



Aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) en la cadena alimentaria

Application of Information and Communication Technologies (ICTs) in the food chain

María Martínez

Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España
maria.smart.1998@gmail.com

Marta Mesías

Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España
Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN-CSIC), Madrid, España
mamesias@ucm.es, mmesias@ictan.csic.es
ORCID: 0000-0003-0905-1587

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.09.19.004>

Recibido: Julio 12, 2021
Aceptado: Octubre 07, 2021

Resumen: La cadena alimentaria está constituida por las distintas etapas que sigue el producto desde su origen hasta su destino final: producción, transformación, almacenamiento, distribución y consumo. A lo largo de la cadena, la trazabilidad del alimento es clave para alertar de cualquier potencial peligro, estableciendo una seguridad alimentaria integral, desde el principio hasta el final, “de la granja a la mesa”. La transformación que se está produciendo en la sociedad gracias a las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) más vanguardistas, está también irrumpiendo en la cadena alimentaria constituyendo la industria alimentaria 4.0, que se pone al servicio de cada eslabón a través de sistemas inteligentes que permiten la obtención de productos más seguros, de mayor calidad y en menor tiempo. Cada TIC ofrecerá distintas posibilidades de desarrollo gracias a sus características particulares, de manera que en cada eslabón se seleccionará la tecnología más adecuada para resolver los problemas concretos planteados. Este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión de estas herramientas vanguardistas, describiendo cómo gracias a estas tecnologías disruptivas se están transformando los procesos de la cadena alimentaria, incrementando, al mismo tiempo, la seguridad y la calidad de los productos obtenidos y evaluando qué repercusiones sociales pueden estar asociadas.

Palabras clave: *Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), Cadena Alimentaria, Industria 4.0, Inteligencia Artificial, Envases Inteligentes.*

Abstract: The food chain is made up of the different stages that the product follows from its origin to its final destination: production, transformation, storage, distribution and consumption. Throughout the chain, the traceability of the food is key to alert of any potential danger, establishing comprehensive food safety, from the beginning to the end, “from farm to fork”. The transformation that is taking place in society thanks to the most avant-garde information and communication technologies (ICTs), is also breaking into the food chain, constituting

the food industry 4.0, which is available at the service of each link through intelligent systems that allow obtaining safer, higher quality products in less time. Each ICT will offer different development possibilities thanks to its particular characteristics, so that in each link the most appropriate technology will be selected to solve the specific problems posed. This work aims to carry out a review of all these avant-garde tools, describing how thanks to these disruptive technologies, the processes of the food chain are being transformed, increasing, at the same time, the safety and quality of the products obtained and evaluating the possible associated social repercussions.

Keywords: *Information and Communication Technologies (ICTs), Food Chain, Industry 4.0, Artificial Intelligence, Smart Packaging.*

1. Introducción

La cadena alimentaria está constituida por todas las etapas que sigue un alimento desde su origen hasta su consumo, incluyendo cinco eslabones: producción, transformación, almacenamiento, distribución y consumo (Fig. 1).

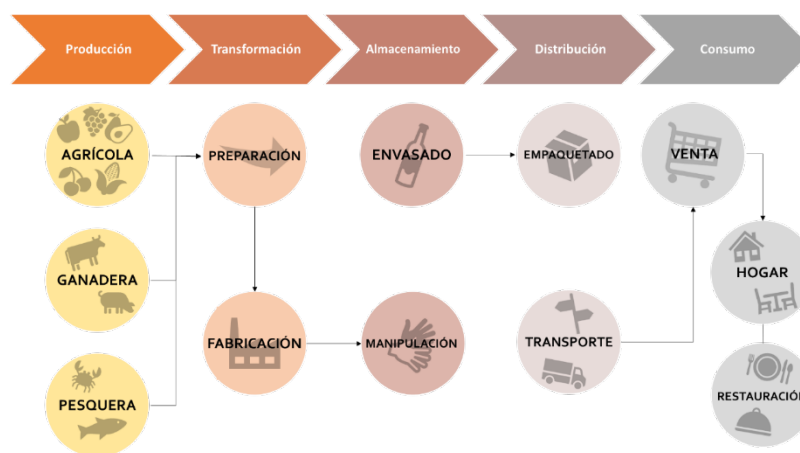


Figura 1. Etapas de la cadena alimentaria.

Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar la calidad y el control de los alimentos, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) defiende un enfoque global de la cadena alimentaria, de manera que sea posible realizar una trazabilidad del alimento y determinar en qué punto pueden generarse potenciales peligros, evitándose así fallos en cualquier eslabón [1]. Estos posibles fallos pueden incrementarse debido a la globalización del mercado, que conlleva un aumento del tiempo en las etapas de manipulación del alimento. Se establece así el concepto de *Food Chain Integrity*, fomentando cadenas alimentarias más transparentes, sostenibles, competitivas y certificables, garantizando como fin último la seguridad de los alimentos y la protección del consumidor [2].

Las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) son el conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes formatos (texto, imagen, sonido, etc.). Todas ellas giran en torno a la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones, no de forma aislada sino interconectadas e interoperando. Actualmente la sociedad se halla inmersa en una profunda transformación debido fundamentalmente al desarrollo de las TICs. La aparición de nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial (IA), el Big Data, internet de las cosas (IoT), simulación virtual, realidad aumentada, robótica, hiperconectividad, mantenimiento predictivo o fabricación aditiva, que conforman la Industria 4.0 o cuarta revolución industrial, está cambiando nuestra forma de vivir a través de multitud de aplicaciones, programas y dispositivos. La cadena alimentaria también se ve afectada por este cambio global, por lo que, desde hace tiempo, la transformación digital de este ámbito constituye una prioridad para la industria de los alimentos, con el consecuente beneficio de mejorar la seguridad alimentaria [3].

La industria 4.0. supone un cambio de gran importancia en el modelo de la industria alimentaria, afectando a todos los eslabones de la cadena, de inicio a fin. Estos cambios se verán reflejados en una creciente digitalización que, a través del análisis sistemático de grandes cantidades de datos, impulsará la toma de decisiones de una manera más ágil, inteligente y competitiva. También se ha modificado el perfil del consumidor, vinculándose a la

variable conectividad, ya que dispone de forma constante de teléfonos móviles, *tablets*, *wearables* y pantallas inteligentes que le ofrecen acceso permanente a un flujo de información. Ante el consumidor se presenta una oferta, que también en el sector alimentario, es prácticamente ilimitada. El acceso generalizado a la información impone que los productos alimenticios se vinculen a valores como la transparencia, la salud y la personalización. El mayor beneficio de esta transformación es la posibilidad de desarrollo de una gestión óptima de los procesos productivos, logrando que sean más seguros, de mayor calidad y en menos tiempo, gracias a la creación de sistemas inteligentes y eficientes que permiten un mejor aprovechamiento de los recursos, ahorro de los costes y minimizan los defectos de fabricación [4].

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión sobre la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación en cada eslabón de la cadena alimentaria, describiendo cómo se están transformando los procesos alimentarios, incrementando, al mismo tiempo, la seguridad y la calidad de los productos obtenidos y qué repercusiones sociales pueden estar asociadas a estas aplicaciones.

3. Metodología

La presente revisión implicó un estudio cualitativo, descriptivo y de tipo documental, realizándose durante el periodo comprendido entre Noviembre 2020 – Abril 2021. Conllevó la búsqueda en internet y posterior consulta de diversos documentos como artículos científicos, comunicaciones de congresos, libros y capítulos de libros, etc. Así mismo se contemplaron diversas páginas webs enfocadas a los aspectos más tecnológicos, específicamente centrados en la cadena alimentaria. Los criterios para la búsqueda fueron: la relación del título de los trabajos y su contenido con el tema a investigar, que estuvieran redactados en español o en inglés y que fueran posteriores al año 2000, con preferencia de publicación durante la última década (a partir del año 2010).

A partir de los documentos consultados, se excluyeron aquellos cuyo contenido no se adaptaba al objetivo del presente trabajo. De los textos seleccionados, se extrajo la información más relevante, estructurándose y dividiéndose en cada eslabón de la cadena alimentaria (producción, transformación, almacenamiento, distribución y consumo). Para cada eslabón se ha descrito la aplicación y el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, interpretándose los conceptos más importantes de acuerdo a los datos encontrados en la literatura.

4. Aplicación de las TICs en los distintos eslabones de la cadena alimentaria

4.1. Producción

Dentro del sector primario se están introduciendo nuevas técnicas que están transformando la forma de obtener los recursos alimentarios. En el sector agrícola, la Unión Europea está apoyando la adopción de técnicas de agricultura de precisión, que consisten en ajustar el uso de los recursos y el manejo de los suelos y cultivos de manera que se consiga aumentar la producción con menos medios [5]. Al integrar los conceptos de agricultura de precisión y digitalización, surge la agricultura inteligente o e-agricultura, que a través de un uso holístico de las TICs permite enfrentar desafíos vinculados a la productividad, el impacto ambiental, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad [6].

La aplicación de la robótica avanzada directamente en campos e invernaderos supone que la evaluación y recolección de los cultivos sean más eficaces y menos laboriosas [5]. Los robots industriales, integrados con un sistema de procesamiento de imágenes de alta tecnología, evalúan los productos siendo capaces de reaccionar a diferentes situaciones en base a parámetros previamente definidos [7]. El procesamiento de imágenes digitales integrado en el robot incluye la captura de una imagen en tiempo real, representación de forma visual en el ordenador, análisis automático y generación de datos basados en los resultados o lecturas de medición. Esto resulta particularmente beneficioso para realizar una inspección de la calidad de los alimentos, asegurando que se cumplan las normas de seguridad alimentaria requeridas. El proceso permitirá la detección temprana de defectos con la consecuente reducción del desperdicio de alimentos y de los costes de producción [8].

Un ejemplo de estas aplicaciones es el proyecto Echord++, estrategia que explora dos líneas de investigación. La primera de ellas, el subproyecto GARotics, surge ante la laboriosidad y los elevados costes de la recolecta de

espárragos verdes, de manera que se desarrolla un sistema robótico para la recolección selectiva de este producto cuando el cultivo presenta las características deseadas. Esta cosechadora robótica está dotada de una cámara que ofrece la imagen de los espárragos identificando de manera fiable los tallos listos para recolectar, y dos cuchillas a modo de tijeras como herramienta de recolección [9]. Se consigue así cosechar y recolectar el espárrago de manera rentable y precisa. La segunda línea de investigación, es el subproyecto MARS, que tiene como objetivo demostrar que el uso de robots agrícolas permite una producción más eficiente, al ajustarse a todos los indicadores de rendimiento, reduciéndose el consumo de energía y el impacto medioambiental. La misma idea defienden proyectos como VINEROBOT, con la recolección de las uvas o SWEEPER, para los pimientos (Fig. 2).

Por otro lado, la implantación de aplicaciones y plataformas abiertas en el ámbito agrícola sirve de apoyo para muchos agricultores que desconocen otras prácticas de producción, facilitándoles el acceso a información sobre el proceso de producción agrícola, asesorándoles y ayudándoles, consiguiendo, además, una cooperación activa entre los usuarios [10]. Un caso de uso de esta tecnología es el proyecto FOODIE (Fig. 2), que pretende ayudar a los agricultores a gestionar mejor la gran cantidad de información recibida, gracias a una plataforma de servicios en la nube, abierta e interoperable, en la que se alojan datos agrícolas espaciales y las fuentes de datos relacionadas. Desde esta plataforma se puede acceder a aplicaciones como Marketplace, que muestra un espacio virtual para poner en contacto a consumidores y productores de datos. Se pretende así apoyar la mejora de las actividades cotidianas de los agricultores [5].

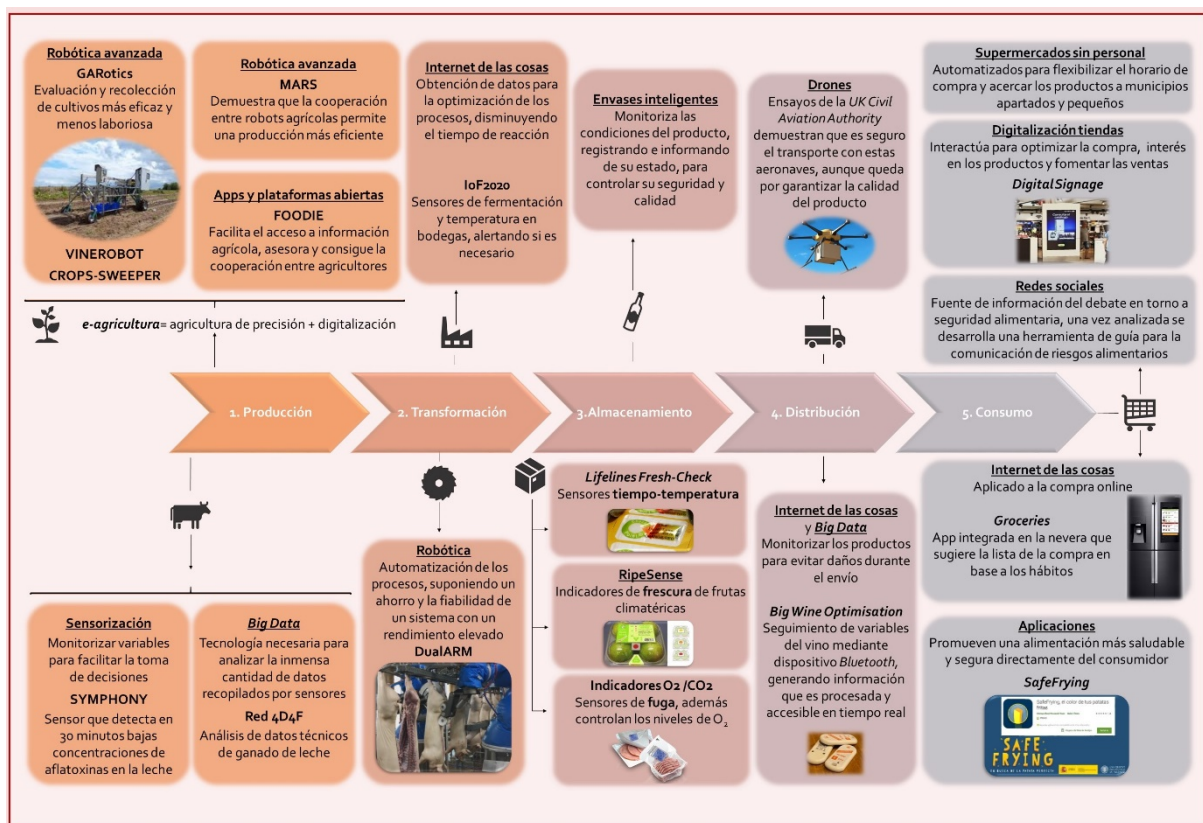


Figura 2. Aplicación de las TICs en los distintos eslabones de la cadena alimentaria.

Fuente: Elaboración propia. Imágenes [9, 14, 16, 20, 22, 24, 27, 31, 34].

En el ámbito de la ganadería es útil la implantación de sensores punteros capaces de monitorizar y analizar datos para ayudar en la toma de decisiones a los ganaderos. El proyecto SYMPHONY es un caso de uso de sensores, gracias a los cuales se puede disminuir el desecho de leche ocasionado por su contaminación con aflatoxinas, sustancia carcinógena para los seres humanos. El proyecto ha desarrollado un sensor capaz de detectar en sólo media hora incluso bajas concentraciones de aflatoxinas en la leche, evitando tener que enviar las muestras a laboratorios externos y disminuyendo el tiempo de análisis [11]. A raíz de la implantación de sensores en la ganadería, como los analizadores de leche mencionados, acelerómetros que monitorizan constantemente a los animales o sensores de temperatura, resulta útil el Big Data, tecnología que permite analizar la inmensa cantidad

de datos recopilados. En esto consiste la red 4D4F, creada para ayudar a los ganaderos a tomar decisiones según los datos recogidos, mediante el intercambio de conocimientos técnicos, aumentando así la rentabilidad [12] (Fig. 2). Las nuevas tecnologías también han llegado al sector avícola, donde el desarrollo de sistemas de control automatizado de regulación de variables como temperatura, humedad, luz, control de gases, etc., permite lograr un incremento en la producción, optimizar las condiciones ambientales y disminuir el índice de mortalidad de las aves [13].

4.2. Transformación

La etapa de transformación de la cadena alimentaria es el reflejo más evidente de la industria 4.0. A través de la denominada fábrica inteligente se busca mejorar la productividad y aumentar la eficiencia. La innovación tecnológica está permitiendo una mayor automatización de la transformación de alimentos gracias a la utilización de nuevas maquinarias. Es el caso de la empresa Intercal en España con la implantación de la primera célula robotizada para el esquinado de cerdo (etapa de despiece que consiste en la división de la pieza en dos medias canales), empleando la técnica del DualARM. Esta técnica incluye dos brazos robóticos controlados por un solo procesador, incrementando así la velocidad de esquinado de una sola máquina a 700 cerdos/hora, generando un considerable ahorro económico y de espacio, con la garantía de disponer de un sistema fiable de alta precisión y calidad con un rendimiento muy elevado [14, 15] (Fig. 2).

La incorporación del IoT (internet de las cosas) en la industria es útil para aumentar la eficiencia del proceso, a partir de la obtención de datos útiles que permiten su optimización. Un caso de uso de esta tecnología en el ámbito de la transformación se encuentra dentro del proyecto IoF2020, al incorporar sensores y espectrómetros en bodegas que permiten obtener información acerca de la fermentación y temperatura al instante, alertando inmediatamente en caso de ser necesaria la intervención del enólogo, logrando así trabajar de manera más eficiente y disminuir los plazos de reacción [16].

4.3. Almacenamiento

El elemento fundamental en la etapa de almacenamiento son los envases. En la actualidad, el envase, además de cumplir con sus funciones básicas, se está transformando en un sofisticado medio que interacciona con el contenido y en un registro de información relevante tanto para el consumidor final como para los intermedios de la cadena. Los envases se han transformado en una plataforma multisensorial que los consumidores pueden utilizar para acceder a una gran cantidad de información, no sólo a través de su atractivo visual, sino a través del tacto, el sonido y olfato [17, 18]. Por otra parte, se ha establecido la conexión con la realidad aumentada, que permite una superposición del mundo virtual en el mundo real a través de imágenes o códigos. Un ejemplo es el escaneo de códigos QR incluidos en los envases, a partir de los cuales el consumidor puede obtener información sobre la marca y el producto de una forma entretenida [19].

A partir de estos cambios nace el concepto de envase inteligente. Un envase inteligente es un sistema que monitoriza las condiciones del producto envasado, registrando y aportando información sobre su estado, con el objetivo de controlar su seguridad y calidad, poniendo en evidencia posibles anomalías que haya sufrido el alimento envasado durante toda la cadena de suministro. Existen distintos tipos de sistemas inteligentes que analizan diferentes parámetros, entre los que se encuentran los indicadores de tiempo-temperatura, de O₂ y CO₂ o de determinados compuestos volátiles. Los indicadores de tiempo-temperatura pueden reflejar tanto el efecto acumulativo de la exposición del alimento a una temperatura, como si el producto ha superado unos límites de temperatura puntualmente. Cuando la etiqueta se activa, el indicador visual vira y permite saber de manera inequívoca que el alimento ha sobrepasado los márgenes de temperatura segura. Se utilizan en productos congelados, refrigerados, envasados en atmósfera modificada y procesados térmicamente. Un ejemplo de este tipo de indicadores es la tecnología *Lifelines Fresh-Check*, etiquetas con un anillo central polimérico que, por efecto de la temperatura, se oscurecen [20, 21]. Otros sensores tienen el objetivo de controlar el correcto envasado y aislamiento de la atmósfera exterior, analizando los niveles de O₂ y CO₂. Los indicadores de oxígeno, además, son interceptores y controladores de este compuesto, por lo que protegen al alimento, aumentando su tiempo de consumo seguro, retirando malos sabores y evitando cambios de color [21, 22]. Los indicadores de frescura están basados en la detección de metabolitos volátiles producidos durante la maduración de los alimentos. Un caso de uso de estos sensores es RipeSense®, diseñado para frutas climatéricas. Este sensor cambia de color desde rojo

hasta amarillo, en respuesta a los compuestos aromáticos volátiles emitidos por la fruta durante su maduración [20] (Fig. 2). Los envases inteligentes, al implementar la sensorización, son capaces de aportar información y facilitar el consumo final del alimento, mejorando así la seguridad alimentaria y creando una cadena tecnológicamente más avanzada.

4.4. Distribución

El sector de la distribución de la alimentación está transformándose y sobre él recae la gran responsabilidad de ofrecer los mejores productos, garantizando que se preserven los parámetros de calidad. Para poder adaptarse a las exigencias y seguir cumpliendo su cometido, requiere la incorporación de innovaciones tecnológicas.

Los drones están revolucionando la forma en la que se conoce la distribución. La utilización de estas aeronaves para el reparto de alimentos supondría grandes beneficios para la industria alimentaria. En este sentido, la UK *Civil Aviation Authority* (CAA) tiene como objetivo probar el control remoto de drones, demostrando que pueden volar de manera segura junto a otros usuarios del espacio aéreo. Una vez demostrada su capacidad para volar y transportar cosas, para materializarse la distribución alimentaria mediante drones, serán necesarias más consideraciones de seguridad que garanticen la calidad del producto hasta llegar al consumidor [23, 24].

Un riesgo asociado a la etapa de distribución es la posible degradación que puede sufrir el producto durante el transporte. La implementación de IoT que permita monitorizar los productos permanentemente puede suponer una solución innovadora para evitar daños en el alimento durante el envío. El proyecto *Big Wine Optimisation* emplea el IoT para llevar a cabo un seguimiento a lo largo de toda la ruta de distribución del vino, a través de un sistema integrado que monitoriza, durante el reparto, factores como la temperatura, la humedad, la frecuencia de golpes que pueden provocar la ruptura de la botella, fugas, pérdidas de presión y oxidación. De esta manera se crea una gran base de datos que, a través de algoritmos de *Big Data*, permiten su análisis para determinar envíos seguros. Para ello se emplea un dispositivo *Bluetooth* que actúa como sensor y envía constantemente información que será procesada y accesible en tiempo real a través de una aplicación vinculada [16].

4.5. Consumo

La innovación tecnológica de la cadena alimentaria en su etapa final y su adaptación al mundo actual, es fundamental para conseguir la satisfacción del consumidor y su fidelidad hacia el producto. La tecnología de la comunicación interactiva es cada más relevante en el área de los alimentos y ha cambiado la forma en que los consumidores interactúan con su entorno. Un ejemplo de esta innovación es el desarrollo de los supermercados sin personal, que ya son una realidad. Gracias a establecimientos totalmente automatizados, en los que el cliente puede gestionar su compra desde una aplicación móvil, tanto abrir la puerta del local, escanear los productos o pagar, el personal de la tienda se hace totalmente prescindible. Esto permite, además de flexibilizar el horario de la compra, acercar los supermercados a municipios apartados y pequeños [25].

Hacer la compra presencialmente, tal y como se conoce ahora, también es mucho más interactiva y sugerente. Gracias a la digitalización de los supermercados mediante pantallas táctiles como los dispositivos *Digital Signage*, se puede interactuar con el usuario, con el objetivo de optimizar las compras, potenciar el interés en los productos y fomentar las ventas [26, 27]. Por otra parte, el estilo de vida ajetreado del consumidor actual promueve cada más realizar las compras de forma online. En los últimos años, se ha incrementado en gran medida la adquisición de alimentos en línea. A nivel europeo, en el año 2009 un 5% de la población admitió comprar alimentos por internet al menos una vez al año, porcentaje que subió a un 15% en el año 2018 [28]. Este hábito se ha visto aumentado desde el 2020 debido a la pandemia por Covid-19, ya que el 30% de los consumidores en todo el mundo afirmaron haber comenzado a utilizar el comercio electrónico durante el confinamiento [29]. El ámbito de la compra online sigue evolucionando y la incorporación de IoT es fundamental. Un ejemplo es *Groceries*, una aplicación que se encuentra integrada en la nevera *Family Hub*, conectada con los comercios, que conoce los hábitos de cada usuario. Esta aplicación sugiere una lista de la compra personalizada que se puede ir modificando, enviándose el pedido desde la propia nevera [30, 31].

El perfil del consumidor se ha vuelto más exigente debido a que dispone de acceso a diferentes recursos tecnológicos, se encuentra hiperconectado, y eso le posibilita una intervención más directa en la cadena alimentaria. Además, la creciente conciencia sobre la calidad ha alterado su comportamiento y sus preferencias en la compra de los alimentos. A través del uso de diversas aplicaciones móviles inteligentes se puede obtener ayuda

sobre distintas tareas relacionadas con los alimentos, como la compra o la preparación de comidas. El escaneo del código QR de un producto también permite tener acceso a un sistema de trazabilidad inteligente, consiguiéndose una información muy detallada del alimento adquirido para su consumo.

Por otra parte, hay una creciente popularidad entre los consumidores para utilizar comunidades en línea y plataformas de redes sociales. Debido a este auge, las organizaciones están adaptando su *marketing* a las realidades digitales. Con las comunidades en línea, los consumidores tienen la oportunidad de interactuar con organizaciones sobre ciertos aspectos vinculados con los alimentos, donde se resuelven problemas y se producen intercambios de conocimientos o interacciones sociales acerca de un producto. De esta manera el consumidor puede planificar su alimentación, incluyendo compra, preparación y consumo. Las redes sociales, además, pueden utilizarse para difundir información de interés en temas relacionados con la alimentación. En este sentido, un estudio realizado por Kuttschreuter *et al.* [32] demostró que ciertos consumidores se sienten motivados a utilizar las redes sociales como una fuente de información sobre posibles riesgos alimentarios. Un ejemplo es el proyecto FOODRISC, que surgió a raíz de diferentes incidentes en torno a la seguridad alimentaria. En el proyecto se utiliza el potencial de las redes sociales en las que se debate sobre la seguridad alimentaria, recopilando datos gracias a la aplicación Vizzata® asociada al proyecto. Tras el análisis de estos datos se han desarrollado herramientas en línea que sirven como guía para la comunicación de riesgos alimentarios a través de redes sociales, de manera coherente, proporcional y científicamente precisa [33]. Para ayudar en la toma de decisiones en torno a la seguridad alimentaria y promover la alimentación saludable y segura, surgen también aplicaciones al alcance del consumidor. Un ejemplo es la app *SafeFrying*, capaz de determinar, a partir de una fotografía de una patata frita, si la fritura ha sido la adecuada al relacionar su color con la presencia de acrilamida, compuesto carcinógeno [34] (Fig. 2).

5. Discusión

Según la FAO, las tecnologías digitales pueden contribuir significativamente a abordar los desafíos que enfrenta la industria agroalimentaria mundial en todos los niveles de la cadena de suministro [35]. El uso de las tecnologías de la información y la comunicación más avanzadas como los sensores, la inteligencia artificial o la robótica, se promueve cada vez más en la cadena alimentaria como un medio para aumentar la eficiencia de producción de los alimentos, minimizando al mismo tiempo el uso de recursos y conduciendo hacia una alimentación más sostenible. Sin embargo, adoptar o no la implementación de estas tecnologías dependerá de los problemas y necesidades de cada empresa, de sus requisitos y de sus capacidades [7]. La evolución de la digitalización implica numerosos cambios que plantean, además, diversas cuestiones sociales acerca de cómo será el impacto sobre la dinámica laboral y las comunidades en el futuro o cómo se realizará el control de los datos asociados a la tecnología digital [36].

A nivel de la producción, la agricultura inteligente puede proporcionar los avances necesarios para producir suficientes alimentos, de buena calidad, en un entorno medioambiental seguro. Esto puede contribuir al desafío de aumentar el alcance de alimentos por parte de la población, ya que se espera que la población mundial se expanda a más de 9 millones de personas en el año 2050 [37]. Las tecnologías 'climáticamente inteligentes' y de 'precisión' ayudan a los agricultores a desarrollar usos nuevos y eficientes de la energía, protegiendo los recursos ambientales y mitigando el cambio climático. Estos avances pueden suponer un aumento de las ganancias e incluso una mejora del bienestar del ganado y una reducción de los impactos ambientales. La digitalización, además, puede permitir la creación de nuevas oportunidades laborales. Sin embargo, al mismo tiempo, pueden reducirse los puestos de trabajo de empleados poco calificados y no calificados, implicando una reducción de la mano de obra a nivel productivo y reforzando las desigualdades sociales y económicas en el trabajo [36].

La automatización, definida como la capacidad de una máquina para realizar tareas sin intervención humana [38], también puede implicar la reducción de puestos laborales a nivel de la transformación, distribución y adquisición de los alimentos. El uso de robots como dispositivos mecánicos controlados automáticamente, programados y reconfigurados para realizar varias operaciones, sustituye a los trabajadores. En los supermercados físicos, por ejemplo, los apiladores de estantes humanos están siendo reemplazados por robots equipados con sensores y cámaras. En este sentido, se ha sugerido que, para el año 2040, el 45% de los trabajadores de Estados Unidos estarán en riesgo debido a la automatización [39]. Frente a las consecuencias negativas asociadas a la reducción del empleo, la automatización de las líneas de producción en las fábricas inteligentes reduce el coste debido a las nóminas de los trabajadores, o problemas asociados a lesiones o enfermedades, exposiciones a pandemias u otras perturbaciones personales. Las nuevas tecnologías, además, hacen posible monitorizar el

proceso, detectar desviaciones y activar los ajustes necesarios para la resolución de problemas. La Inteligencia Artificial permite que las máquinas aprendan de experiencias pasadas a través de su conjunto de datos recopilados, siendo capaces de adaptarse a nuevas situaciones, realizar una tarea similar a la humana y memorizar los procesos para futuras optimizaciones. El uso de la robótica en el sector alimentario favorece la dinámica, la higiene, la eficiencia económica, la seguridad y la protección y el mantenimiento. Estas ventajas promueven nuevas oportunidades de investigación, estimulando más colaboraciones entre la comunidad de investigadores y contribuyendo a nuevos desarrollos.

Otro aspecto importante a mencionar es la repercusión sobre el desperdicio de alimentos. Datos de la FAO indican que, en el 2011, aproximadamente un tercio de los alimentos producidos en el mundo para el consumo humano (aproximadamente 1300 millones de toneladas) se perdió o se desperdició durante la producción, cosecha, poscosecha y fases de procesamiento [40]. Esto supone no sólo una preocupación en los países en desarrollo, sino también en los países industrializados, perdiéndose la oportunidad de alimentar a quienes pasan hambre y representando una mala gestión de los recursos. En la Unión Europea, se ha estimado un desperdicio de 90 millones de toneladas de alimentos (180 kg por persona), muchos de los cuales todavía son aptos para el consumo humano [41]. El objetivo de una alimentación más sostenible mediante la aplicación de los desarrollos tecnológicos no sólo se consigue a lo largo de la cadena de producción de los alimentos, sino que también llega al consumidor mediante el uso, por ejemplo, de frigoríficos inteligentes. Estos equipos registran y muestran los alimentos que contienen, además de proporcionar orientación sobre cómo se pueden combinar en comidas saludables con un desperdicio mínimo.

El uso de las TICs proporciona a los consumidores una herramienta para gestionar las actividades diarias relacionadas con la comida. El cliente es cada vez más exigente, requiriendo productos más personalizados, lo que impulsa a las empresas a ser más competitivas, respondiendo de una manera más rápida, produciendo de manera eficiente y entregando la calidad requerida. Estos requisitos son factibles con el avance tecnológico en la industria 4.0, que promueve innovaciones y nuevos cambios en los procesos productivos. Las TICs ofrecen posibilidades para interactuar con los consumidores e involucrarlos en actividades relacionadas con el desarrollo o el uso de productos y, de esta manera, apoyar el lanzamiento al mercado de nuevos alimentos [42]. Sin embargo, si el consumidor tiene experiencias negativas en el proceso, se puede obstaculizar la innovación de ciertos productos.

Las redes sociales también pueden utilizarse para adquirir datos relacionados con las tendencias de los consumidores, aunque la información debe evaluarse cuidadosamente antes de su uso. Así mismo, a través de ellas, los usuarios pueden tener acceso tanto a imágenes de alimentos como a opiniones de otros consumidores que pueden influir tanto positiva como negativamente en sus hábitos alimentarios. Esta información puede ser adquirida igualmente a través de las aplicaciones de dispositivos móviles, útiles para apoyar a los consumidores en el uso de los alimentos, pero, al mismo tiempo, las apps pueden ser un medio de difusión de información inadecuada aportada por fuentes sesgadas, conduciendo a una desinformación hacia el consumidor [43].

Por último, hay que destacar la gran cantidad de datos generados con la industria 4.0 a lo largo de todo el sistema de producción de un alimento, incluidos los datos personales cuando se trata del consumidor en la cadena alimentaria. La información recibida permitirá aumentar los conocimientos y el control de cada eslabón, pero con el requisito de proteger los sistemas de amenazas de ciberseguridad [7].

6. Conclusiones

Las tecnologías de la información y la comunicación están transformando permanentemente la sociedad, y la cadena alimentaria también se ve afectada por esta transformación. En un mundo en el que la hiperproducción es necesaria, la accesibilidad a multitud de productos está al alcance de los consumidores de manera inmediata y las exigencias de calidad son cada vez más elevadas. La cadena alimentaria tiene que responder a estas necesidades con agilidad y eficiencia. En cada eslabón pueden incorporarse y aprovecharse todas las ventajas que ofrecen las nuevas tecnologías, de manera que se facilita la labor en cada etapa y se asegura la trazabilidad del producto alimentario. El uso de robots y sensores, la monitorización de procesos, el análisis de grandes cantidades de datos y el acceso a información actualizada en tiempo real, maximiza el rendimiento y optimiza la producción. Además, la conectividad ligada al perfil del consumidor, conduce a la creación de un eslabón más interactivo y comprometido con la seguridad final del producto. De esta forma, la cadena se adapta al perfil de las personas que forman parte de ella y a sus necesidades, respondiendo a los impulsos de los participantes implicados. Estas tecnologías, que actualmente son la vanguardia de la innovación y conforman la industria 4.0, son sólo un paso

más en el camino de la aplicación de las TICs a la cadena alimentaria. Se logra así alcanzar una cadena automatizada, con una trazabilidad absoluta, una eficiencia óptima y unos parámetros adecuados de calidad y seguridad. A pesar de la evolución progresiva de la industria 4.0 en el sector alimentario, es necesario que se realicen investigaciones y estudios para evaluar la viabilidad de las nuevas tecnologías entre las distintas empresas, así como valorar la repercusión sobre los trabajadores, los consumidores y la sociedad en general.

6. Referencias

- [1] FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2003). *De la granja a la mesa: un enfoque mundial para la calidad e inocuidad de los alimentos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2003/15903-es.html>
- [2] Hoorfar, J., Jordan, K., Butler, F., Prugger, R. (2011). *Food Chain Integrity. A holistic approach to food traceability, safety, quality and authenticity*. Cambridge, United Kingdom: Elsevier Science & Technology.
- [3] Oña-Serrano, A. X., Morales-Vaca, M. J., Toledo-Rivadeneira, L. I., Terneus-Páez, C. F. (2019). Revisión sistémica del estado del arte de las Tecnologías de Información y Comunicación (TICS) y Seguridad Alimentaria. *Debates sobre innovación*, 3 (2), 1-14.
- [4] Martínez-Simarro, D. (2016). *Food Industry 4.0. ¿Qué supone la digitalización de la industria alimentaria?* Recuperado de: <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/food-industry-4-0-digitalizacion-industria-alimentaria/#:~:text=La%20Food%20Industry%204.0%2C%20el,%2C%20alertas%2C%20riesgos%2C%20e>
- [5] CE (Comisión Europea). (2017). *La agricultura de precisión: la semilla de una nueva revolución agrícola*. Recuperado de: <https://cordis.europa.eu/article/id/400295-precision-farming-sowing-the-seeds-of-a-new-agricultural-revolution/es>
- [6] Permingeat, H. (2018). *La agricultura que se acerca es cada vez más inteligente*. Recuperado de: <https://www.aapresid.org.ar/blog/la-agricultura-que-se-avicina-es-cada-vez-mas-inteligente/>
- [7] Noor Hasnan, N. Z., Yusoff, Y. M. (2018). Short review: Application Areas of Industry 4.0 Technologies in Food Processing Sector. Trabajo presentado en *IEEE Student Conference on Research and Development (SCoReD)*, Selangor, Malaysia. doi: <https://doi.org/10.1109/SCoRED.2018.8711184>
- [8] Buckenhueskes, H. J. (2015). Quality improvement and fermentation control in vegetables. En W. Holzapfel (Ed.), *Advances in Fermented Foods and Beverages* (pp. 515-539). Cambridge, UK: Elsevier.
- [9] HepcoMotion. (2021). *Harvesting robots could make green asparagus cheaper*. Recuperado de: <https://www.hepcotion.com/case-studies/harvesting-robots-could-make-green-asparagus-cheaper/>
- [10] Olaniyi, O. A., Ismaila, K. (2016). Information and communication technologies (ICTs) usage and household food security status of maize crop farmers in Ondo State, Nigeria: Implication for sustainable development. *Library Philosophy and Practice (e-journal)*, (1446), 1-18. Recuperado de: <https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/1446>
- [11] CE (Comisión Europea). (2021). *SYMPHONY - EU project to detect milk contamination*. Recuperado de: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/symphony-eu-project-detect-milk-contamination>
- [12] CE (Comisión Europea). (2020). *Data Driven Dairy Decisions 4 Farmers*. Recuperado de: <https://cordis.europa.eu/project/id/696367/es>
- [13] Castillo Quiroz, G., Cruz Garrido, A., Gonzaga Licon, E., Luna Mejía, E. (2019). Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 7 (14), 122-136. doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.011>
- [14] Airrobotics. (2018). *Robot para el Esquinado 'Dual Arm' de Sierra Circular*. Recuperado de: <https://airrobotics.es/portfolio-item/rps-d-robot-de-esquinado-dual-arm-de-sierra-circular/>
- [15] Barreiro, D. (2016). Llega la fábrica inteligente. *Eurocarne*, (252), 137-160. Recuperado de: <http://www.eurocarne.com/boletin/imagenes/25210.pdf>
- [16] IoF. (2020). *Internet of Food & Farm*. Recuperado de: <https://www.iof2020.eu/>
- [17] Krishna, A., Cian, L., Aydinoglu, N. Z. (2017). Sensory aspects of package design. *Journal of Restyling*, 93 (1), 43-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2016.12.002>
- [18] Velasco, C., Spence, C. (2018). *Multisensory Packaging: Designing new product experiences*. London, UK: Palgrave MacMillan.

- [19] Dou, X., Li, H. (2008). Creative user of QR codes in consumer communication. *International Journal of Mobile Marketing*, 3 (2), 61–67.
- [20] Rodríguez-Sauceda, R., Rojo-Martínez, G. E., Martínez-Ruiz, R., Piña-Ruiz, H., Ramírez-Valverde, B., Vaquera-Huerta, H., Cong-Hermida, M. (2014). Envases inteligentes para la conservación de alimentos. *Ra Ximhai*, 10 (6), 151-173. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46132135012>
- [21] Bataller-Leiva, E., Córcoles-Tamarit, P., Rojo-Iranzo, A. (2005). Etiquetas activas en el mercado de frutas y hortalizas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (182), 30-31. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1067012>
- [22] Multisorb. (2021). *FreshMax Self-Adhesive Oxygen Absorbers*. Recuperado de: <https://www.multisorb.com/oxygen-absorbers/freshmax/>
- [23] Morrison, O. (2021). 'This will all begin to scale across Europe from 2023 onwards': Food delivery by drone prepares for take-off after UK watchdog approval. Recuperado de: https://www.foodnavigator.com/Article/2021/04/20/This-will-all-begin-to-scale-across-Europe-from-2023-onwards-Food-delivery-by-drone-prepares-for-take-off-after-UK-watchdog-approval?utm_source=newsletter_daily&utm_medium=email&utm_campaign=20-Apr-2021&cid=DM963362&bid=1567560402
- [24] Redacción Logística 360. (2020). *La carrera por la entrega de drones acaba de tener un nuevo líder: 3 diferencias clave que definirán quién gana*. Recuperado de: <https://www.logistica360.pe/la-carrera-por-la-entrega-de-drones-acaba-de-tener-un-nuevo-lider-3-diferencias-clave-que-definiran-quien-gana/>
- [25] Food Retail. (2021). *Lfvs: el supermercado sin dependientes para combatir la despoblación rural*. Recuperado de: https://www.foodretail.es/retailers/Lfvs-supermercado-dependientes-combatir-despoblacion_0_1549945000.html
- [26] Bauer, C., Dohmen, P., Strauss, C. (2011). Interactive Digital Signage - An Innovative Service and Its Future Strategies. Trabajo presentado en *International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies*, Tirana, Albania. doi: <https://doi.org/10.1109/EIDWT.2011.29>
- [27] Neoadvertising. (2021). *Caso de éxito Carrefour*. Recuperado de: <https://www.neoadvertising.es/caso/carrefour/>
- [28] Oncini, F., Bozzini, E., Forno, F., Magnani, N. (2020). Towards food platforms? An analysis of online food provisioning services in Italy. *Geoforum*, 114, 172–180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.06.004>
- [29] NielsenIQ. (2021). *Predicting the online shopper shifts driving e-commerce momentum*. Recuperado de: <https://nielseniq.com/global/en/insights/education/2020/predicting-the-online-shopper-shifts-driving-e-commerce-momentum/>
- [30] Feliu, C. (2016). *MasterCard desarrolla en colaboración con Samsung una aplicación para comprar desde el frigorífico*. Recuperado de: <https://newsroom.mastercard.com/eu/es/news-briefs/mastercard-desarrolla-en-colaboracion-con-samsung-una-aplicacion-para-comprar-desde-el-frigorifico/>
- [31] Sen, C. (2016). *MasterCard, Samsung Make Everyday Shopping Easier in Tomorrow's Smart Home with Launch of Groceries by MasterCard App*. Recuperado de: <https://newsroom.mastercard.com/press-releases/mastercard-samsung-make-everyday-shopping-easier-in-tomorrows-smart-home-with-launch-of-groceries-by-mastercard-app/>
- [32] Kuttschreuter, M., Rutsaert, P., Hilverda, F., Regan, A., Barnett, J., Verbeke, W. (2014). Seeking information about food-related risks: The contribution of social media. *Food Quality and Preference*, 37, 10–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.04.006>
- [33] Farré-Coma, J., Gonzalo-Iglesia, J. L., Lores-García, M., Lozano-Monterrubio, N., Prades-Tena, J. (2012). Comunicación de riesgos y seguridad alimentaria en la era 2.0. *El profesional de la información*, 21 (4), 381-384. doi: <https://doi.org/10.3145/epi.2012.jul.08>
- [34] Chemprofood. (2019). *SafeFrying, el color de tus patatas fritas*. Recuperado de: <https://www.ictan.csic.es/2540/safefrying-el-color-de-tus-patatas-fritas/>
- [35] Food and Agriculture Organisation. (2020). *Realising the Potential of Digitalisation to Improve the Agri-food System*. Rome, Italy: FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ca7485en/CA7485EN.pdf>
- [36] Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., LeBlanc, J., Martin, R., Neufeld, H. T., Nixon, A., Pant, L., Shalla, V., Fraser, E. (2019). Automated pastures and the digital divide: How

- agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68, 112–122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023>
- [37] Wolfert, J., Goense, D., Sørensen, C. A. G. (2014). A future internet collaboration platform for safe and healthy food from farm to fork. Trabajo presentado en *IEEE Annual SRII Global Conference*, San Jose, CA, USA. doi: <https://doi.org/10.1109/SRII.2014.47>
- [38] Organisation for Economic Co-operation and Development. (1983). *Industrial robots: Their role in manufacturing industry*. Paris, France: OECD.
- [39] Wadley, D. (2021). Technology, capital substitution and labor dynamics: global workforce disruption in the 21st century? *Futures*, 132, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102802>
- [40] FAO. (2011). *Global Food Losses and Food Waste*. Rome, Italy: FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf>
- [41] European Commission. (2010). *Roadmap to a Resource Efficient Europe*. Brussels, Belgium: EC.
- [42] Martínez-Torres, M. R., Rodríguez-Pinero, F., Toral, S. L. (2015). Customer preferences versus managerial decision-making in open innovation communities: The case of Starbucks. *Technology Analysis & Strategic Management*, 27 (10), 1226–1238. doi: <https://doi.org/10.1080/09537325.2015.1061121>
- [43] Braz, V. N., Lopes, M. (2019). Evaluation of mobile applications related to nutrition. *Public Health Nutrition*, 22 (7), 1209–1214. doi: <https://doi.org/10.1017/s136898001800109x>