

¿Será la Agricultura 4.0 la solución al hambre global?

Will Agriculture 4.0 be the solution to global hunger?

Alicia Urquilla Castaneda.

Licenciatura en Administración de Empresas, Universidad Dr. José Matías Delgado, El Salvador.

Maestría en Creación y Dirección de Empresas, Universidad Antonio de Nebrija.

Estudiante del Doctorado en Innovación en Ciencias Sociales, Universidad Pontificia de Salamanca, España.

Investigadora asociada del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación, de la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador.

aliciaurquicasta@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9502-5830>

Fecha de recepción: 10 de marzo de 2023.

Fecha de aprobación: 31 de marzo de 2023.

DOI: <https://doi.org/10.5377/ryr.v1i57.16696>



RESUMEN

La agricultura digital combinada bajo agricultura de precisión y Agricultura 4.0, se maneja en base a dominios que cubren monitoreo, control, predicción y logística. El objetivo de esta revisión es obtener soluciones holísticas en una visión sistemática, basadas en recursos de agua, energía y alimentos para la transformación digital agrícola, que jugarán un papel en el desarrollo sostenible. Como resultado, en este ensayo se exponen para un futuro sostenible, las innovaciones tecnológicas que aumentan la productividad de los cultivos y mejoran la calidad de ellos, protegen el medio ambiente, brindan un uso eficiente de los recursos y reducen los costos de los insumos, los cuales pueden ayudar a enfrentar en la agricultura de hoy muchos de los desafíos económicos, sociales y ambientales.

Palabras clave: agricultura inteligente, transformación digital, desarrollo sostenible, inteligencia artificial en la agricultura, tecnología agrícola.

ABSTRACT

Digital agriculture combined under precision agriculture and Agriculture 4.0, is managed based on domains that cover monitoring, control, prediction and logistics. The aim of this review is to obtain holistic solutions in a systematic vision, based on water, energy and food resources for agricultural digital transformation that will play a role in sustainable development. As a result, in this essay, technological innovations that increase crop productivity and improve their quality, protect the environment, provide efficient use of resources and reduce input costs will be exposed for a sustainable future, which can help face many of the economic, social and environmental challenges in today's agriculture.

Keywords: smart agriculture, digital transformation, sustainable development, artificial intelligence in agriculture, agricultural technology.

Introducción

En los últimos años, mientras que la pandemia de COVID-19 afecta las cadenas de suministro de alimentos en todo el mundo, el sector agrícola también se ha enfrentado a muchos problemas globales, como el calentamiento global, la contaminación ambiental, el cambio climático y los desastres meteorológicos. Es sabido que las oportunidades tecnológicas están disponibles para que los seres humanos salgan de estos apuros, resolviendo las interconexiones entre el nexo entre alimentos, agua, energía y clima, y logrando la transformación agrícola de tradicional a digital.

La agricultura, que abarca la producción de alimentos, piensos, fibras, combustibles y materias primas a través del cultivo de plantas y la cría de ganado, constituye una de las fuentes más ancestrales y esenciales en la historia de la civilización humana. Asimismo, desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico de cada nación, siendo un pilar fundamental en su crecimiento. El informe de la FAO (2017) resalta que la población mundial se aproximará a los 10,000 millones para el año 2050, subrayando la creciente importancia de la agricultura como un factor fundamental para la sostenibilidad de la vida y el progreso socioeconómico.

Si bien la agricultura es el pilar de la seguridad alimentaria, es el mayor usuario de agua dulce, afectando así la seguridad energética (Tian *et al.*, 2018). Las proyecciones globales indican que la demanda de agua limpia, energía y alimentos aumentará significativamente en los próximos años (Hoff, 2011).

La productividad es crucial para satisfacer la creciente demanda de alimentos de la población. Sin embargo, hay una falta considerable en el crecimiento de la productividad del sector agrícola, según el Informe de productividad agrícola mundial de 2022 (Steensland, 2022). La productividad total de los factores (PTF) representa la producción agrícola del conjunto combinado de tierra, mano de obra, capital y materiales usados. De 2010 a 2019, el crecimiento anual de la PTF fue del 1,4 %, muy por debajo del objetivo del 1,7 % (Steensland, 2021).

La contribución financiera del sector a la economía global ha disminuido constantemente durante las últimas cinco décadas, desde niveles del 10 % durante la década de 1960 a menos del 5 % en 2020. Sin duda alguna, los alimentos siguen manteniéndose como una necesidad primordial en la existencia humana, convirtiendo así a la agricultura en un elemento central y una preocupación constante para las perspectivas futuras. Las perturbaciones continuas originadas por el conflicto entre Rusia y Ucrania, la pandemia de COVID-19 y los cambios medioambientales, han ejercido un impacto significativo en los precios y la oferta global de alimentos. A menos que se tomen medidas contundentes, la escalada de la inflación alimentaria empeorará y la disponibilidad continuará deteriorándose.

Aun así, los aumentos de productividad no pueden obtenerse a costa de los medios de subsistencia o impactos ambientales adversos. Las tecnologías pueden ayudar a equilibrar la productividad, el

empleo y la sostenibilidad. Ofrecen soluciones asequibles e innovadoras para mejorar la productividad al mismo tiempo que mitigan los riesgos económicos y ambientales (Guerrero *et al.*, 2022).

Más del 25 % de la población mundial deberá adoptar prácticas agrícolas ecológicas para un futuro sostenible, dada la naturaleza fragmentada del sector (Ahmed *et al.*, 2020). La intervención tecnológica en la agricultura se está dando, en general, a través de caminos físicos, mediante la automatización de tareas con maquinaria y caminos digitales, proporcionando flujos de información que ayuden a la toma de decisiones clave y oportuna. Los parámetros del suelo, los patrones climáticos y los precios de las materias primas son ejemplos de datos que ayudan a los agricultores a tomar medidas que se traduzcan en mejoras en la eficiencia y el rendimiento.

El poder transformador de la Industria 4.0 en los sistemas agrícolas y alimentarios (agroalimentarios) puede ser atestiguado por la interrupción de las infraestructuras de producción, como granjas conectadas, nuevos equipos agrícolas, nuevos implementos y tractores, y máquinas conectados (Fielke *et al.*, 2020). La fuerza impulsora detrás de esto es la necesidad de aumentar la eficiencia, la productividad y la calidad en los sistemas agroalimentarios y la protección del medio ambiente (Bonneau *et al.*, 2017).

De hecho, la agricultura desempeña un papel importante en la provisión de seguridad alimentaria y sostenibilidad a los humanos. Por lo tanto, para satisfacer esta demanda de alimentos cada vez mayor en la era de la Industria 4.0, se acuñó el nuevo concepto Agricultura 4.0 (Anshari *et al.*, 2019).

Estas tecnologías sustentan conceptos como la agricultura vertical, la agricultura digital, la bioeconomía, la agricultura circular y la acuaponía (Klerkx y Rose, 2020). La Agricultura 4.0 se ve actualmente como una posible solución para mejorar el crecimiento agrícola, asegurando las necesidades futuras de la población mundial de manera justa, resiliente y sostenible. Por lo tanto, la inversión en investigación tecnológica es imperativa para estimular el desarrollo de soluciones sostenibles para el sector agrícola (Araújo *et al.*, 2021). La Agricultura 4.0 presenta tanto desafíos como oportunidades, como pasar de tecnologías manuales e impulsadas por animales, a equipos automatizados y mecanizados en países en desarrollo, para cerrar la brecha digital.

La Agricultura 4.0 es parte de la cuarta ola de la revolución industrial (Industria 4.0), que propone un estado ideal de fabricación totalmente autónoma y optimizada en las fábricas. La agricultura autónoma es posible a través de la integración eficiente de tecnologías físicas y digitales, con una progresión gradual de operaciones manuales a automáticas, semiautónomas y, finalmente, totalmente autónomas. Los clientes exigen ahora transparencia y trazabilidad del origen de los alimentos que compran. Más allá de la eficiencia, la Industria 4.0 proporciona un marco para la trazabilidad proactiva en la cadena agroalimentaria, utilizando tecnologías digitales para lograr la Agricultura 4.0 (Corallo *et al.*, 2018).

Las tecnologías digitales se ilustran mediante ejemplos concretos de aplicación, como el Internet de las Cosas (IoT), la computación en la nube, *Big Data*, la inteligencia artificial y los sistemas de soporte para la toma de decisiones, entre otros. Estas tecnologías incluyen dispositivos portátiles con sensores, así como sistemas de monitoreo en tiempo real que supervisan las condiciones completas de los animales en el ganado. Además, se implementan sistemas de riego y fertilización basados en IoT, que mejoran la eficiencia de los procesos de riego y reducen las pérdidas de agua y fertilizantes en campos agrícolas e invernaderos. La agricultura electrónica basada en *blockchain*, junto con soluciones basadas en drones y robótica, contribuyen a disminuir el uso de herbicidas y pesticidas.

Además, el desarrollo de la Agricultura 4.0, o la digitalización de las tecnologías de mecanización agrícola, creará nuevas oportunidades que pueden atraer a jóvenes y emprendedores al sector, abordando algunas de las causas de la migración rural-urbana, y contribuyendo al componente económico de la sostenibilidad (Santos Valle y Kienzle, 2021).

Desafíos de la sostenibilidad para el futuro

Las Organización de las Naciones Unidas (ONU) solicitaron un plan de acción universal vinculado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptado el 25 de septiembre de 2015 para acabar con la pobreza, proteger el planeta y mejorar la vida de todos, en todas partes. Los 17 objetivos forman parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta agenda establece un plan de 15 años (2016-2030) para lograr los objetivos. Estos se planificaron para ayudar a medir el progreso en cada uno de los 193 países que acordaron trabajar para lograr los objetivos (United Nations, 2015).

Como se destaca en el informe elaborado por la iniciativa El Mundo en 2050, los gobiernos que firmaron la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático, están llamando a transformaciones profundas que requerirán acciones complementarias de la sociedad civil, la ciencia y las empresas (TWI 2050, 2018).

A continuación, se enumeran los 17 ODS, como parte de la iniciativa para la sostenibilidad para el futuro (United Nations, 2015):

- | | |
|--|---|
| 1. Fin de la pobreza | 10. Reducción de las desigualdades |
| 2. Hambre cero | 11. Ciudades y comunidades sostenibles |
| 3. Salud y bienestar | 12. Producción y consumo responsables |
| 4. Educación de calidad | 13. Acción por el clima |
| 5. Igualdad de género | 14. Vida submarina |
| 6. Agua limpia y saneamiento | 15. Vida de ecosistemas terrestres |
| 7. Energía asequible y no contaminante | 16. Paz, justicia e instituciones sólidas |
| 8. Trabajo decente y crecimiento económico | 17. Alianzas para los objetivos |
| 9. Industria, innovación e infraestructura | |

Es debido a los anteriores ODS que se debe trabajar desde ya en poder cumplir estos objetivos. Varias tendencias mundiales están influyendo en la seguridad alimentaria, la pobreza y la sostenibilidad general de los sistemas alimentarios y agrícolas.

Los cuatro desarrollos principales que ejercen presión sobre la agricultura para satisfacer las demandas del futuro son: demografía, escasez de recursos naturales, cambio climático y desperdicio de alimentos, los cuales se explican a continuación:

- Un aumento elevado en la demografía impulsará la demanda de alimentos: la población está creciendo y la urbanización está aumentando.
- Los usos actuales de los recursos naturales están altamente estresados: deforestación de tierras no aptas, tala excesiva de vegetación, períodos de barbecho inadecuados, sobrepastoreo, rotación de cultivos inadecuada y uso desequilibrado de fertilizantes.
- El cambio climático está reduciendo la productividad en la agricultura: la agricultura es uno de los principales productores de gases de efecto invernadero (GEI), el cambio climático afectará todos los aspectos de la producción de alimentos, y sin esfuerzos para adaptarse al cambio climático, la inseguridad alimentaria aumentará sustancialmente.
- El desperdicio de alimentos es una ineficiencia masiva del mercado y una amenaza medioambiental.

Resultado de todo lo anterior: pobreza y hambre.

La iniciativa El Mundo en 2050 (Sachs *et al.*, 2019), presentó seis transformaciones de los ODS para lograr las metas de estos objetivos, entre los cuales están: a) La Transformación 4, ha llamado la atención como una de las partes clave que cubre alimentos, tierra, agua y océanos sostenibles; y b) La Transformación 6, cubre la revolución digital para el desarrollo sostenible y se presenta como una fuerza principal que marca la diferencia, y también ha sido señalada como la Cuarta Revolución Industrial.

Agricultura 4.0: la disrupción del sistema es posible con nuevas tecnologías

El sector agrícola zarpa hacia una nueva era de la agricultura llamada Agricultura 4.0, gracias a las nuevas tecnologías digitales emergentes. La Agricultura 4.0 encuentra solución a los problemas agrícolas y ambientales gracias a la digitalización, la automatización y la inteligencia artificial ajustada a diversas tecnologías agrícolas, desde la producción agrícola y ganadera, hasta el deshierbe, el control de plagas y también la cosecha.

Aplicaciones de las nuevas tecnologías en la agroindustria

La Industria 4.0 tiene el potencial de transformar las capacidades de producción de industrias enteras, incluidos los campos agrícolas. La conectividad es la piedra angular de esta transformación: IoT es una tecnología habilitadora clave que forma parte cada vez más de los equipos agrícolas. Las

tecnologías, como IoT (Internet de las Cosas), *Edge Computing*¹, AI (Inteligencia Artificial), robótica, 5G², *blockchain* y *supercomputing*³, tienen el potencial de hacer que la agricultura sea más eficiente, sostenible y competitiva.

A continuación, se presentan algunas definiciones y aplicaciones relacionadas con las tecnologías digitales avanzadas:

Internet de las Cosas en agroindustria. El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la red de dispositivos y servicios inteligentes e interconectados, que son capaces de detectar o incluso escuchar solicitudes. La IoT es una agregación de puntos finales que son identificables de forma única, y que se comunican bidireccionalmente a través de una red utilizando alguna forma de conectividad automatizada. El IoT permite, basándose en sensores en red, conectar, rastrear y administrar productos, sistemas y redes de forma remota (EC, 2021).

Internet de las Cosas (IoT) se ha aplicado principalmente en el monitoreo de cultivos, suelos, riego, clima, sensores remotos, maquinaria, instalaciones agrícolas y campos o medio ambiente, ganado, productos lácteos, condiciones de invernadero y calidad del agua, previsión y predicción de rendimiento y cría de animales (por ejemplo, granja inteligente de vacas, granja inteligente de pollitos, etc.), (Ayaz *et al.*, 2019). Varios investigadores también han citado la aplicación de IoT en la documentación y la trazabilidad, la gestión y la seguridad de la cadena de suministro agrícola y la educación agrícola (Elijah *et al.*, 2018). Además, se ha informado sobre la aplicación de IoT en el manejo de enfermedades y plagas de cultivos, fertilización, fertirrigación y quimigación, fumigación de cultivos y detección de intrusos en campos agrícolas (Javaid *et al.*, 2022). El IoT también se ha aplicado en la gestión de herramientas o equipos agrícolas, incluida la maquinaria agrícola basada en IoT (Zhang *et al.*, 2017) y los sistemas de control de riego basados en IoT (Thakur *et al.*, 2020). Se ha aplicado en muestreo y mapeo de suelos y predicción del clima (predicción de la lluvia).

Computación en la nube. La computación en la nube incluye el uso de herramientas y aplicaciones como almacenamiento de datos, servidores, bases de datos y *software* basados en una red de servidores remotos a través de Internet. Los servicios de computación en la nube permiten a los usuarios almacenar archivos y aplicaciones en un lugar virtual o en la nube, y acceder a todos los datos a través de Internet. Los servicios de nube pública están disponibles en redes públicas, y están abiertos a un cosmos ampliamente ilimitado de usuarios potenciales, diseñados para un mercado, no para una sola empresa (EC, 2021).

1 Consiste en acercar el poder de procesamiento lo más cerca posible de donde los datos están siendo generados. Es decir, consiste en acercar la nube hasta el usuario, hasta el borde mismo (*edge*, en inglés) de la red.

2 5G es la red móvil de quinta generación. Es un nuevo estándar inalámbrico global después de las redes 1G, 2G, 3G y 4G. La 5G permite un nuevo tipo de red que está diseñada para conectar prácticamente a todos y todo, incluidas máquinas, objetos y dispositivos.

3 El término "supercomputación" hace referencia al procesamiento de problemas muy complejos, o con alto consumo de datos, mediante recursos de computación concentrados de varios sistemas informáticos que funcionan en paralelo.

Drones en agroalimentación. Varios investigadores han informado sobre las áreas de aplicación de los drones en supervisión o agricultura de precisión, monitoreo de cultivos, predicción o estimación y optimización de cosechas, pronóstico y gestión de rendimiento, extracción de índices vegetales y prescripciones de tasa variable en agricultura (Bigliardi *et al.*, 2020). La aplicación de drones en fumigación o aspersion de cultivos (fertilizantes, pesticidas, herbicidas), espantapájaros eficientes para aves e insectos, detección de enfermedades o evaluación y control de la salud, polinización, modelado de cultivos en 3D, se ha informado en vastos estudios (Srinivas *et al.*, 2019). Los drones también se han aplicado en la planificación, producción y gestión de desastres y seguros (gestión de siniestros agrícolas), (Hagera *et al.*, 2018). Asimismo, se observa la aplicación de drones en análisis de perfiles de suelo, campo, presencia de malezas, perfil de nutrientes, humedad, salud de las plantas, abundancia de hongos y drenaje. Los drones también han encontrado su aplicación en la siembra de ariel o semillas, fenotipado a nivel de campo, riego de cultivos y protección contra heladas (Sylvester, 2018).

Inteligencia Artificial. La Inteligencia Artificial (IA) es un término utilizado para definir las máquinas que logran funciones cognitivas similares a las humanas, como aprender, comprender, razonar o interactuar. Comprende diferentes formas de cognición y comprensión del significado (por ejemplo, reconocimiento de voz, procesamiento del lenguaje natural) e interacción humana (por ejemplo, detección de señales, control inteligente, simuladores). En términos de su base tecnológica, la IA es un campo muy heterogéneo. Si bien algunos aspectos como sensores, chips, robots y ciertas aplicaciones como conducción autónoma, logística o instrumentos médicos se refieren a componentes de *hardware*, una parte relevante de la IA se basa en algoritmos y *software* (EC, 2021).

Blockchain en agroalimentación. *Blockchain* es un libro mayor compartido, digital e inmutable, que facilita el proceso de registro de transacciones y seguimiento de activos en una red comercial. La tecnología de registros compartidos permite agregar nuevas transacciones a una cadena de transacciones existente, utilizando una firma segura, digital o criptográfica. Los activos pueden ser tangibles (casa, automóvil, efectivo, terreno) o intangibles (propiedad intelectual, patentes, derechos de autor, marca). Los protocolos de cadena de bloques agregan, validan y transmiten transacciones dentro de la red de cadena de bloques. Casi cualquier cosa de valor puede rastrearse y tramitarse en una red de cadena de bloques, lo que reduce el riesgo y reduce todos los costos involucrados en el negocio. *Blockchain* es ideal para presentar información, ya que proporciona información instantánea, compartida y completamente transparente almacenada en un libro mayor no modificable, al que solo pueden acceder los miembros autorizados de la red. Una red *blockchain* puede rastrear pedidos, pagos, cuentas, producción y mucho más. Como los miembros comparten una sola visión de la verdad, todos los detalles de una transacción se pueden ver de principio a fin; por lo tanto, creando nuevas eficiencias y oportunidades, así como una mayor confianza (EC, 2021).

La tecnología *blockchain* se ha aplicado, principalmente, en la trazabilidad de alimentos y agricultura, contratos inteligentes y seguros de cosechas, comercio de alimentos, gobernanza y registros de la tierra, servicios financieros en agricultura, transporte y agrológica, y supervisión y gestión de la cadena de suministro agrícola (Demestichas *et al.*, 2020). Además, *blockchain* se ha utilizado en la integridad alimentaria, la seguridad alimentaria, la reducción de desechos y la conciencia ambiental (Kalimaris *et al.*, 2019).

Big Data. Es un término que describe el aumento continuo de datos y las tecnologías necesarias para recopilarlos, almacenarlos, administrarlos y analizarlos. Es un fenómeno complejo y multidimensional que afecta a las personas, los procesos y la tecnología. *Big Data* generalmente se caracteriza por "cuatro v": volumen (tamaño de los conjuntos de datos), velocidad (alta velocidad de procesamiento de datos), variedad (diferentes tipos y fuentes de datos utilizados) y veracidad (alta calidad de los datos analizados), (EC, 2021).

Los *Big Data* se están utilizando en la agricultura inteligente, la teledetección, la predicción del rendimiento de los cultivos y la selección de cultivos (Tseng *et al.*, 2019). Las aplicaciones de *Big Data* en la planificación y gestión de cultivos o fincas, la política y el comercio agrícolas, la trazabilidad de la granja a la mesa y la gestión de la cadena de suministro de subproductos agroalimentarios se han citado en la literatura (Delgado *et al.*, 2019). Además, las áreas de aplicación de *Big Data* incluyen la predicción de enfermedades de cultivos, la detección de malezas y el mejoramiento de plantas. Tantalaki *et al.* (2019), han informado sobre la aplicación de *Big Data* en el pronóstico del tiempo y la estimación de los componentes del suelo, la temperatura y el contenido de humedad del suelo.

Bioteología industrial. La bioteología industrial es el dominio de aplicación de la bioteología para la industria en la producción y procesamiento de productos químicos, materiales y combustibles. Esta tecnología involucra las prácticas relacionadas con el uso de microorganismos o enzimas, para generar productos útiles industrialmente de una manera más eficiente (por ejemplo, menos uso de energía o menos subproductos) sin procesos petroquímicos convencionales (EC, 2021).

Robótica. Los robots agrícolas se pueden usar para monitorear cultivos y fenotipado de plantas, estimación de rendimiento, muestreo de suelo, riego inteligente, fumigación inteligente, ordeño lechero, tareas de clasificación, detección de enfermedades, control de malezas y plagas, siembra, cosecha, monitoreo ambiental y poda. Los UAV⁴ y UGV⁵ son robots que se utilizan tanto en el aire como en tierra para aplicaciones agrícolas (EC, 2021).

La tecnología robótica se ha utilizado mucho en la detección y el control de malezas, fumigación dirigida, monitoreo y control de plagas y enfermedades, poda, aclareo, siega, polinización, fertilización (Mitra, 2019; Steward *et al.*, 2019). Las aplicaciones de la robótica en la cosecha (recolección de frutos),

4 Vehículo aéreo no tripulado: drones, robots.

5 Vehículo terrestre no tripulado: drones, robots.

monitoreo del estado de los cultivos, conteo de cultivos y clasificación de especies de plantas también han sido reportadas por un gran número de investigadores (Albiero, 2019; Lampridi *et al.*, 2019). La tecnología robótica también se ha utilizado en siembra, siembra y trasplante, fenotipado, laboreo de la tierra (arado, grada, rotocultivado y cultivo) y análisis de suelos y campos. Las aplicaciones de la robótica en la navegación autónoma (planificación del diseño del campo, planificación de rutas y movimientos de vehículos), visión por computadora, sistemas de control remoto y sistemas de riego han sido citadas en muchos estudios (Albiero, 2019). La robótica se ha utilizado en el manejo del ganado (ganado lechero, cerdos, pollos), ordeño de animales, eliminación de desechos de los corrales de los animales, transporte y movimiento de alimentos, manipuladores y transporte. Además, la robótica también se ha aplicado en el etiquetado y seguimiento de productos alimenticios (Duckett *et al.*, 2018).

Nanotecnología. La nanotecnología es un término general que abarca desde el diseño hasta la aplicación y producción estructural, dispositivos y sistemas mediante el control de la forma y el tamaño a escala nanométrica. La nanotecnología tiene un potencial revolucionario para el desarrollo de nanodispositivos y microdispositivos, y sistemas inteligentes en campos como la agricultura, la salud, la energía, el medio ambiente y la fabricación. El uso de la nanotecnología en la agricultura permite soluciones inteligentes para nutrientes, pesticidas y materiales genéticos para mejorar la fertilidad y la protección del suelo, gracias a una mejor tolerancia al estrés. Los sensores basados en nanotecnología se pueden usar para monitorear factores completos que afectan la productividad en la agricultura inteligente. Además, la nanotecnología se puede utilizar en el procesamiento y envasado de alimentos después de la cosecha, para reducir la contaminación y el desperdicio de alimentos (EC, 2021).

Fotónica. La fotónica es un campo multidisciplinario relacionado con la luz que incluye la generación de energía, la detección y la gestión de procesos, dispositivos como componentes electrónicos y fotodiodos, láseres y LED. Permite la base tecnológica para la conversión económica de la luz solar en electricidad para los sistemas de energía solar (EC, 2021).

Virtualización de la gestión de una cadena de suministro a través del Internet de las Cosas (IoT)

Una cadena de suministro es un conjunto de entidades y procesos que intervienen en el cumplimiento de un pedido de un cliente. Las entidades a menudo incluyen proveedores, fábricas, distribuidores, minoristas y clientes. Como lo indica Hassini (2011), el rol de la gestión de la cadena de suministro es maximizar el excedente: el precio pagado por el cliente final menos todos los costos incurridos a lo largo de la cadena de suministro.

De acuerdo a De Vass *et al.* (2021), el Internet de las Cosas es una red de objetos físicos que están conectados digitalmente para detectar, monitorear e interactuar dentro de una empresa y entre la empresa y su cadena de suministro, lo que permite agilidad, visibilidad, seguimiento e intercambio de información, para facilitar la planificación, el control y la coordinación oportuna de los procesos de la cadena de suministro.

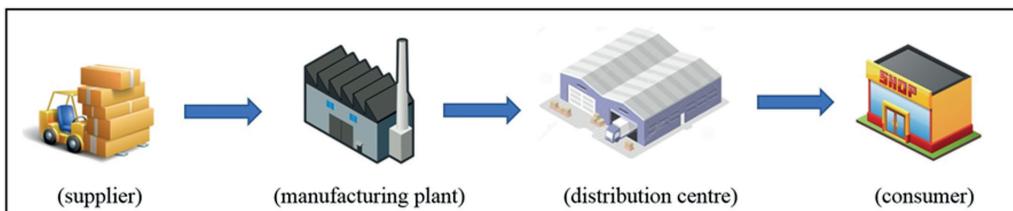
Un marco para comprender las cadenas de suministro es la visión centrada en el proceso de la cadena de suministro (Chopra y Meindl, 2013). El modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*)⁶ es un marco bien conocido que divide los procesos de la cadena de suministro en planificar, obtener, fabricar, entregar, devolver y habilitar (APICS, 2017). Este modelo ha sido ampliamente aceptado en la práctica, en gran parte debido a su capacidad para vincular los procesos con las métricas de rendimiento y, como tal, se ha empleado para realizar revisiones de la literatura relacionada con la cadena de suministro con vistas centradas en el proceso. La IoT brinda varias capacidades para ayudar a la gestión de la cadena de suministro, como el ahorro de costos, la precisión del inventario y el seguimiento de productos. Sin embargo, se desconoce el alcance del impacto de la IoT en los diferentes procesos de la cadena de suministro. Por lo tanto, el objetivo es identificar el papel de la IoT en la gestión de la cadena de suministro, a través de un análisis sistemático en función de qué proceso de la cadena de suministro se ve afectado.

La gestión de empresas multinacionales implica decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo, y se relaciona con sistemas logísticos de múltiples productos y múltiples plantas, que implican producción, ensamblaje y distribución.

El *Supply Chain Network Design* (SCND)⁷ es una red que conecta instalaciones de diferentes niveles. El nivel superior corresponde a los proveedores o plantas mientras que el nivel inferior corresponde a los consumidores o zonas de demanda. Las rutas que unen estas instalaciones representan secuencias de actividades de la red de la cadena de suministro, para garantizar que se entregue el producto o servicio. Las actividades de la red se refieren a las actividades económicas asociadas con el flujo de productos o servicios a través de la etapa inicial de materia prima hasta el usuario final. Los proveedores proporcionarán las materias primas al fabricante donde se lleva a cabo la producción. Luego, el producto se almacenará en los centros de distribución antes del envío, que depende de las instrucciones de entrega específicas del cliente. El SCND puede tener diferentes etapas o fases, dependiendo del número de instalaciones que se conecten, como se puede ver en la Figura 1:

Figura 1

Diseño de la red de la cadena de suministro.



Fuente: Misni y Lee (2017).

⁶ Es el marco de referencia para las operaciones de la cadena de suministro.

⁷ Diseño de la red de la cadena de suministro.

En la Tabla 1 se pueden observar las diferentes actividades que conlleva una cadena de suministro, y algunas decisiones que se tienen que tomar dentro de estas actividades, ya sea de tipo estratégico, operacional y táctico. Asimismo, las herramientas utilizadas como afectan a Internet e IoT:

Tabla 1

Actividades y decisiones de la cadena de suministro.

Actividad	Decisión estratégica	Decisión táctica y operacional	Internet	IoT
Comprar	Selección de proveedores, la cooperación a largo plazo frente a ofertas de corto plazo.	Tipo y cantidad del material a ser adquiridos; fecha, hora y lugar de llegada.	E-Procurement: utilizan Internet para comprar. E-collaboration: utilizan Internet para negociar y compartir información.	Utilizan IoT para saber el estado en tiempo real del material que se puede comprar.
Fabricar	Ubicación de la fábrica; externalización frente a producción propia en el modo de producción.	Programación de la producción; la asignación de recursos; fecha de vencimiento.	E-Collaboration: coordinan el momento de la producción, la asignación de recursos, y la alternancia de la fecha de vencimiento.	Utilizan el IoT para optimizar y supervisar el proceso de producción en tiempo real.
Transportar	Red de transporte; externalización frente red propia.	Planificación de rutas óptimas para vehículos.	Usan Internet para: conducción asistida, etiquetado móvil, monitorización, mapas.	Utilizan el IoT en la obtención de información sobre el estado y la ubicación de los productos durante el transporte.
Almacenar	Ubicación de almacén; selección de la estrategia de gestión de inventario.	Operaciones de carga / descarga; nivel de inventario.	Usan Internet para la gestión de inventario (de forma conjunta). VMI (Vendor Managed Inventory).	Permite la información dinámica sobre el inventario automáticamente.
Comercializar	Previsión de la demanda; diseño de la red de distribución.	Orden de cumplimiento; servicio al cliente.	E-Commerce: identificar y responder rápidamente a los cambios en la demanda.	Los clientes pueden entender el proceso de fabricación y transporte sobre IoT.

Fuente: Alandí (2016).

En la planificación de decisiones a nivel estratégico, se diseña la red logística prescribiendo las ubicaciones de las instalaciones, las tecnologías de producción y las capacidades de las plantas. Deben actuar en conjunto formando una red. La red debe integrarse con los proveedores y los canales de transporte a los clientes. Además de los costos de mano de obra y transporte, debe considerar otros temas como la infraestructura, el entorno comercial general, la cercanía a los mercados y proveedores, los impuestos y aranceles, las alianzas estratégicas y las empresas conjuntas. En general, la producción y el ensamblaje de cada producto pueden realizarse en un conjunto de instalaciones relacionadas, cada una de las cuales puede estar ubicada en un país diferente.

También incluye decisiones tales como:

- Fuentes únicas frente a múltiples proveedores,

- Compartir tecnología, y
- Decisiones de ubicación.

El nivel táctico prescribe la política de gestión del flujo de materiales, incluidos los niveles de producción en todas las plantas, la política de ensamblaje, los niveles de inventario y el tamaño de los lotes. Se ocupa del flujo de materiales desde los proveedores hasta las instalaciones de producción, las plantas de ensamblaje, los almacenes y los clientes. El nivel estratégico debe hacer frente a una serie de incertidumbres, y el nivel táctico, que se ocupa del horizonte temporal de quizás 6 - 24 meses, brinda la oportunidad de refinar los planes de producción para compensar los procesos políticos y financieros a medida que se desarrollan. Los productos solicitados para entrega a corto plazo pueden conocerse con certeza, pero, aun así, los períodos posteriores en el horizonte táctico pueden estar sujetos a cierto grado de incertidumbre (Okongwu *et al.*, 2016).

La planificación táctica se centra en metas y objetivos específicos. Esto incluye:

- Estrategias de compra,
- Transporte,
- Ubicaciones de almacenes y centros de distribución, y
- Canales de distribución.

El nivel operativo programa las operaciones para asegurar la entrega a tiempo de los productos finales a los clientes. En contraste con los niveles estratégico y táctico, poca investigación se ha dirigido hacia la programación de operaciones multinacionales de múltiples niveles. Una razón para esto puede ser que los problemas de programación pueden verse como específicos del grado de centralización (o descentralización) de la gestión, las medidas de desempeño utilizadas para evaluar a los gerentes y la configuración del proceso (por ejemplo, tienda, organización celular). Sin embargo, el nivel operativo puede afectar significativamente el servicio al cliente, por lo que es un componente importante para proporcionar un sistema logístico unificado (Ben Daya *et al.*, 2019).

La planificación operativa se centra en las tareas del día a día y detalla cómo se deben llevar a cabo estas tareas para lograr los objetivos de la empresa. Esto incluye:

- Configuración de horarios,
- Mantener los niveles de inventario,
- Coordinación de recursos, y
- Garantizar la calidad, la entrega a tiempo y el costo.

Recomendación

¿Qué deberían hacer los gobiernos ante esta urgente necesidad alimentaria? Los gobiernos deben mejorar el ecosistema y habilitar el medio ambiente, ofrecer incentivos financieros, flexibilidad regulatoria y proporcionar infraestructura a un precio asequible.

Los gobiernos deben estar a la vanguardia para abordar el problema de la seguridad alimentaria. Deben permitir el progreso a través de incentivos sensatos y una regulación inteligente. Hacer eso significa tomar las lecciones aprendidas de anteriores programas exitosos de innovación sobre agroindustria, y aplicarlas para terminar con la escasez de alimentos (FAO, 2018). También significa definir claramente los objetivos, pero al mismo tiempo dejar los detalles a los innovadores (Industria 4.0) y la gente en el terreno. Se pueden considerar varios pasos en esta dirección:

- Armonizar los sistemas de seguridad alimentaria,
- Aumentar la transparencia de la calidad en el proceso,
- Desarrollar un centro nacional de excelencia en investigación y colaboración en seguridad alimentaria,
- Investigar y considerar los impactos de las barreras no arancelarias al comercio, y
- Mejorar las capacidades nacionales de análisis de alimentos.

Los gobiernos pueden desempeñar un papel clave en el fomento de la colaboración, que es esencial para lograr escala, eficiencia y agilidad en las cadenas de valor y los mercados cambiantes, en particular donde el mercado interno es pequeño, como el caso de El Salvador, y la industria consiste en empresas relativamente pequeñas.

Conclusiones

En la nueva era digital que comenzó con la revolución de la Industria 4.0, surgieron las capacidades de producción de todas las industrias gracias a las innovaciones, incluida la agricultura, que tendrá que transformarse para alimentar a la población mundial en rápido crecimiento.

La agricultura inteligente es la gestión agrícola en tiempo real que proporciona un alto grado de automatización, y una toma de decisiones inteligente basada en datos para mejorar la productividad y ahorrar recursos naturales. Las tecnologías digitales pueden apoyar la producción de alimentos seguros, sostenibles y de calidad por parte de los agricultores. Las innovaciones tecnológicas pueden ayudarnos a superar muchos de los desafíos económicos, sociales y ambientales que enfrenta la agricultura hoy en día. Las tecnologías novedosas como el Internet de las Cosas, la computación en la nube, los macrodatos, la Inteligencia Artificial, los drones y la robótica, hacen que los procesos sean más eficientes e impulsan la creación de nuevos productos y servicios, y agilizan las operaciones agrícolas.

La tecnología impulsada por la Agricultura 4.0 es la IoT que brinda la capacidad de conectarse de manera segura de extremo a extremo a cualquier cosa, en cualquier lugar. En IoT, se pueden utilizar numerosas redes de sensores inalámbricos desplegadas en el campo junto con tecnologías en la nube. Los grandes datos recopilados específicos del sitio se transforman en un conjunto de datos significativos que se utilizarán en los sistemas de soporte de decisiones para aplicaciones inteligentes. La información capturada en el campo se puede examinar mediante técnicas computacionales para

revelar tendencias y patrones, y la información interactiva sobre el comportamiento humano, el medio ambiente y las experiencias se puede transformar en acciones eficientes.

Mediante el uso de tecnologías de agricultura inteligente y técnicas basadas en datos, será posible monitorear en tiempo real cómo se utilizan el agua, los productos químicos y la energía para la producción de alimentos, y alimentos para animales saludables, y qué efectos ambientales puede causar la actividad agrícola aplicada. Sin embargo, esto requiere el desarrollo de políticas nacionales e internacionales, la implementación de estrategias y el control y supervisión de procesos.

Aunque las tecnologías basadas en datos juegan un papel clave en todas las etapas de la producción de alimentos y piensos en los sistemas agroalimentarios del futuro, nada de esto puede suceder sin suficiente energía y agua desde la granja hasta la mesa. Que la energía utilizada en la agricultura sea limpia y sostenible, sin contaminación química del agua, es vital para acceder a agua dulce y energía limpia para todos, y para una mejor reconstrucción después de la pandemia por COVID-19.

La gestión estratégica de la cadena de suministro tiene un impacto directo en el desempeño de una empresa, ya que mejora las capacidades de la empresa para sobresalir en el entorno empresarial que cambia rápidamente, con un enfoque aún mayor en el cliente. Para ser competitivas, las empresas deben diseñar y gestionar una cadena de suministro que sea ágil, adaptable, segura y alineada, es decir, desarrollar la cadena de suministro estratégica. En consecuencia, las cadenas de suministro estratégicas transforman la cadena de suministro tradicional de un rol funcional a un tema central del negocio. Las empresas que desarrollan efectivamente una cadena de suministro estratégica se diferencian de otras empresas en varias formas: mayor capacidad de respuesta, resiliencia, confiabilidad y mejor realineación con los socios de la cadena de suministro.

Referencias

- Ahmed, J., Almeida, E., Aminetzah, D., Denis, N., Henderson, K., Katz, J., Kitchel, H. y Mannion, P. (2020). Agriculture and climate change. *Agriculture and Climate Change*, April, pp. 1–52. <https://doi.org/10.4060/cb1593en>
- Alandí, A. (2016). Estudio de la implantación de la Internet de las Cosas, en las redes logísticas de la cadena de suministro. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70877/TFM%20Antonio%20Alandi%20Pajares%20vFinal_14677296699121519159909338212499.pdf?sequence=3
- Albiero, D. (2019). Agricultural robotics: a promising challenge. *Current agriculture research journal*, 7(1), 01–03. <https://doi.org/10.12944/carj.7.1.01>

- Anshari, M., Almunawar, M. N., Masri, M. y Hamdan, M. (2019). Digital marketplace and Fin-Tech to support agriculture sustainability. *Energy Procedia*, 156(2018), pp. 234–238. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.134>
- APICS. (2017). *Supply chain operations reference model. SCOR version 12.0* <https://www.apics.org/docs/default-source/scor-training/scor-v12-0-framework-introduction.pdf?sfvrsn=2>
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F. y Ramalho, J. C. (2021). Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, 11(4), 0–37. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>
- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A. y Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: toward making the fields talk. *IEEE Access*, 7, pp. 129551–129583. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609>
- Ben-Daya, M., Hassini, E. y Bahroun, Z. (2019). Internet of things and supply chain management: a literature review. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), pp. 4719–4742. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140>
- Bigliardi, B., Bottani, E. y Casella, G. (2020). Enabling technologies , application areas and impact of industry 4.0: a bibliographic analysis. *Procedia Manufacturing*, 42(2019), pp. 322–326. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.086>
- Bonneau, V., Copigneaux, B., Probst, L. y Pedersen, B. (2017). *Industry 4.0 in agriculture: focus on IoT aspects*. https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Agriculture_4.0_IoT_v1.pdf
- Chopra, S. y Meindl, P. (2013). *Supply chain management: strategy, planning and operation*. In Pearson Education, Inc. (Vol. 56, Issue 4). <https://doi.org/10.1108/ijppm.2007.56.4.369.1>
- Corallo, A., Latino, M. E. y Menegoli, M. (2018). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: a framework to manage product data in agri-food supply chain for voluntary traceability. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Nutrition and Food Engineering*. Vol:12, No:5. <https://elk.adalidda.com/2019/01/10008961.pdf>
- De Vass, T., Shee, H. y Miah, S. J. (2021). IoT in supply chain management: opportunities and challenges for businesses in early industry 4.0 context. *Operations and Supply Chain Management*, 14(2), pp. 148–161. <https://doi.org/10.31387/oscm0450293>

- Delgado, J. A., Short, N. M., Roberts, D. P. y Vandenberg, B. (2019). Big Data analysis for sustainable agriculture on a geospatial cloud framework. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3(July), pp. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00054>
- Demestichas, K., Peppes, N., Alexakis, T. y Adamopoulou, E. (2020). Blockchain in agriculture traceability systems: a review. *MDPI Applied Sciences*, 10(4113), pp. 1–22. <https://doi.org/10.3390/app10124113>
- Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S. y Grieve, B. (2018). Agricultural robotics: the future of robotic agriculture. *UK-RAS Network*, pp. 1–36. <https://doi.org/10.31256/WP2018.2>
- EC (2021). *European Commission Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs Advanced Technologies for Industry*. <https://ati.ec.europa.eu/technologies/Internet-things>
- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y. y Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), pp. 3758–3773. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>
- Fielke, S., Taylor, B. y Jakku, E. (2020). Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: a state-of-the-art review. *Agricultural Systems*, 180, 102763. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102763>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2017). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022*. <https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-state-of-food-and-agriculture/es>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2018). *20 success stories of agricultural innovation from the innovation fair*. The International Symposium Agricultural Innovation For Family Farmers. <https://www.fao.org/3/CA2588EN/ca2588en.pdf>
- Guerrero, S., Henderson, B., Valin, H., Janssens, C., Havlik, P. y Palazzo, A. (2022). *The impacts of agricultural trade and support policy reform on climate change adaptation and environmental performance*. A model-based analysis. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. <https://doi.org/10.1787/520dd70d-en>
- Hagera, M. U., Krishna, K. L. y Anuradha, K. (2018). Implementation of smart home automation with enhanced security. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 4(4), pp. 528–532. <https://ijsrset.com/IJSRSET1844143>

- Hassini, E. (2011). Editorial. *Int. J. Logistics Systems and Management*, Vol. 8, No. 2, pp. 119-122. <https://www.inderscience.com/info/dl.php?filename=2011/ijlsm-2448.pdf>
- Hoff, H. (2011). *Understanding the nexus*. Background Paper for the Bonn 2011 conference: the water, energy and food security nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm. <https://www.sei.org/publications/understanding-the-nexus/>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P. y Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3(July), pp. 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>
- Kamilaris, A., Fonts, A. y Boldú, F. X. P.-. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, pp. 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034>
- Klerkx, L. y Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, 24(2019), 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Lampridi, M. G., Kateris, D., Vasileiadis, G., Marinoudi, V., Pearson, S., Sørensen, C. G., Balafoutis, A. y Bochtis, D. (2019). A case-based economic assessment of robotics employment in precision arable farming. *Agronomy*, 9(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040175>
- Lou, P., Liu, Q., Zhou, Z. y Wang, H. (2011). Agile supply chain management over the Internet of Things. *2011 International Conference on Management and Service Science*, Wuhan, China, 2011, pp. 1-4, doi: [10.1109/ICMSS.2011.5998314](https://doi.org/10.1109/ICMSS.2011.5998314)
- Misni, F. y Lee, L. S. (2017). A review on strategic, tactical and operational decision planning in reverse logistics of green supply chain network design. *Journal of Computer and Communications*, 05(08), 83–104. <https://doi.org/10.4236/jcc.2017.58007>
- Mitra, M. (2019). Robotic farmers in agriculture. *Advances in Robotics & Mechanical Engineering*, 1(5), 1–4. <https://doi.org/10.32474/arme.2019.01.000125>
- Okongwu, U., Lauras, M., François, J. y Deschamps, J. C. (2016). Impact of the integration of tactical supply chain planning determinants on performance. *Journal of Manufacturing Systems*, 38, pp. 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.10.003>
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N. y Rockström, J. (2019).

Six transformations to achieve the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 2(9), pp. 805–814. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9>

Santos Valle, S. y Kienzle, J. (2021). Agricultura 4.0: robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible. *Gestión Integrada de Cultivos*. FAO, 24, pp. 1–40. <https://doi.org/10.46420/9786599064159>

Srinivas, B., Namwade, G., Ahirwar, S. y raghunandan, S. (2019). Application of drone in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(January). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.264>

Steenland, A. (2022). *2022 Global Agricultural Productivity Report: troublesomet trends and system shocks*. <https://globalagriculturalproductivity.org/wp-content/uploads/2022/11/2022-GAP-Report-final-110922.pdf>

Steenland, A. (2021). *Global Agricultural Productivity Report: climate for sustainable agricultural growth*. In T. Thompson (Ed.) Virginia Tech College of Agriculture and Life Sciences. www.globalagriculturalproductivity.org

Steward, B., Gai, J. y Tang, L. (2019). The use of agricultural robots in weed management and control. *Agricultural and Biosystems Engineering Publications*, 44(June), pp. 1–30. <https://doi.org/10.19103/as.2019.0056.13>

Sylvester, G. (2018). *E-Agriculture in action: drones for agriculture*. <https://www.fao.org/3/I8494EN/i8494en.pdf>

Tantalaki, N., Souravlas, S. y Roumeliotis, M. (2019). Data-driven decision making in precision agriculture: the rise of Big Data in agricultural systems. *Journal of Agricultural and Food Information*, 20(4), pp. 344–380. <https://doi.org/10.1080/10496505.2019.1638264>

Thakur, D., Kumar, Y. y Vijendra, S. (2020). Smart irrigation and intrusions detection in agricultural fields using I.o.T. *Procedia Computer Science*, 167, pp. 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.193>

Tian, H., Lu, C., Pan, S., Yang, J., Miao, R., Ren, W., Yu, Q., Fu, B., Jin, F-F., Lu, Y., Melillo, J., Ouyang, Z., Palm, C. y Reilly, J. (2018). Optimizing resource use efficiencies for sustainable agriculture. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, April, 1–22. <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>

- Tseng, F. H., Cho, H. H. y Wu, H. Te. (2019). Applying big data for intelligent agriculture-based crop selection analysis. *IEEE Access*, 7(April), pp. 116965–116974. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2935564>
- The World In 2050 [TWI 2050]. (2018). *Transformations to Achieve the Sustainable Development Goals*. International Institute for Applied Systems Analysis. https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15347/1/TWI2050_Report081118-web-new.pdf
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for sustainable development*. In United Nations General Assembly. <https://doi.org/10.1201/b20466-7>
- Zhang, R., Hao, F. y Sun, X. (2017). The design of agricultural machinery service management system based on Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 107, 53–57. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.03.055>