Reflexiones sobre la inteligencia artificial en la industria alimentaria

Reflections on artificial intelligence in the food industry

Carlos Alberto Campos-Bravo*; Alfonsina Núñez-Hernández; Zoila Gómez-Cruz; Salvador Hernández-Macías

Departamento de Salud Pública, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez N° 2100. Las Agujas, Zapopan, Jalisco, C.P. 45200. *Correo-e: carlos.cbravo@academicos.udg.mx

Recibido: 30/jul/2024 Aceptado: 30/sep/2024 // https://doi.org/10.32870/rayca.v5i5.99

ID 1er Autor: *Carlos Alberto Campos-Bravo* / **ORC ID**: 0000-0002-3981-5608
ID 1er Coautor: *Alfonsina Núñez-Hernández* / **ORC ID**: 0000-0002-5849-7676
ID 2do Coautor: *Zoila Gómez-Cruz* / **ORC ID**: 0000-0002-1758-9945
ID 3er Coautor: *Salvador Hernández-Macías* / **ORC ID**: 0000-0002-4640-2342

Resumen

La Inteligencia Artificial (IA) se aplica en diversas situaciones de la vida diaria. El objetivo de la presente revisión es mostrar el amplio panorama actual respecto a las implicaciones del uso de la IA respecto a la industria alimentaria. Para lo cual es necesario un marco normativo que ya existe en lo general en Organismos Internacionales y en países como México, Chile, Estados Unidos, China y la Unión Europea. Hay que tomar en cuenta que el empleo de esta tecnología tiene impacto directo e indirecto en el medio ambiente a través de la industria alimentaria, en la cual sus usos abarcan, pero no se limitan a: inocuidad/salud, optimización de la cadena de suministro, manufactura/control de calidad, administración pública y servicios, producción sostenible y personalización de la experiencia del consumidor/ desarrollo de nuevos productos. La inteligencia artificial está revolucionando la industria alimentaria, contribuyendo a mejorar la eficiencia, la calidad y la inocuidad de los productos alimentarios a nivel mundial. Se requiere legislación específica para el uso de esta tecnología en la industria alimentaria.

Palabras clave: Alimentos, tecnología, inteligencia artificial.

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is applied in various situations of daily life. The objective of this review is to show the broad current panorama regarding the implications of the use of AI with respect to the food industry. For which a regulatory framework is necessary that generally already exists in International Organizations and in countries such as Mexico, Chile, the United States, China and the European Union. It must be taken into account that the use of this technology has a direct and indirect impact on the environment through the food industry, in which its uses include, but are not limited to: safety/health, supply chain optimization, manufacturing/quality control, public administration and services, sustainnable production and personalization of the consumer experience/development of new products. Artificial intelligence is revolutionizing the food industry, helping to improve the efficiency, quality and safety of food products worldwide. Specific legislation is required for the use of this technology in the food industry.

Keywords: Food, technology, artificial intelligence.

Introducción

De acuerdo a la Real Academia Española (RAE), la inteligencia artificial (IA), se define como: "disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico" (RAE, 2024).

Muy similar a la definición de la Unión Europea (UE): "la habilidad de una máquina de presentar las mismas capacidades que los seres humanos, como el razonamiento, el aprendizaje, la creatividad y la capacidad de planear", la UE la considera una prioridad dentro de sus políticas (Parlamento Europeo [PE], 2020).

Al explorar aspectos intrínsecos asociados a la IA, se menciona que: "es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano" (Bidyalakshmi et al., 2024 Rouhiainen, 2018).

Desde hace más de 60 años datan los antecedentes de la IA, aunque es en años recientes cuando se han presentado los cambios tecnológicos más evidentes para el público en general, debido a la gran cantidad de datos disponibles y a la generación de nuevos algoritmos más complejos y con mayores alcances. Con la IA se pretende transformar casi todos los aspectos de la vida y la economía (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2022; PE, 2020).

La IA se aplica en diversas situaciones. Algunos usos aun cuando no son detectados por los usuarios, están presentes en el día a día y están creciendo rápidamente en la actualidad, por ejemplo a través de las compras por internet, la publicidad que se recibe en el correo electrónico o en los teléfonos celulares, distribución de contenido en las redes sociales, las búsquedas en la web, los asistentes personales digitales en los teléfonos móviles, las traducciones automáticas, el ahorro de energía en casas, algunas funciones de seguridad en los vehículos (que cada vez se amplía más en los vehículos autónomos), la ciberseguridad, la lucha contra la desinformación (a través de la detección de noticias falsas), e incluso en épocas recientes para luchar contra el Covid-19 (termosensores y tomografías computarizadas), mejoras del desempeño de la estrategia algorítmica comercial, implementada en el sector financiero, detección y clasificación de objetos (tiene potencial para muchos campos), la protección contra amenazas de seguridad cibernética (es una herramienta importante para los bancos y los sistemas que envían y reciben pagos en línea) (PE, 2020; Rouhiainen, 2018).

Lo anterior también tiene implicaciones en la industria alimentaria además de que el uso de esta tecnología está presente a través de los aparatos que son capaces de recibir información del entorno y de esta manera relacionarse con él, para resolver problemas o actuar con un fin específico de acuerdo a cada situación presentada.

El dispositivo tecnológico puede recibir datos proveídos por los humanos o por medio de sus sensores (cámaras o termómetros), los procesa y emite una respuesta. En lo general la IA puede analizar los datos recabados y almacenarlos e ir adaptando sus respuestas trabajando autónomamente (PE, 2020; Rouhiainen, 2018). Es decir, detecta patrones en los datos, tales como anomalías y/o similitudes, y utiliza ese conocimiento histórico para predecir con precisión los resultados futuros (United Nations, 2024).

De acuerdo a la Comisión Europea, la IA puede presentarse como: software (asistentes virtuales, software de análisis de imágenes,

motores de búsqueda, sistemas de reconocimiento de voz y rostro), o como IA integrada (robots, drones, vehículos autónomos, internet de las cosas) (PE, 2020).

Una de las grandes ventajas de la IA con respecto a los humanos, es el procesamiento de una gran cantidad de información en lapsos de tiempo relativamente cortos, con menor probabilidad de errores que el humano (dependiendo de la programación) y sin cansancio (Rouhiainen, 2018), lo cual representa un atributo muy útil en la industria de los alimentos. Pero el gran crecimiento de la IA también obliga a estar atentos para prevenir y analizar las posibles desventajas directas o indirectas que pueda generar su proliferación, lo cual puede ser acotado por medio del marco normativo.

El objetivo de la presente revisión es mostrar el amplio panorama actual respecto a las implicaciones del uso de la IA en la industria alimentaria.

Legislación respecto a la IA

De acuerdo a la UNESCO (2022), el empleo de la IA, "influye en el pensamiento, las interacciones y la adopción de decisiones de los seres humanos y afecta a la educación, las ciencias sociales y humanas, las ciencias exactas y naturales, la cultura, la comunicación y la información".

Sin duda sus beneficios son enormes y representan un cambio importante en los paradigmas de nuestra sociedad, pero, por otro lado, los riesgos también están latentes como en todas las actividades humanas si no se legisla adecuadamente. Lo anterior tiene repercusiones en todos los ámbitos productovos, de lo cual no puede sustraerse la industria alimentaria.

Es por eso que resulta indispensable emitir leyes, reglamentos y normas sobre IA, orientadas a preservar el bienestar de los seres vivos y por lo tanto del planeta mismo. Lo cual plantea posibles escenarios de desigualdad por mejorar la calidad de vida de unos cuantos seres humanos y el consiguiente deterioro de otros muchos (Salazar y Pruneda, 2023; UNESCO, 2022), y a su vez esto está asociado a los entornos en el que se desenvuelven, teniendo impactos que posiblemente ampliarían la brecha, por lo que las implicaciones ético-morales, son ineludibles.

El uso de las nuevas tecnologías plantea también el asunto de los derechos fundamentales, lo cual involucra desde el punto de vista jurídico: libertad de expresión, privacidad, protección de datos, no discriminación, el debido proceso, seguridad y valores democráticos (Chavan et al., 2024; Salazar y Pruneda, 2023; UNESCO, 2022). Otro aspecto importante a considerar es que las tecnologías de la IA pueden ser beneficiosas para el medio ambiente y los ecosistemas, sin embargo, deben tenerse en cuenta, los probables daños y/o repercusiones negativas que pudieran ocasionar en esos entornos (Chavan et al., 2024; UNESCO, 2022).

En junio de 2018, la ONU organizó el tercer Foro de Ciencia, Tecnología e Innovación para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), encabezado por Japón y México. En el cual se abordó el tema del impacto de los rápidos cambios tecnológicos en los ODS, en particular aquellos asociados a la IA (Loyola, 2023).

El 23 de noviembre del 2021, la UNESCO, emite el primer Acuerdo Mundial sobre la Ética de la Inteligencia Artificial, el cual fue aprobado por los 193 estados miembros y es de adopción voluntaria (UNESCO, 2022).

Existen importantes antecedentes en este rubro a nivel internacional, por ejemplo: la

"Orden Ejecutiva para el Desarrollo Seguro, Protegido y Confiable de la Inteligencia Artificial" publicada por los Estados Unidos de América (Biden, 2023). La "Ley de Inteligencia Artificial" propuesta en la UE (European Commission [EC], 2024; PE, 2023). El proyecto de ley para regular la inteligencia artificial en Chile (Roberts, 2024) y la normativa China (Embajada de la República Popular China, 2023).

En México se ha abordado en diferentes documentos con carácter oficial el tema de la IA, a continuación, se mencionan algunos de los aspectos más relevantes. México fue uno de los primeros países en la ONU, en alertar sobre la importancia de la IA, ya que, en 2017 presentó las resoluciones 72/242 y 73/17, iniciando así un debate internacional sobre el impacto global de la IA (Loyola, 2023).

En marzo de 2018 se publicó el informe: "*Hacia una estrategia de IA en México: aprovechando la revolución de la IA"*, elaborado por expertos ingleses y mexicanos (Loyola, 2023; Salazar y Pruneda, 2023). El 23 de mayo de 2018, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) creó el Consorcio en Inteligencia Artificial, cuyo objetivo se centra en "articular un grupo de investigación interdisciplinario en el campo de la IA, para beneficio de la sociedad mexicana" (Loyola, 2023).

El 30 de marzo de 2023, se presentó al pleno en la Cámara de Diputados la "iniciativa que expide la ley para la regulación ética de la inteligencia artificial y la robótica para los Estados Unidos Mexicanos" (Loyola, 2023).

El 02 de abril de 2024, se expidió la «Ley Federal que Regula la Inteligencia Artificial». Algunos puntos destacables, son: a) Prevé aplicación extraterritorial de la ley; b) La autoridad reguladora será el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT); c) Propone la creación de una Comisión Nacional de Inteligencia Artificial, como órgano consultivo del IFT, y conformada por científicos; d) Propone clasificar a los Sistemas de Inteligencia Artificial atendiendo a los riesgos que se puedan generar, de manera similar como lo establece la normativa de la UE, las clasificaciones de riesgo son: «Riesgo Inaceptable», «Alto Riesgo» y «Bajo Riesgo»; e) Se requerirá autorización previa del IFT para comercializar Sistemas de IA en México, incluso si son gratuitos; f) Prevé multas de hasta el 10% de los ingresos anuales para los infractores (Sistema de Información Legislativa [SIL], 2024).

Impacto al medio ambiente por el uso de IA

La expectativa es grande respecto a que la IA ayude a disminuir la emergencia mundial respecto a la situación del medio ambiente, por ejemplo, a vigilar las emisiones de metano (uno de los principales gases de efecto invernadero), no obstante, es necesario asegurarse de que el efecto tenga un balance positivo, antes de su implementación a escala masiva en los sistemas productivos alimentarios y no alimentarios (Programa de las Naciones Unidas para para el Medio Ambiente [PNUMA], 2024).

Algunos de los efectos negativos detectados tienen relación no solo con la propia tecnología, sino con toda la infraestructura asociada (PNUMA, 2024; United Nations, 2024; United Nations Environment Programme [UNEP], 2024a; UNEP, 2024b):

1. El número de centros de procesamiento de datos a aumentado de 500 000 en 2012 a 8 millones en la actualidad, la mayoría impulsados por la IA, estos servidores producen desechos de equipos eléctricos y electrónicos, fabricar una computadora de 2 kg requiere 800 kg de materias primas, que

contienen metales pesados como mercurio y plomo.

2. Consumen gran cantidad de agua para su construcción y para el enfriamiento de los componentes eléctricos cuando están en funcionamiento. La infraestructura relacionada con la IA pronto podría consumir seis veces más agua que Dinamarca, un país de 6 millones de habitantes, lo cual se constituye en un gran problema dado que una cuarta parte la población mundial no tiene actualmente acceso a agua potable y saneamiento.

3. Dependen de minerales críticos y raros para fabricar los microchips, que se extraen de manera insostenible para el medio ambiente.

4. Utilizan grandes cantidades de electricidad que provienen frecuentemente de la quema de combustibles fósiles, por lo que se emiten gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento del planeta. Como ejemplo: Una pregunta realizada en ChatGPT®, consume 10 veces la electricidad que una búsqueda en Google®.

Con el objetivo de reducir el impacto por el uso de la IA, el PNUMA (2024), recomienda cinco áreas de acción:

1. Establecer procedimientos normalizados para medir el impacto ambiental de la IA.

2. Elaborar reglamentos que exijan a las empresas que divulguen las consecuencias ambientales directas de los productos y servicios basados en la IA.

3. Las empresas tecnológicas pueden hacer que los algoritmos de IA sean más eficientes, reduciendo su demanda de energía, al tiempo que reciclan el agua y reutilizan los componentes cuando sea posible.

4. Los países pueden alentar a las empresas a que sus centros de datos sean más ecológicos, incluso mediante el uso de energías renovables y la compensación de sus emisiones de carbono.

5. Los países pueden integrar sus políticas relacionadas con la IA en sus normativas medioambientales más amplias.

Sin duda la industria alimentaria por la naturaleza de sus operaciones tiene impacto directo sobre el medio ambiente y por lo tanto sobre los ecosistemas, por lo que el uso de IA potencialmente puede contribuir a reducir o minimizar dicho efecto, sobre todo si se introducen como políticas o se establecen como Programas Prerrequisito enmarcados en la Responsabilidad Social Empresarial, las cinco áreas de acción mencionadas anteriormente, sin embargo, hay que tener en cuenta, que por sí solo el uso de IA (independientemente del área en la que se aplique), tiene un elevado factor de impacto en el medio ambiente, dado que su uso en esta industria se ha ido diversificando en los últimos años, por lo tanto son riesgos añadidos por duplicado al equilibrio de los ecosistemas.

La IA en la industria alimentaria

La IA está transformando la industria alimentaria en diversos aspectos y momentos dentro de las cadenas productivas, por ejemplo: salud, optimización de la cadena de suministro y de los procesos unitarios, administración pública, servicios, mejora de productos y asegurando la inocuidad alimentaria. A continuación, se presentan algunos de sus usos más destacados en este sector.

Inocuidad / Salud

La IA ayuda a vigilar la cadena alimentaria de suministros, identificando riesgos potenciales y asegurando que los productos cumplan con las normativas, puede mejorar la trazabilidad y la inocuidad de los productos, mediante protocolos de higiene y desinfección. Empleando herramientas de IA para la detección temprana de la contaminación protocolos de vigilancia, apps de inspección, descontaminación basada en luz que puede mejorar la evaluación de riesgos. (Chavan et al., 2024; Zatsu et al., 2024).

Los investigadores estudian cómo usar la IA para el procesamiento y análisis eficiente y escalable de grandes cantidades de datos de pacientes relacionados con la salud para encontrar patrones que podrían llevar a nuevos descubrimientos en la medicina y a otras formas de mejorar los diagnósticos individuales, lo cual está relacionado, entre otros, con las enfermedades transmitidas por agua y alimentos (ETA), y ayudará a que la atención médica sea más efectiva y eficiente (PE, 2020; Rouhiainen, 2018).

Un proyecto cofinanciado por la UE, está desarrollando servicios de búsqueda y texto en varios idiomas que ayuden a las personas a encontrar la información médica más relevante disponible (PE, 2020).

La inocuidad alimentaria es una preocupación crítica en la industria alimentaria, y la IA puede desempeñar un papel crucial en la detección de riesgos. Los algoritmos de esta pueden analizar grandes cantidades de datos para identificar patrones y anomalías que podrían indicar problemas relacionados con la contaminación (Awasthi, 2024; Chavan et al., 2024; Zatsu et al., 2024). Esto permite una respuesta más rápida y efectiva ante posibles crisis alimentarias.

La IA puede sugerir con base en las características del alimento las condiciones óptimas de almacenamiento y transporte, por ejemplo, respecto a temperatura y humedad (Awasthi, 2024; Zatsu et al., 2024)

La IA también mejora la trazabilidad en la cadena de suministro, lo que es esencial para alcanzar la seguridad alimentaria (abasto, disponibilidad, nutrición e inocuidad). Mediante el uso de tecnologías como *blockchain*, las empresas pueden rastrear el origen de los alimentos y asegurar que cumplan con los estándares de calidad (Awasthi, 2024; Chavan et al., 2024; Zhang et al., 2024).

Optimización de la cadena de suministro

La IA puede ayudar a funciones generales o partes específicas de la cadena de suministro, que incluyen, pero no se limitan a planificación, abastecimiento, fabricación, entrega y devolución (Awasthi, 2024; Yadav et al., 2024; Zhang et al., 2024).

Podría mejorar la seguridad, velocidad y eficiencia del tránsito de vehículos al minimizar la fricción de las ruedas, maximizar la velocidad y permitir la conducción autónoma (Awasthi, 2024; PE, 2020).

Lo cual se complementa con el uso de procedimientos más eficientes para optimizar rutas de distribución y minimizar costos, mejorando la eficiencia en la entrega de alimentos y bebidas, ya que la IA se utiliza para predecir la tendencia en la demanda y optimizar la gestión logística, situación que puede contribuir a reducir el desperdicio de alimentos y mejorar la eficiencia (Awasthi, 2024; Yadav et al., 2024).

De acuerdo al estudio de Calle García et al. (2024), la implementación de algoritmos de IA en la gestión de la cadena de sumi-

nistro puede reducir los niveles de inventario entre 20 y 30 %, y mejorar la precisión de las previsiones de demanda entre 15 y 20 %.

Manufactura / Control de Calidad

La IA puede ayudar a que los productores sean más eficientes, optimizar los recorridos de ventas o con predicciones puntuales del mantenimiento necesario en "fábricas inteligentes". Además, se pueden detectar problemas de calidad analizando datos históricos de la producción y recomendar medidas correctivas con base en causas-raíz y planear el mantenimiento preventivo de los equipos (Awasthi, 2024; PE, 2020; Zatsu et al., 2024).

Complementado lo anterior, se puede utilizar para asegurar la conformidad respecto a la normatividad y estándares de calidad e inocuidad, al incorporar protocolos de seguridad alimentaria, o de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) (Zatsu et al., 2024).

El proyecto de investigación denominado "*SatisFactory*" cofinanciado por la UE, usa sistemas colaborativos de realidad aumentada para incrementar la satisfacción en el trabajo en este tipo de fábricas (PE, 2020), que combinados con el sistema de gestión harían más eficientes los procesos en la industria alimentaria.

La IA se utiliza para inspeccionar productos alimenticios e identificar defectos o contaminantes, los sistemas de visión por computadora basados en IA pueden identificar productos defectuosos con una precisión superior a la de los inspectores humanos (Zhang et al., 2024; Zatsu et al., 2024).

Administración pública y servicios

Al usar enormes cantidades de datos y reconocer patrones, la IA podría prever desastres naturales, permitir una preparación adecuada y reducir sus consecuencias (PE, 2020), en dichas circunstancias la provisión de agua y alimentos es indispensable, asociado a un programa de prevención de ETA.

También se ha implementado el reconocimiento de imágenes estáticas, clasificación y etiquetado, lo cual es de mucha utilidad en una amplia gama de industrias alimentarias. Así como en el área del mantenimiento predictivo, un componente imprescindible en los sistemas de gestión de la calidad e inocuidad de los bienes de consumo alimentario (Rouhiainen, 2018).

Las tecnologías de IA, como el aprendizaje automático para el control de calidad, se aplican para una detección más rápida y precisa de defectos en los productos alimentarios durante la producción, asegurando estándares de calidad más altos (Chavan et al., 2024; Bidyalakshmi et al., 2024; Zatsu et al., 2024).

La IA también está transformando el procesamiento de alimentos. Las tecnologías de visión por computadora y aprendizaje profundo se utilizan para mejorar la calidad de los productos alimentarios. Por ejemplo, las empresas pueden implementar sistemas de clasificación automatizados que utilizan cámaras y algoritmos de IA para identificar y clasificar productos defectuosos, lo que mejora la calidad y reduce el desperdicio (Bidyalakshmi et al., 2024; Zatsu et al., 2024).

Producción sostenible de alimentos

Las perspectivas del uso de la IA son prometedoras en la industria alimentaria, puede usarse para construir un sistema alimentario

sostenible, podría contribuir al aprovisionamiento de alimentos inocuos y de calidad al minimizar el uso de fertilizantes y pesticidas y el empleo de sistemas de riego más eficientes, orientados a mejorar la productividad y reducir el impacto medioambiental. Además, los robots podrían quitar las malas hierbas y reducir el uso de herbicidas. Existen granjeros europeos que usan la IA para controlar el movimiento, la temperatura y el consumo de alimentos de sus ganados (Bidyalakshmi et al., 2024; PE, 2020).

Uno de los usos más significativos de la IA en la industria alimentaria es su aplicación en la producción agrícola. A través de técnicas como el análisis de datos y el aprendizaje automático, los agricultores pueden prever rendimientos y optimizar el uso de recursos. La IA permite a los agricultores analizar datos climáticos y del suelo para tomar decisiones más informadas sobre la siembra y la cosecha. Esto se traduce en una reducción de costos y un aumento en la eficiencia (Bidyalakshmi et al., 2024; Eli-Chukwu, 2019).

Los drones equipados con tecnología de IA son herramientas valiosas en la agricultura moderna. Estos dispositivos pueden recopilar datos en tiempo real sobre el estado de los cultivos, identificar plagas y enfermedades, y monitorear el crecimiento de las plantas (Liakos et al., 2018). Esto no solo mejora la producción, sino que también ayuda a minimizar el uso de pesticidas y fertilizantes, contribuyendo a una agricultura más sostenible (Bidyalakshmi, et al., 2024; Eli-Chukwu, 2019).

La automatización impulsada por IA en las líneas de producción permite a las empresas optimizar sus procesos. Los robots pueden realizar tareas repetitivas con alta precisión, lo que no solo aumenta la eficiencia, sino que también reduce el riesgo de errores humanos. Según un informe de McKinsey & Company (2019), la automatización de procesos en la industria alimentaria podría aumentar la productividad en un 20-30%.

En cuanto a la optimización de la producción agrícola, la IA se emplea para analizar datos de cultivos y prever rendimientos, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el cultivo y la optimización del manejo y uso de recursos como agua y fertilizantes. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también reduce el impacto ambiental al optimizar el uso de recursos, lo que lleva a una agricultura más sostenible (Bidyalakshmi, et al. 2024; Eli-Chukwu, 2019; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018; Liakos et al., 2018; Singh y Kaur, 2022).

Personalización de la experiencia del consumidor / Desarrollo de nuevos productos

Las empresas pueden utilizar IA para analizar las preferencias de los consumidores y de esa manera ofrecerles recomendaciones personalizadas o personalizar productos y servicios, lo que mejora la experiencia de compra, aumenta la satisfacción del cliente y por lo tanto las ventas, así como el desarrollo de nuevos productos de acuerdo a los datos que arrojan los análisis de mercado (Huang & Rust, 2018; Zatsu et al., 2024).

Se puede utilizar en evaluaciones sensoriales de textura, sabor (lengua electrónica) y apariencia, color, olor (nariz electrónica) e incluso pH, integrando retroalimentación subjetiva de los paneles en datos cuantificables para el desarrollo de nuevos productos o mantener la calidad de los existentes (Zatsu et al., 2024).

Expectativas del uso de la IA en la industria alimentaria

Sin duda, seguirán desarrollándose nuevas metodologías basadas en el uso de IA orientadas a mejorar el abordaje actual o a solucionar los retos presentes y futuros a lo largo de la cadena alimentaria, con estrategias específicas para cada uno de sus eslabones, continuando con su potencial transformador y cuidando a través de la vigilancia de la aplicación de la legislación los aspectos ético-morales, de sostenibilidad y de cuidado del medio ambiente.

El futuro de la IA en el sector alimentario requiere del apoyo de la investigación y el desarrollo continuos y la colaboración interdisciplinaria para asegurar una adopción responsable, informada y ética conforme el campo se vaya desarrollando (Bidyalakshmi et al., 2024; Zatsu et al., 2024).

Algunas áreas en las que se continúa trabajando la aplicación de la IA, son: Monitoreo medioambiental, empaques sostenibles, etiquetas inteligentes asociadas a la optimización de la vida de anaquel, detección de fraudes, optimización en el consumo de energía e integración de energías renovables, formulación de nuevos productos bajo la perspectiva nutricional y nutrición personalizada, entre otras (Zatsu et al., 2024).

La IA tiene el potencial de mejorar significativamente la eficiencia, seguridad y sostenibilidad del sistema alimentario mundial actual y sus demandas futuras. Una industria más coherente y operativamente eficiente pueden ser el resultado de la adopción responsable de esta tecnología (Zatsu et al., 2024).

Conclusiones

1. La inteligencia artificial está revolucionando la industria alimentaria, contribuyendo a mejorar la eficiencia, la calidad y la inocuidad de los productos alimentarios a nivel mundial.

2. Se requiere legislación específica para el uso de esta tecnología en la industria alimentaria.

3. El impacto de la IA sobre el medio ambiente debe ser un tema primordial en el uso y desarrollo de este tipo de tecnologías.

Referencias

Awasthi, S. (2024). Artificial Intelligence in Supply Chain Management. *Journal of student research*, *13*(1), 1-7. https://doi.org/10.47611/jsrhs.v13i1.5996

Biden, J.R. (october 30, 2023). Executive Order on the Safe, Secure, and Trustworthy Development and Use of Artificial Intelligence. The White House. https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2023/10/30/executive-order-on-the-safe-secure-and-trustworthy-development-and-use-of-artificial-intelligence/

Bidyalakshmi, T., Jyoti, B., Mansuri, S.M., Srivastava, A., Mohapatra, D., Kalnar, Y.B., Narsaiah, K.& Indore, N. (2024). Application of Artificial Intelligence in Food Processing: Current Status and Future Prospects. *Food Engineering Reviews*. https://doi.org/10.1007/s12393-024-09386-2

Calle García, J.S., Pincay Delgado, M.A., Mendoza Pionce, B.S., & Bravo Quijije, G.S. (2024). Uso estratégico de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro empresarial. *Ciencia y Desarrollo*, *27*(2), 267-276. http://dx.doi.org/10.21503/cyd.v27i2.2620

Chavan, Y., Paul, K., & Kolekar, N. (2024). Food Safety and Hygiene: Current Policies, Quality Standards, and Scope of Artificial Intelligence. In: Chakraborty, R., Mathur, P., Roy, S. (Eds.) *Food Production, Diversity, and Safety Under Climate Change. Advances in Science, Technology &*

Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51647-4_26

Eli-Chukwu, N.C. (2019). Applications of Artificial Intelligence in Agriculture: A Review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *9*(4), 4377–4383. https://doi.org/10.48084/etasr.2756

Embajada de la República Popular China. (junio 11, 2023). Iniciativa para la Gobernanza Global de la Inteligencia Artificial. https://gq.china-embassy.gov.cn/esp/zxxx/202311/t20231107_11174897.htm

European Commissión. (2024). AI Act. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai

Huang, M.-H., & Rust, R. T. (2018). Artificial intelligence in service. *Journal of Service Research*, *21*(2), 155-172. https://doi.org/10.1177/1094670517752459

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, *147*, 70-90. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.018

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, *18*(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674

Loyola, V.I. (2023). *Iniciativa que expide la ley para la regulación ética de la inteligencia artificial para los Estados Unidos Mexicanos, suscrita por el diputado Ignacio Loyola Vera y legisladores integrantes del grupo parlamentario del PAN*. Palacio Legislativo de San Lázaro, a 30 de marzo de 2023. http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2023/04/asun_4543395_20230413_1680209417.pdf

McKinsey & Company. (2019). Automation in food and beverage: 3 trends to watch. https://www.mckinsey.com/industries/food-and-beverage/our-insights/automation-in-food-and-beverage-3-trends-to-watch

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2022). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial*. UNESCDOC Biblioteca digital. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa

Parlamento Europeo. (2020). ¿Qué es la inteligencia artificial y cómo se usa? Publicado: 08-09-2020. Última actualización: 26-03-2021. https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa

Parlamento Europeo. (2023). Ley de IA de la UE: primera normativa sobre inteligencia artificial. Publicado: 12-06-2023. Última actualización: 19-06-2024. https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230601STO93804/ley-de-ia-de-la-ue-primera-normativa-sobre-inteligencia-artificial

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente**.** (15 julio 2024). *Un informe prospectivo mundial sobre la salud del planeta y el bienestar humano.* https://www.unep.org/es/resources/global-foresight-report

Real Academia Española. (2024). Inteligencia. Inteligencia artificial. Diccionario de la lengua española. https://dle.rae.es/inteligencia#2DxmhCT

Roberts, M.R. (julio, 2024). *Consulta experta: Proyecto de ley sobre sistemas de Inteligencia Artificial (Boletín 16821-19).* Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Asesoría Técnica Parlamentaria. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/36220/2/Resultado_Consulta_experta_IA___BCN.pdf

Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial 101: cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Planeta. https://proassetspdlcom.cdnstatics2.com/usuaris/libros_contenido/arxius/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf

Salazar, U.P. y Pruneda, G.P. (2023). La regulación de la Inteligencia Artificial en México. *Suplemento Obsidiana: Ciencia y Cultura por México. 1*(2), 18-19. Periódico Reforma.

Singh, P., & Kaur, A. (2022). Chapter 2 - A systematic review of artificial intelligence in agricultura. In Ramesh Chandra Poonia, Vijander Singh, Soumya Ranjan Nayak (Eds.), *Cognitive Data Science in Sustainable Computing, Deep Learning for Sustainable Agriculture* (pp. 57-80). Academic Press.

Sistema de Información Legislativa. (2024). Ley Federal que Regula la Inteligencia Artificial. Gobierno de México.

http://sil.gobernacion.gob.mx/Librerias/pp_ContenidoAsuntos.php?SID=da50379055d2759108e785b11976eaf9&Clave=4729480

United Nations. (2024). *2024 Digital economy report. Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future. United Nations Trade And Development*. United Nations Publications. https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2024

United Nations Environment Programme. (july 21, 2024a). *Navigating New Horizons: A global foresight report on planetary health and human wellbeing*. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/45890

United Nations Environment Programme. (september 21, 2024b). *Artificial Intelligence (AI) end-to-end: The Environmental Impact of the Full AI Lifecycle Needs to be Comprehensively Assessed.* https://wesr.unep.org/sites/default/files/2024-09/AI%20Environmental%20Impact%20Issues%20Note%20%281%29.pdf

Yadav, A., Garg, R.K., & Sachdeva, A. (2024). Artificial intelligence applications for information management in sustainable supply chain management: A systematic review and future research agenda. *International Journal of Information Management Data Insights*, *4*(2), 100292. https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2024.100292

Zhang, L., Zhang, M., Mujumdar, A.S., & Chen, Y. (2024). From farm to market: Research progress and application prospects of artificial intelligence in the frozen fruits and vegetables supply chain. *Trends in Food Science & Technology*, *153*, 104730. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104730

Zatsu, V., Shine, A.E., Tharakan, J.M., Peter, D., Ranganathan, T.V., Alotaibi, S.S., Mugabi, R., Muhsinah, A.B., Waseem, M., & Nayik, G.A. (2024). Revolutionizing the food industry: The transformative power of artificial intelligence-a review. *Food Chemistry: X*, *24*, 101867. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101867