanzando rápidamente, impulsada por la IA y la robótica avanzada. En las fábricas del futuro, los robots no solo realizarán tareas repetitivas, sino que también se encargarán de tareas complejas, como la clasificación de alimentos según su calidad, la preparación de ingredientes personalizados y la creación de envases inteligentes. Un informe de *Robotics Business Review* (2024) menciona que “para 2050, los robots serán capaces de realizar el empaquetado de alimentos con precisión milimétrica, reduciendo el desperdicio y aumentando la velocidad de producción sin comprometer la calidad”. Además, los sistemas de IA optimizarán el uso de materiales de envasado reciclables, lo que contribuirá a reducir el impacto ambiental de la industria alimentaria.

La nutrición predictiva, basada en la recopilación de grandes volúmenes de datos biométricos y genéticos, cambiará la forma en que las personas gestionan su salud y bienestar a través de la alimentación. Según un informe de *HealthTech Magazine* (2025), “la IA será capaz de analizar los datos de salud en tiempo real y predecir las necesidades nutricionales futuras, basándose en el perfil genético y las condiciones fisiológicas de cada individuo”. Esto permitirá a los consumidores tomar decisiones alimentarias informadas y adaptadas a sus necesidades específicas, ayudando a prevenir enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares.

Una de las tecnologías más futuristas que podría empezar a materializarse para 2050 es el uso de interfaces cerebro-computadora para la interacción con alimentos inteligentes. La IA permitirá que los consumidores interactúen directamente con sus alimentos, por ejemplo, para ajustar el sabor, la textura o la temperatura de un platillo a través de señales neurológicas. Un estudio de MIT Technology Review (2024) sugiere que “las interfaces cerebro-

computadora serán utilizadas para personalizar las experiencias gastronómicas, permitiendo a los consumidores ajustar las características sensoriales de los alimentos en función de sus preferencias o necesidades fisiológicas”. Esto abrirá nuevas posibilidades en el campo de la gastronomía y la nutrición, mejorando la experiencia del consumidor de manera personalizada.

A medida que avanzamos hacia 2050, los desarrollos tecnológicos impulsados por la IA cambiarán la industria alimentaria de manera fundamental. Desde la impresión 3D de alimentos hasta las interfaces cerebro-computadora, las innovaciones permitirán crear sistemas alimentarios más sostenibles, eficientes y personalizados. La IA se convertirá en el eje central de una revolución en la producción, distribución y consumo de alimentos, lo que nos permitirá hacer frente a los retos globales y crear un futuro más saludable y responsable con el medio ambiente.

Para fomentar la investigación en IA, la Comisión Europea está diseñando una plataforma abierta de IA bajo demanda para apoyar el ecosistema IA y compartir recursos de IA producidos en proyectos europeos, incluidos servicios de alto nivel, experiencia en investigación e innovación de inteligencia artificial, componentes y conjuntos de datos de inteligencia artificial. El objetivo es la creación y el apoyo de un gran ecosistema europeo que facilite la colaboración entre todos los actores europeos en IA (científicos, empresarios, PYME, industrias, organizaciones estandarización, ciudadanos, etc).

Sin embargo, hoy en día, las soluciones de IA se implementan la mayor parte de las veces en componentes dispersos y aislados de la producción industrial. En la mayoría de los casos, la aplicación exitosa de IA consiste en pilotos o bancos de pruebas para optimizar aspectos específicos (por ejemplo, el uso de la visión artificial para el análisis de defectos). Para aprovechar todo el potencial de innovación de la IA, la IA debe considerarse un aspecto transversal en los procesos industriales.

Finalizaré mi intervención haciendo referencia a las aplicaciones de la IA en España y en la Región de Murcia.

F. APLICACIONES DE LA IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA EN ESPAÑA

La aplicación de IA en la industria alimentaria está transformando significativamente este sector en España, contribuyendo a optimizar procesos, mejorar la sostenibilidad y satisfacer las demandas de un mercado cada vez más exigente. Desde la producción agrícola hasta la distribución y comercialización de alimentos, la IA está marcando un antes y un después en cómo se gestionan los recursos y se garantiza la calidad de los productos alimentarios, incrementando la eficiencia en la producción agrícola en un 25% en algunos sectores clave, como la viticultura y la horticultura.

La IA está jugando un papel crucial en la modernización de la agricultura en España, uno de los pilares fundamentales de su industria alimentaria. Gracias al uso de sensores IdC, drones y algoritmos predictivos, los agricultores pueden anticipar problemas relacionados con el clima, las plagas o el rendimiento de los cultivos. Por ejemplo, tecnologías como los sistemas de visión artificial están permitiendo identificar enfermedades en las plantas con mayor rapidez, lo que reduce el uso de pesticidas y mejora la sostenibilidad. Según un estudio de Tzounis et al. (2017), la implementación de IA en la agricultura de precisión ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la eficiencia en la gestión de recursos. Además, en regiones como Andalucía y Castilla-La Mancha, los agricultores están utilizando plataformas impulsadas por IA para optimizar el riego, reduciendo así el consumo de agua en áreas donde este recurso es escaso.

En las fábricas y plantas de procesamiento, la IA está revolucionando el control de calidad y la automatización. Mediante el uso de sistemas de visión artificial y aprendizaje automático, las empresas pueden identificar defectos en productos alimentarios con una precisión que supera las capacidades humanas. Por ejemplo, empresas españolas están utilizando IA para analizar automáticamente frutas y verduras, clasificándolas por tamaño, forma y color. Además, en la industria cárnica, sistemas basados en IA están siendo empleados para garantizar la trazabilidad y la seguridad alimentaria, identificando irregularidades en los lotes procesados. Por ejemplo, en mataderos y plantas de

procesamiento cárnico, se están implementando soluciones de IA que permiten rastrear cada paso de la cadena de producción, asegurando que los productos cumplan con los estándares de calidad y seguridad. Estas herramientas también están contribuyendo a reducir el desperdicio, al optimizar el corte de las piezas de carne y maximizar el rendimiento de cada lote. Como señala García-Molina et al. (2020), esta tecnología no solo mejora la calidad del producto final, sino que también reduce los costes operativos al minimizar el desperdicio y permite una producción más eficiente.

En la industria láctea, la IA también está teniendo un impacto significativo. En España, grandes productores de leche están adoptando sistemas de análisis de datos para monitorear la salud y el bienestar de las vacas. Sensores conectados y algoritmos de machine learning permiten detectar enfermedades en etapas tempranas, optimizar las prácticas de alimentación y predecir los niveles de producción de leche. En fábricas de productos lácteos, como quesos y yogures, la IA se está utilizando para ajustar parámetros de producción en tiempo real, garantizando una calidad uniforme y reduciendo las pérdidas. Estas tecnologías también están ayudando a gestionar inventarios de manera más eficiente, asegurando que los productos frescos lleguen a los mercados en óptimas condiciones.

Otro aspecto fundamental del uso de la IA en la industria alimentaria es su contribución a la sostenibilidad. En España, donde la gestión del agua y la energía es crucial, la IA se está utilizando para optimizar el uso de estos recursos mediante el empleo de sistemas basados en machine learning que están ayudando a predecir patrones de consumo energético y diseñar estrategias para reducir el impacto ambiental. Por ejemplo, grandes bodegas españolas han comenzado a implementar soluciones de IA para monitorizar el uso de energía en el proceso de fermentación y embotellado, reduciendo significativamente las emisiones de carbono. Un informe de la Comisión Europea (2021) destaca cómo la implementación de IA en procesos industriales puede reducir significativamente las emisiones de CO₂ en la industria alimentaria.

Además de los beneficios en la producción, la IA está mejorando la experiencia del consumidor. Empresas españolas están utilizando análisis de “Big Data” para identificar las preferencias y comportamientos de los clientes, adaptando sus ofertas de productos y estrategias de marketing. Por ejemplo, los sistemas de recomendación basados en IA, como los empleados en

plataformas de venta online, están personalizando las sugerencias de productos para satisfacer mejor las necesidades individuales de los consumidores. En los supermercados, tecnologías basadas en IA están siendo implementadas para optimizar la gestión del inventario, asegurando que los productos frescos estén disponibles para los clientes y reduciendo al mismo tiempo los desperdicios alimentarios (Gómez et al., 2019). Asimismo, cadenas de supermercados en España han empezado a utilizar asistente de IA para resolver consultas frecuentes de los clientes y facilitar el proceso de compra online.

En la Región de Murcia, un área clave para la producción hortofrutícola en España, la IA también está desempeñando un papel importante. Empresas locales han comenzado a utilizar IA para gestionar de manera eficiente el riego en cultivos intensivos, teniendo en cuenta factores como la calidad del suelo, las condiciones climáticas y el consumo histórico de agua. Esta tecnología está ayudando a preservar los acuíferos en una región con alta dependencia de recursos hídricos limitados. Asimismo, la IA se está utilizando para monitorear y controlar plagas en cultivos de exportación como los cítricos y las hortalizas, reduciendo el uso de pesticidas y mejorando la calidad de los productos destinados al mercado internacional.

La agricultura de precisión, una de las aplicaciones más destacadas de la IA en este sector, utiliza tecnologías avanzadas como sensores, drones y sistemas de información geográfica para recopilar y analizar datos en tiempo real. Esto permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el riego, la fertilización y la protección de cultivos, mejorando así la productividad y reduciendo el impacto ambiental.

En Murcia, se están desarrollando proyectos basados en el uso de plataformas IdC para la selección de variedades de fruta de hueso mejor adaptadas al entorno local son un ejemplo claro de cómo la digitalización está beneficiando a la agricultura (Cruz et al., 2024). Además, la IA se está utilizando para predecir enfermedades y plagas, optimizar la planificación de la producción y mejorar la eficiencia operativa. Por ejemplo, algoritmos de IA analizan imágenes de cultivos capturadas por drones para detectar anomalías y determinar el momento óptimo para la cosecha. Estas tecnologías

no solo aumentan los rendimientos agrícolas, sino que también ayudan a los agricultores a utilizar los recursos naturales de manera más eficiente (López-Andreu et al., 2022). También se han realizado estudios para simular escenarios y desarrollar variedades de fruta de hueso mejor adaptadas al entorno, basada en estándares, interfaces abiertas y protocolos, la plataforma integra fuentes de información heterogéneas y es interoperable con otras soluciones de terceros para intercambiar y explotar dicha información. Además, la digitalización del ecosistema a través de IdC potencia la adopción de nuevas variedades, la gestión óptima de los cultivos y la obtención de beneficios económicos (López-Morales et al., 2021).

En las plantas de envasado hortofrutícola de Murcia, los sistemas de visión artificial están automatizando la selección y clasificación de frutas y verduras, aumentando la velocidad de procesamiento y asegurando estándares de calidad más altos. Agro6GSense es una plataforma desarrollada por una empresa murciana (Odin Solutions, S.L.) que integra tecnologías avanzadas de comunicación 6G con aplicaciones en la agricultura inteligente. Su objetivo es mejorar la eficiencia y sostenibilidad en las prácticas agrícolas mediante el uso de sensores, IdC, análisis de datos en tiempo real y conectividad de última generación. Esta plataforma permite a los agricultores monitorear y gestionar de manera precisa diversos parámetros de sus cultivos, como humedad del suelo, condiciones climáticas y presencia de plagas, facilitando una toma de decisiones informada y precisa. Esta plataforma representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías emergentes para optimizar la producción agrícola y promover prácticas más sostenibles en el sector. La plataforma Agro6GSense permitirá también una gestión eficiente e inteligente de los cultivos de interior en invernaderos. Otros ejemplos de aplicación consisten en que, dependiendo de la época del año, el tipo de plagas que haya o el tipo de cultivo, se pueden reprogramar los algoritmos inteligentes que monitorizan los cultivos para que se adapten a los requisitos del agricultor en cada momento o desplegar servicios centrados mitigar heladas o en determinar la madurez de los frutos.

El proyecto *Proteínas del Mar Menor*, apoyado por la *Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente* de la Región de Murcia, está explorando el uso de IA para desarrollar proteínas sostenibles a partir de microalgas. A través de IA, el proyecto está optimizando el cultivo

y la cosecha de microalgas, que podrían ser utilizadas como una fuente de proteínas vegetales de alto valor nutricional, reduciendo la dependencia de las proteínas animales.

Otro desarrollo significativo en la Región de Murcia es la utilización de la IA para la gestión de residuos alimentarios, lo que contribuye a una economía circular más eficiente y sostenible. El proyecto Agriwaste desarrollado por el Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación de Murcia ha utilizado IA para identificar y clasificar los residuos generados en las industrias alimentarias, para luego transformarlos en productos reutilizables o biogás.

Recientemente en septiembre de 2024 el grupo empresarial Fuertes ubicado en Murcia ha abierto LAB19, un laboratorio experimental de inteligencia artificial, con el objetivo de realizar una exploración exhaustiva y una optimización intensiva de los modelos estadísticos y algoritmos para la estimación y análisis de la demanda futura, un aspecto crucial para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones.

En relación con la industria quesera, la Universidad de Murcia está finalizando un proyecto basado en la aplicación de IA basado en la determinación de algoritmos para la determinación del tiempo de corte en la elaboración de queso fresco mediante la aplicación de sensores laser raman y NIR, aunque este último sensor proporciona una mayor repetitividad y reproducibilidad de la respuesta.

La plataforma PITAGORAS desarrollada por la Universidad de Murcia (<https://www.ai4eu.eu/about-project>) posibilitará a las empresas centrarse en la mejora de la cadena de fabricación desde la elaboración del producto, su envasado, empaquetado y preparado para su distribución. Esta plataforma desarrollará múltiples servicios inteligentes ofrecidos a los trabajadores industriales y directivos para optimizar la sostenibilidad de recursos (energía, agua), la seguridad de los operarios de planta, así como el rendimiento de productividad y mantenimiento de la fabricación. Para ello, PITAGORAS implementará IA y modelos simulados de los procesos industriales en fábrica para predecir el consumo, la producción y el almacenamiento de recursos en función de los datos recopilados y el conocimiento inferido. Esta plataforma desarrollará servicios inteligentes con interfaces hombre-máquina fáciles de usar para proporcionar soporte de decisiones para la configuración y operación

en tiempo real con la maquinaria y sistemas robóticos teniendo en cuenta los cambios modelados para la optimización de productividad y calidad de fabricación.

CONCLUSIÓN

La IA está transformando la industria alimentaria a nivel global, con aplicaciones que prometen revolucionar cada etapa de la cadena de valor, desde la producción agrícola hasta el consumo final. A nivel mundial, la IA está impulsando la eficiencia y sostenibilidad en sistemas de producción masiva, como la agricultura de precisión, el uso de robots y los sistemas de optimización logística. Estas tecnologías están ayudando a mitigar problemas globales como el cambio climático, el desperdicio de alimentos y el acceso desigual a los recursos. Sin embargo, la brecha tecnológica entre países desarrollados y en vías de desarrollo plantea serias cuestiones sobre la equidad, ya que muchas regiones no cuentan con los recursos ni las infraestructuras necesarias para aprovechar estas innovaciones.

En Europa, la IA se está implementando bajo un marco regulatorio que prioriza la sostenibilidad, la privacidad y la ética, como parte de los objetivos del Pacto Verde Europeo. La Unión Europea está promoviendo el uso de tecnologías avanzadas para garantizar una producción alimentaria sostenible, reducir el uso de pesticidas y mejorar la trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro. Sin embargo, la complejidad del marco regulatorio europeo y la lenta adopción en algunas regiones pueden retrasar el despliegue de estas tecnologías, especialmente entre pequeños y medianos productores. A pesar de esto, Europa avanza en proyectos clave que combinan la innovación tecnológica con principios éticos, sentando un precedente mundial en la implementación responsable de la IA.

En España, la integración de la IA en la industria alimentaria está tomando impulso, con iniciativas enfocadas en la digitalización del sector agrícola y ganadero, la mejora de la eficiencia energética en la producción y el fomento de una economía circular. Las zonas agrícolas más productivas del país están incorporando tecnologías como sensores inteligentes, análisis predictivo de cultivos y plataformas digitales para gestionar los recursos hídricos de forma eficiente. Sin embargo, España enfrenta desafíos como la atomización de su industria agroalimentaria, donde predominan pequeñas y medianas empresas que necesitan apoyo financiero y técnico para adoptar estas innovaciones.

Además, la formación de profesionales especializados en tecnologías digitales sigue siendo un reto clave para el país.

En la Región de Murcia, conocida como la “huerta de Europa,” la IA tiene un papel crucial en la modernización del sector agrícola, clave para la economía local. Con una fuerte dependencia del agua y condiciones climáticas cada vez más extremas, los agricultores murcianos están adoptando soluciones basadas en IA para gestionar de manera eficiente el riego, predecir el comportamiento de los cultivos y minimizar los efectos del cambio climático. Empresas tecnológicas locales y universidades están liderando proyectos innovadores en colaboración con agricultores, posicionando a Murcia como un referente en agricultura de precisión. Sin embargo, como en otras partes de España, la falta de acceso equitativo a estas tecnologías y la necesidad de más formación técnica siguen siendo desafíos importantes para garantizar que los beneficios de la IA lleguen a todos los actores de la región.

La IA tiene el potencial de revolucionar la industria alimentaria, ofreciendo beneficios ambientales significativos como la reducción del desperdicio de alimentos, la optimización de recursos y la promoción de prácticas sostenibles. Sin embargo, para maximizar su impacto positivo, es esencial abordar los desafíos asociados con su implementación, como el consumo energético, los residuos electrónicos y los riesgos para la biodiversidad. Políticas que fomenten el uso de energías renovables, el reciclaje tecnológico y la inclusión de pequeños agricultores serán cruciales para garantizar que la transición hacia un sistema alimentario más sostenible sea equitativa y respetuosa con el medio ambiente.

Como hemos visto, la IA está ayudando a la industria alimentaria a ser más eficiente, segura, sostenible y centrada en el consumidor. A medida que esta tecnología continúa evolucionando, no cabe duda de que veremos aún más avances que transformarán este sector vital de maneras que hoy solo comenzamos a imaginar. Como dijo Tran “El futuro de la industria alimentaria está directamente vinculado al progreso de la inteligencia artificial. No es una opción, es una necesidad” (Tran, Y., 2022).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accenture (2023). AI and Food Waste Management: A Global Perspective. <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document-3/Accenture-UNGC-GenAI-Global-Goals-Report.pdf>
- Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). An Overview of Chatbot Technology. In: Maglogiannis, I., Iliadis, L., Pimenidis, E. (eds) Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 584. Springer, Cham.
- Ahmed, S., Khan, M., & Ali, R. (2021). Cybersecurity challenges in AI-driven food supply chains. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 567-579.
- Bagnulo, E., Strocchi, G., Bicchi, C. & Liberto, E. (2024). Industrial food quality and consumer choice: Artificial intelligence-based tools in the chemistry of the sensory notes in comfort foods (coffee, cocoa and tea). *Trends in Food Science & Technology* 104415
- Binns, R. (2018). Fairness in machine learning: Lessons from political philosophy. *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 149-159.
- Bowen, M. (1993). *Family Therapy in Clinical Practice*. Jason Aronson, Inc.
- Brown, A., Smith, J., & Patel, R. (2023). Generative AI in Food Innovation. *Journal of Food Technology*, 58(3), 121-134.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W.W. Norton & Company.
- Bühler Group. (2023). *Advances in Inspection Systems*. https://annualreport.buhlergroup.com/reports/en_23/home.html
- Caicedo B., E.F. & López S., J.A. (2009). *Aproximación práctica a las redes neuronales artificiales*. Universidad del Valle.
- Capgemini (2021). Using AI to feed the world. Developing software to monitor nutritional needs. <https://www.capgemini.com/news/inside-stories/using-ai-to-feed-the-world/>

- Chakravartula S.S.N., Moschetti R., Bedini G., Nardella M., & Massantini R. (2022). Use of convolutional neural network (CNN) combined with FT-NIR spectroscopy to predict food adulteration: A case study on coffee. *Food Control*. 2022;135:108816
- Cheng, Y., Wang, D., Zhou, P. & Zhang, T. (2018). Model Compression and Acceleration for Deep Neural Networks: The Principles, Progress, and Challenges, in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 35, no. 1, pp. 126-136.
- Cinco Días. (2024). Pascual amplía su inversión en startups de alimentación y entra en dos empresas españolas. <https://cincodias.elpais.com>
- Comisión Europea. (2021). Reducing CO2 emissions through artificial intelligence: A focus on food industries. *European Green Deal Reports*, 45, 23-35.
- Cruz, M. F. G., Ye, Y., Gallud, M. F. O., Lázaro, R. J. S., Izquierdo, M. A. Z., Tortosa, P. N., & Gómez, A. S. (2024). Creation of a Digital Twin Based on Microtensiometer Indices (Florapulse), Climatic Variables and Crop Data for Sustainable Production in Stone Fruit Crops. In *2024 4th International Conference on Embedded & Distributed Systems (EDiS)* (pp. 243-248). IEEE.
- Deloitte. (2021). Predictive Maintenance in Food Industry. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/operations/articles/predictive-maintenance-and-the-smart-factory.html>
- Emergen Research. (2024). IA y Big Data en el mercado de la industria alimentaria. <https://www.emergenresearch.com>
- FAO. (2021). *The state of food and agriculture: Food systems transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/items/437c1215-556b-4161-9af6-68163f5a1f84>
- FDA (2022). Guías sobre el uso de IA en la seguridad alimentaria. <https://www.fda.gov>
- FDA. (2020). Artificial Intelligence and Machine Learning in Food Safety and Quality. <https://www.fda.gov/food/new-era-smarter-food-safety>
- Foro Económico Mundial (2023). AI and Sustainability: Challenges and Opportunities. <https://www.weforum.org>.
- Frost & Sullivan. (2023). Logistics Optimization through AI. <https://store.frost.com/growth-opportunities-for-artificial-intelligence-in-the-public-cloud-2023.html>

- García-Molina, J., Torres-Sánchez, J., & Crespo, J. (2020). Artificial intelligence in quality control of agricultural products. *Journal of Food Engineering*, 283, 110-119.
- Garnett, T., Roos, E., & Little, D. (2019). Biodiversity and sustainable diets: The role of agriculture. *Food Policy Journal*, 45(4), 77-92.
- Gauthier, A. (2022). Sustainability and Waste Reduction through AI in Food Production. *Environmental Technology & Innovation*, 9(2), 74-85.
- Gómez, P., Martínez, R., & López, A. (2019). Big Data and consumer personalization: Applications in Spanish food e-commerce. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 47(12), 1234-124
- Gupta, H., & Sharma, V. (2021). Artificial Intelligence in Dairy Farming: A Review. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 8(6), 336-342.
- Gupta, R., & Yadav, R. (2020). Applications of Artificial Intelligence in Dairy Industry. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 9(8), 25-30.
- HealthTech Magazine (2025). Predictive nutrition: How AI will revolutionize personalized health and diet. <https://www.healthtechdigital.com/health-tech-innovations-to-watch-in-2025-ai-personalisation-and-predictive-care/>
- Huang, J., Zhang, M., & Fang, Z. (2023). Perspectives on novel technologies of processing and monitoring the safety and quality of prepared food products. *Foods*, 12(16), 3052.
- Huang, J., Zhang, M., S. Mujumdar A. & Li. C. (2025). AI-based processing of future prepared foods: Progress and prospects. *Food Research International*, 201:115675
- IBM. (2023). IBM Food Trust and the future of food traceability. IBM Corporation. <https://newsroom.ibm.com/2020-11-11-IBM-Food-Trust-Delivers-Traceability-Quality-Assurance-to-Major-Olive-Oil-Brands-with-Blockchain>
- Impossible Foods. (2023). Innovations in Plant-Based Food Design. <https://impossiblefoods.com/media/news-releases/impossible-foods-launches-new-brand-identity-and-packaging>
- Jones, L., & Patel, M. (2023). Predictive Analysis in Food Safety. *Food Safety Science*, 39(4), 215-230.

- Jones, P., Taylor, R., & Wang, Y. (2022). The carbon footprint of AI: Challenges and opportunities. *Environmental Research Letters*, 17(5), 045002
- Lee, P., Bubeck, S., & Petro, J. (2023). Benefits, Limits, and Risks of GPT-4 as a chatbot for Medicine. *New England Journal Medicina*. 30;388(13):1233-1239.
- Lee A., Park S., Yoo J., Kang J., Lim J., Seo Y., Kim B., & Kim G. (2021). Detecting Bacterial Biofilms Using Fluorescence Hyperspectral Imaging and Various Discriminant Analyses. *Sensors*. 2021;21:2213.
- Liu N., Bouzembrak Y., Van den Bulk L.M., Gavai A., van den Heuvel L.J., & Marvin H.J. (2022). Automated food safety early warning system in the dairy supply chain using machine learning. *Food Control*. 2022;136:108872. .
- López-Andreu, F. J., López-Morales, J. A., Erena, M., Skarmeta, A. F., & Martínez, J. A. (2022). Monitoring system for the management of the common agricultural policy using machine learning and remote sensing. *Electronics*, 11(3), 325.
- López-Morales, J. A., Martínez, J. A., Caro, M., Erena, M., & Skarmeta, A. F. (2021). Climate-aware and IdC-enabled selection of the most suitable stone fruit tree variety. *Sensors*, 21(11), 3867.
- Li, S., Tian, Y., Jiang, P., Lin, Y., Liu, X. & Hang, H. (2021). Recent advances in the application of metabolomics for safety control and food quality analyses. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 61, 1448-1469.
- Márquez. P-R., Reed, J.N., García, C.L. & Robledo, I. (2022). IA en la industria alimentaria. *Revista Electro*, 44, 225-229.
- Marvin, H. J. P., Bouzembrak, Y., van der Fels-Klerx, H. J., Kempenaar, C., Veerkamp, R., Chauhan, A., Stroosnijder, S., Top, J., Simsek-Senel, G., Vrolijk, H., Knibbe, W. J., Zhang, L., Boom, R., & Tekinerdogan, B. (2022). Digitalisation and artificial intelligence for sustainable food systems. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 344–348.
- Mbassegue, P., Escandon-Quintanilla, M. L., & Gardoni, M. (2016). Knowledge management and Big Data: Opportunities and challenges for small and medium enterprises (SME). In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 22-31). Springer, Cham.
- McKinsey & Company. (2023). Economic Impact of AI in Food Industry. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>

- Mehrabi, N., Morstatter, F., Saxena, N., Lerman, K., & Galstyan, A. (2021). A survey on bias and fairness in machine learning. *ACM Computing Surveys*, 54(6), 1-35.
- Miller, J.A.D. (2021). Personalizing Food: The Influence of AI on Consumer Preferences. *Journal of AI and Consumer Behavior*, 12(4), 56-68.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). *Estudio sobre la digitalización en el sector agroalimentario*. <https://www.mapa.gob.es>
- MIT Technology Review (2024). Brain-computer interfaces and the future of smart food experiences <https://www.technologyreview.com/magazines/the-food-issue-24/>
- Mordor Intelligence. (2024). Artificial Intelligence in Food and Beverages Market. <https://www.mordorintelligence.com>
- Nature BIdCechnology* (2025). Lab-grown food: The role of AI in cellular agriculture. <https://www.nature.com/research-intelligence/agricultural-bIdCechnology>
- Nestle moving towards AI-driven Business | MirrorReview. *Mirror Review*, <https://www.mirrorreview.com/nestle-usa-moving-towards-ai-driven-business/>.
- OCDE. (2020). Artificial Intelligence in the Food Industry: Ethics and Governance. <https://www.oecd.org/en/topics/artificial-intelligence.html>
- Pan, L., Li, C., Pouyanfar, S., Chen, R., & Zhou, Y. (2020). A novel combinational convolutional neural network for automatic food-ingredient classification. *Computers, Materials & Continua*, 62(2), 731–746.
- Parrott A, &Warshaw L. Industry 4.0 and the digital twin: manufacturing meets its match. Dallas: Deloitte University Press; 2017
- Patterson, D., Charles, L., & Kim, S. (2021). Energy consumption in machine learning: A lifecycle analysis. *AI Sustainability Review*, 9(3), 65-80.
- PepsiCo. (2023). Predictive Analytics in Beverage Production. <https://aimresearch.co/generative-ai/how-pepsico-utilizes-generative-ai-to-drive-innovation-and-efficiency>
- Pérez, J., & Martínez, F. (2019). Artificial Intelligence in Animal Health Monitoring. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 4156-4163.
- Reglamento (UE) 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la

legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria.

Reglamento (UE) 2018/1725 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2018, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales por las instituciones, órganos y organismos de la Unión, y a la libre circulación de esos datos, y por el que se derogan el Reglamento (CE) n.º 45/2001 y la Decisión n.º 1247/2002/CE (DO L 295 de 21.11.2018, pp. 39-98).

Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de IAY por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 300/2008, (UE) n.º 167/2013, (UE) n.º 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 y (UE) 2019/2144 y las Directivas 2014/90/UE, (UE) 2016/797 y (UE) 2020/1828 (Reglamento de Inteligencia Artificial).

Robotics Business Review (2024). Robots and AI in food processing: The future of automation in the food industry. <https://www.roboticstomorrow.com/article/2024/08/food-robotics-transforming-the-future-of-food-processing/23024>

Rufepa Tecnoagro. <https://www.rufepa.com/invernadero/noticias/51/nuevo-proyecto-de-i-d-edén.html>

Sarewitz, D. (2018). Ensuring Safety: The Role of AI in the Food Sector. *Technology and Society*, 32(1), 15-29.

Siemens. (2023). Case Study: Digital Twins in Dairy Processing. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b55626d4febeb4b63f0a2e78b12115722f-7dd6a5/version:1516981069/vrfb-b10009-00-7600-dairy-industry-en.pdf>

Singh, A., & Kumar, P. (2022). Artificial Intelligence and Machine Learning in Dairy Supply Chain Management. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 12(4), 51-57.

Singh, P., Gupta, R., & Sharma, A. (2022). Barriers to AI adoption in small food enterprises: A systematic review. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1234-1245.

- Schulz, J., & Sforzin, V. (2023). China y la ética de la “prosperidad común” en la inteligencia artificial. Question 3(76), Artículo e855. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.17196/pr.17196.pdf
- Smith, A., Brown, P., & Davis, R. (2019). Optimizing Food Logistics with AI. *International Journal of Food Supply Chain Management*.
- Smith, A., Johnson, B., & Lee, K. (2020). Precision agriculture and its role in sustainable food systems. *Journal of Agricultural Technology*, 35(2), 115-130.
- Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2020). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*.
- Sweetgreen. (2023). Sweetgreen automated kitchen concept improves retention, margins Sweetgreen Insights. <https://www.restaurantdive.com/news/sweetgreen-automated-kitchen-higher-margins-sales-labor-retention/723863/>
- Tao, F., Qi, Q., Wang, L. & Nee, A.Y.V. (2019). Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0, *Engineering*, Volume 5, Issue 4, 2019
- Tetra Pak. (2022). Energy Efficiency with Deep Learning. <https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/factory-sustainable-solutions/energy>
- The Food Tech. (2024). *La influencia de la IA en la transformación de la industria alimentaria*. <https://thefoodtech.com>
- Tomra Food. (2022). Report on Hyperspectral Imaging for Food Processing. https://www.tomra.com/-/media/project/tomra/tomra/investor-relations/annual-reports/tomra-annual-report-2021_double-page.pdf
- Tran, Y. (2022). The Future of Food: AI as a Driving Force in the Industry. *Food Technology & AI Review*, 27(5), 22-34.
- Trovera (2025). Blockchain Food Traceability: Enhancing Transparency and Safety. <https://www.dock.io/post/blockchain-food-traceability>
- Tyson Foods. (2022). Machine Learning in Food Texture Optimization. <https://thefeed.blog/2023/11/14/future-of-food-ai-artificial-intelligence-food-industry>
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). “Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges.” *Biosystems Engineering*, 164, 31-48.

- UNESCO (2021). Recomendaciones éticas sobre la inteligencia artificial. <https://unesco.org/artificial-intelligence>
- Unilever. (2022). Sustainable food production through AI. Unilever Annual Sustainability Report. <https://www.unilever.com/sustainability/responsible-business/reporting-archive>
- Walmart. (2021). *Blockchain and AI in food safety*. Walmart Technology Review. https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/blockchain-in-the-food-supply-chain.html
- Yadav, R., & Gupta, M. (2020). Electronic waste management in the era of IdC and AI. *Journal of Environmental Technology*, 12(3), 213-229.
- Wang, Z. (2022). Maintenance Optimization in Food Plants. *Industrial Automation Quarterly*, 39(3), 34-47.
- Zamora, M.A., Santa, J., Martínez, J.A., Martínez, V. & Skarmeta, A., (2019). Smart farming IdC platform based on edge and cloud computing. *Biosystems Engineering*, 177, 4-17,
- Zhang, X. (2019). Neural Networks for Dairy Product Safety. *Food Quality Assurance Review*, 28(6), 335-342.

