

Fourth Industrial Revolution Technologies for Agriculture Sector: a trend analysis in Agriculture 4.0

Diego-Hernando Flórez-Martínez¹, PhD, and Claudia Patricia Uribe-Galvis, MSc¹
¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Colombia.

Abstract– Technological advances in different fields of knowledge and the immersion of information and communications technologies (ICT) in all human activities, mark the concept of a new era, in which industries combine both physical, digital and biological capacities, towards the creation of value, in what is called Industry 4.0 or Fourth Industrial Revolution (4RI). The agricultural sector is no stranger to these major changes that direct its actions in the short, medium and long term, so researchers, public policy makers and private companies have generated key knowledge around Agriculture 4.0. The incorporation of 4RI technology in the agricultural sector implies understanding how they can contribute and generate synergies with traditional knowledge to face the challenges that from research, technological development and innovation activities are considered a priority. This leads to the need to understand the dynamics of scientific and technological knowledge, through technological surveillance with a scientometric approach. This research identifies the trends, technologies and key challenges for the development of Agriculture 4.0, in the advent of Revolution 5.0 "a human revolution".

Keywords– information and communication technologies, fourth industrial revolution, agriculture 4.0, industry 4.0, converging technologies.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.11>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Tecnologías de la cuarta revolución industrial para el sector agropecuario: un análisis de tendencias en la Agricultura 4.0

Diego-Hernando Flórez-Martínez¹, PhD, and Claudia Patricia Uribe-Galvis, MSc¹

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Colombia.

Resumen—Los avances tecnológicos en diferentes campos del conocimiento y la inmersión de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), en todas las actividades humanas, marcan el concepto de una nueva era, en la que la industria combina lo físico, lo digital y lo biológico, hacia la creación de valor, en lo que se denomina La Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial (4RI). El sector agropecuario no es ajeno a estos cambios mayores que direccionan su accionar en el corto, mediano y largo plazo, por lo que investigadores, formuladores de políticas pública y la empresa privada han generado conocimiento clave entorno a una Agricultura 4.0. La incorporación de tecnología de la 4RI en el sector agropecuario, implican entender cómo pueden coadyuvar y generar sinergias con los conocimientos tradicionales para afrontar los retos que desde las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación se consideran prioritarias. Lo anterior conlleva a la necesidad de entender las dinámicas del conocimiento científico y tecnológico, a través de una vigilancia tecnológica con enfoque cuantitativo. En esta investigación se identifican las tendencias, tecnologías y retos clave para el desarrollo de la Agricultura 4.0, en el advenimiento de la revolución 5.0 “una revolución humana”.

Palabras Clave— agricultura 4.0, cuarta revolución industrial, industria 4.0, tecnologías convergentes, tecnologías de la información y las comunicaciones

I. INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial también conocida por las siglas 4RI representa un cambio fundamental en la manera como se desarrollan las actividades laborales, diarias y de relacionamiento [1]. El término aparece por primera vez en la feria tecnológica de Hannover 2011 y en la misma feria en el año 2013 con informe detallado del concepto y sus implicaciones. Su concepto más ampliamente difundido es el de un conjunto de procesos que conlleva a la completa automatización e interconexión de la producción a través de sistemas ciber-físicos (*Cyber-physical Systems*), lo que conlleva a una automatización inteligente (*Smart automation*) [2].

La industria 4.0 se considera una estrategia de posicionamiento e influencia tecnológica, orientada a la explotación de nuevas tecnologías y conceptos asociados a la digitalización, que potencialmente contribuirían a la reducción entre el 10-30% de los costos de producción y logísticos, y entre el 10-20% los costos de control de calidad [3].

Otras ventajas asociadas a la industria 4.0 son: i) tiempos más cortos para la inserción de productos en el mercado; ii) mejora de la respuesta del cliente; iii) incrementar la producción en masa, sin incrementar costos; iv) ambientes de trabajo flexibles y amigables; v) uso más eficiente de la energía y los recursos naturales; y, vi) fusión de tecnologías y transdisciplinariedad para la creación de nuevas fronteras de conocimiento.

Esta fusión de tecnologías ha generado que sectores productivos primarios como el agropecuario, incorporen gradualmente tecnologías que le permitan afrontar a sus actores (*Stakeholders*) los retos y desafíos globales en un futuro cercano cómo: i) incremento poblacional, 9,7 billones a 2050; ii) uso sostenible de los recursos de la biodiversidad; iii) garantizar una base de recursos naturales; iv) seguridad alimentaria; v) sistemas productivos eficientes, incluyentes y resilientes; y, vi) control de plagas y enfermedades; y, vi) gobernanza local, regional, nacional y transnacional [4].

Este marco de retos y oportunidades conlleva a la premisa que la incorporación de las dinámicas de la 4IR, deben propender por una Agricultura 4.0 verde y basada en I+D+i, orientada a las necesidades del consumidor, que dinamice las cadenas productivas agroalimentarias y genere una reingeniería sectorial [5]. Sin embargo, este marco tecnológico influencia a todos los actores involucrados no solo en las cadenas productivas agroalimentarias, sino también a aquellos formuladores de política pública y entes que ejercen y propician la gobernanza sectorial [6].

Dicha gobernanza debe evolucionar bajo las mismas dinámicas de la tecnología, garantizando la seguridad alimentaria de cada país, así como disminuir la dependencia de importaciones, incrementar la transparencia en los procesos de distribución, fortalecer la inversión en I+D, promover redes de colaboración transnacionales, y vincular al productor como actor social [6].

El objetivo de la Agricultura 4.0 recae en la incorporación de las tecnologías de la industria 4.0 a lo largo de los eslabones de sus cadenas productivas, desde la provisión de insumos, pasando por la producción primaria, la agroindustria de transformación, la distribución (*supply chain*) y finalmente la comercialización de productos con valor agregado en el marco de negocios agroalimentarios (*agrifood business*) [7].

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.11>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Dichas tecnologías son principalmente: el aprendizaje de máquina (*machine learning*), los sistemas expertos (*expert systems*), la inteligencia artificial (*artificial intelligence*), la analítica de datos (*data analytics*), la gestión de volúmenes masivos de datos (*BigData*), las cadenas de bloque (*blockchain*), la computación en la nube, el borde y la niebla (*fog, cloud, and edge computing*), el internet de las cosas (*internet of things*), la inteligencia de negocios (*business intelligence*) y los sistemas de gestión de conocimiento y soporte a la toma de decisiones (*Knowledge management Systems -KMS-; decision support Systems -DSS-*) [8], [9].

Si bien existen aproximaciones diversas al concepto de agricultura 4.0, cómo agricultura inteligente (*Smart farming*), agricultura de precisión (*precision farming*), agricultura digital (*digital agriculture*), agricultura de decisión (*decision agriculture*), agroindustria 4.0 (agri-industry 4.0) y agronegocios 4.0 (Agribusiness 4.0), la digitalización de las cadenas productivas comprende fundamentalmente la identificación y adquisición de datos (localización, clima, comportamiento fisiológico, estado fitosanitario, suministro de insumos, consumo de energía, precios, información económica, etc.), a través de sensores, máquinas, drones, aplicativos móviles, satélites para ser monitoreados, transferidos y analizados en tiempo real, permitiendo entender el pasado, predecir el futuro, y tomar decisiones basadas en conocimiento [10].

La Agricultura 4.0 busca generar un punto conceptual en el que, se entienda como un incremento sostenido en la vinculación de las tecnologías de la información y las comunicaciones, conlleva al desarrollo de sistemas inteligentes interconectados, que combinan, analizan y generan datos a partir de diferentes fuentes, con el objetivo de incrementar la productividad y competitividad [11].

Autores como De Clercq, Vats y Biel proponen tres grandes tendencias tecnológicas en la agroindustria 4.0: i) producir diferente implementando nuevas técnicas y tecnologías como los cultivos hidropónicos, cultivos de algas, incorporación de bioplásticos en agricultura como compostaje, unidades productivas en ambientes con condiciones adversas (desiertos y océanos); ii) uso de nuevas tecnologías para llevar el producto al consumidor, con mayor eficiencia, calidad y sostenibilidad en la cadena de suministros, nuevas zonas de producción de agricultura vertical y urbana, modificación genética para diseño de alimentos en laboratorio (ej. Carne), tecnologías de impresión 3D para alimentos, utilizando algas como materia prima; y, iii) incorporar tecnologías y aplicaciones transversales a la industria 4.0, cómo IoT, automatización de habilidades y de la fuerza laboral, gestión de datos en unidades productivas, asistentes virtuales (*chatbots*), tecnologías de drones para análisis de suelos y terrenos, siembra, incorporación de insumos (*crop spraying*), monitoreo de cultivos en tiempo real, irrigación, evaluación sanitaria, tecnologías de *blockchain*, para gestionar la

seguridad en las cadenas de suministro, nanotecnología y agricultura de precisión, economías solidarias y cooperativas alimentarias [5].

Más aun [6] propone seis clústeres temáticos (grupos de tendencias), desde un enfoque social que abarcan i) adopción, uso y adaptación de tecnologías; ii) efectos de la digitalización en la identidad del productor; iii) poder, propiedad, ética y privacidad en la digitalización de sistemas y cadenas productivas; iv) influencia de la digitalización en los sistemas de innovación; y, v) economía y gestión de la digitalización.

Con el objetivo de contribuir a la identificación de las tendencias en la Agricultura 4.0, esta investigación desarrolló un ejercicio de vigilancia tecnológica¹ en la base de datos y motor bibliográfico de indexación Scopus, y un análisis a profundidad a través de dos aplicativos de software, VOSViewer® y Bibliometrix®. En las siguientes secciones se desarrollan, el diseño metodológico de la investigación, los resultados, la discusión y las conclusiones

II. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño de la investigación abarca cuatro fases:

- Fase I – Recuperación de información: en esta fase se desarrollan las actividades de diseño de la ecuación estructural de búsqueda, adquisición de los corpus de información y selección de los aplicativos de software.
 - Fase II – Procesamiento de la información: a partir de los corpus de información y de cada uno de los aplicativos, se desarrolla el procesamiento de los datos para generar información en forma de reportes para: indicadores cuantitativos, mapas de coocurrencia (paisajes científicos), mapas de evolución del conocimiento basados en centralidad (importancia del tópico en todo el campo de investigación o análisis) y densidad (medición de que tan desarrollado está el tema).
 - Fase III – Análisis de reportes: Se implementó un análisis descriptivo y relacional para los mapas de coocurrencia y los mapas de evolución del conocimiento, teniendo como base el análisis de clústeres.
- Fase IV – Construcción de perspectivas: a partir de los resultados identificados y del análisis comparativo frente a directrices globales, se definen perspectivas claves para la Agroindustria 4.0 en términos de tecnologías clave.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las fases propuestas en el diseño metodológico:

¹ Procesos sistemáticos para la captura, análisis, difusión y explotación de la información científica y tecnológica útil para la supervivencia y el crecimiento de la organización. Debe generar alertas continuas sobre toda innovación susceptible de crear oportunidades o amenazas [17].

A. Fase I

La ecuación de búsqueda diseñada para esta investigación comprende tres constructos. El primer **constructo** hace referencia al objeto de trabajo el sector agropecuario. El segundo **constructo** incluye todos los tópicos relacionados con los temas de base obtenidos del análisis desarrollado en las secciones previas sobre agricultura 4.0. Finalmente, el tercer **constructo** focaliza los temas y tópicos de análisis en agricultura y ciencias biológicas como área temática.

TITLE-ABS-KEY(("agricultur*" OR "agroindustr*" OR "husbandry" OR "dairy" OR "forestry" OR "fishing" OR "aquiculture" OR "food sciences") AND ("Industry 4.0" OR "4IR" OR "fourth industrial revolution" OR "disruptive technolog*" OR "internet of things" OR "IoT" OR "agriculture IoT" OR "virtual reality" OR "augmented reality" OR "artificial intelligence" OR "fusing technologies" OR "drone technolog*" OR "drones" OR "ICT" OR "robot*" OR "blockchain" OR "digital econom*" OR "digital communication" OR "advanced manufacturing" OR "advanced production" OR "3D printing" OR "business disruption" OR "precision agriculture" OR "big data" OR "smart agriculture" OR "embedded system*" OR "machine learning" OR "sensor networks" OR "monitoring systems" OR "precision farm*" OR "RFID" OR "smart farm*" OR "automation of skills" OR "crop spraying" OR "data-driven farming" OR "vertical farming" OR "urban farming" OR "data analytics" OR "crowd farming")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI"))

Se recuperaron un total de 9.784 registros de publicaciones de las cuales 1.655 son de acceso abierto y 8.129 de acceso a través de bibliotecas y editoriales especializadas. 7.164 de las publicaciones son artículos científicos, 1.808 actas de conferencias, 458 reseñas, 186 capítulo de libro, 30 notas editoriales y 29 libros principalmente. Para el análisis del corpus de información se utilizaron los aplicativos de software VOSviewer y Bibliometrix.

B. Fase II y Fase III

La evolución de la productividad científica-académica en la temática de la Agricultura 4.0 en Scopus®, se presenta en la Figura 1. La dinámica creciente durante el periodo se incrementa a entre 2011-2013, donde emerge el concepto de Industria 4.0 y Cuarta revolución Industrial 4IR.

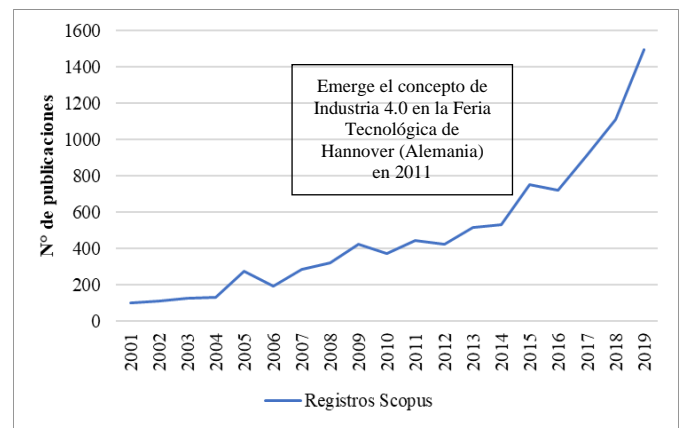


Fig. 1 Dinámica de publicaciones para la megatendencia de bioeconomía
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus, fecha de consulta octubre de 2019. Software de procesamiento Excel®

Los principales países líderes en investigación en el marco de la Agroindustria 4.0 son China con las universidad China de Ciencias Agrícolas, la Universidad de Jiangsu, la Universidad Agrícola de Nanjing y la Universidad de Zhejiang; en tópicos relacionados con sensores remotos, variabilidad espacial, agricultura de precisión, automatización inteligente, geoestadística y Big data. Estados Unidos con las universidades de Colorado, Kentucky, Florida, Iowa, Purdue, Georgia, California, Washington, Illinois y Wisconsin, trabaja en temas inteligencia artificial, agricultura de precisión, robótica y drones, aprendizaje de máquina, cambio climático y sensores inalámbricos. Países europeos como Holanda, Alemania, Reino Unido específicamente trabajan en tópicos similares, incorporando otros como agricultura climática inteligente, rediseño de maquinaria agrícola, modelos productivos en sistemas ciber-físicos. Por américa latina destaca Brasil en temas de agricultura de precisión y sensores remotos.

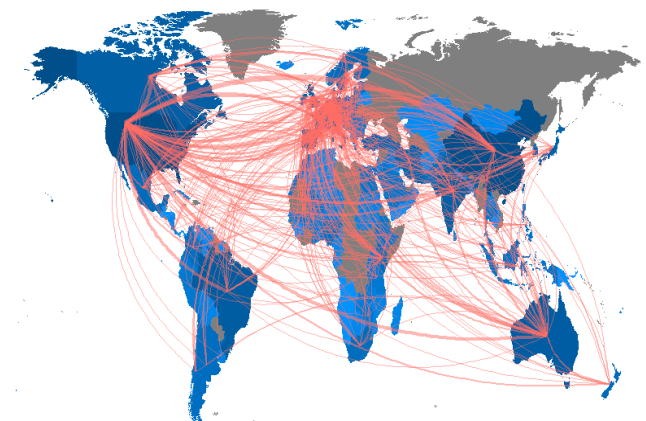


Figura. 2 Países líderes en investigación en Agricultura
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus® fecha de consulta Octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix

Las redes de colaboración entre países en temas afines a la Agricultura 4.0 (Figura 2), generan grupos de trabajo específico en el caso de China con países de Asia y Oceanía como Japón, Australia, Filipinas, Vietnam, India y Rusia; Trabajo con países europeos como Italia, Alemania, Francia, e Inglaterra. Es interesante observar cómo se evidencian clústeres de trabajo no solo por zonas geográficas sino por redes afines a temas específicos (Figura 3).

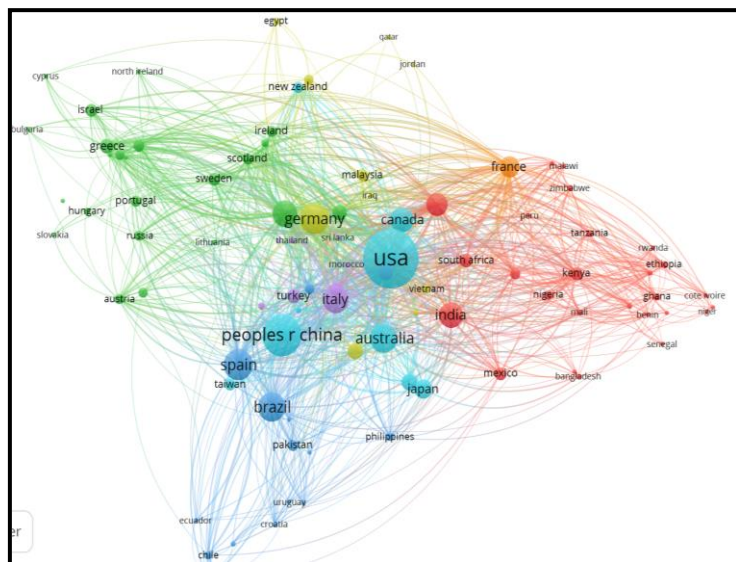


Figura 3. Redes de colaboración de países
Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®. Fecha de consulta octubre de 2019. Software de análisis VOSviewer

Es interesante observar cómo se evidencian clústeres de trabajo no solo por zonas geográficas sino por redes afines a temas específicos.

- **Clúster rojo:** India conforma una red de trabajo con países africanos como Kenia, Ghana, Costa de marfil, por sus condiciones sectoriales, y tropicales, sin embargo vincula a Holanda por su potencial investigativo y afinidad con sus antiguas colonias.
- **Clúster azul oscuro:** Brasil y España, armonizan trabajo con países de la región de América Latina y el Caribe como Chile, Ecuador y Uruguay; destacan otros países como Filipinas y Pakistán.
- **Clúster verde:** Reino Unido, genera una red de trabajo con países de Europa Occidental como Escocia, Portugal, Suecia, Finlandia; así como con países de Europa Central como Grecia, Hungría, Bulgaria, Eslovaquia, Austria y Polonia. Destacan trabajos colaborativos con Nueva Zelanda e Israel.

La red de colaboración de organizaciones es una red más compleja, donde en las interacciones nacionales y transnacionales se destaca el enfoque integral de las

universidades estadounidenses con algunas entidades nacionales como la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos USDA; la integración de universidades europeas de renombre como Wageningen, Reading, Cardiff, con entidades como el INRA de Francia y entidades transnacionales como el CIAT; la convergencia de universidades en China es liderada por la Academia China de Ciencias y la Academia China de Ciencias Agrícolas. Se destaca el clúster Latinoamericano liderado por la Universidad de San Pablo en Brasil. Este panorama nos da una perspectiva de la importancia de la Agroindustria 4.0 como campo de investigación en el mundo para la 4IR (Figura 4).

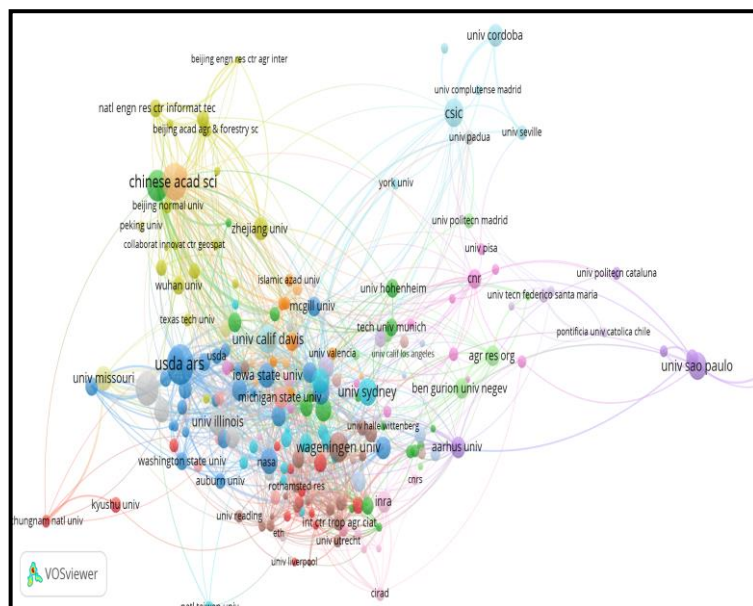


Fig. 4 Colaboración entre Instituciones en temáticas de Agricultura 4.0
Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®. Fecha de consulta octubre de 2019. Software de análisis VOSviewer

Profundizando en los tópicos de trabajo se abarcaron dos tipos de análisis. Un análisis de coocurrencia de palabras clave en los registros de publicaciones científicas y un análisis de coocurrencia e interrelación en textos clave, específicamente los títulos y resúmenes de las publicaciones.

Cada análisis permite realizar inferencias distintas, mientras el análisis de coocurrencia de palabras clave da evidencia de las tecnologías más relevantes y convergencia con tecnologías específicas de la 4IR, el análisis de textos clave permite evidenciar la aplicabilidad de las tecnologías 4IR en tópicos del sector agropecuario. En la figura 5 se presenta la red de coocurrencia de textos claves para los registros de Scopus.

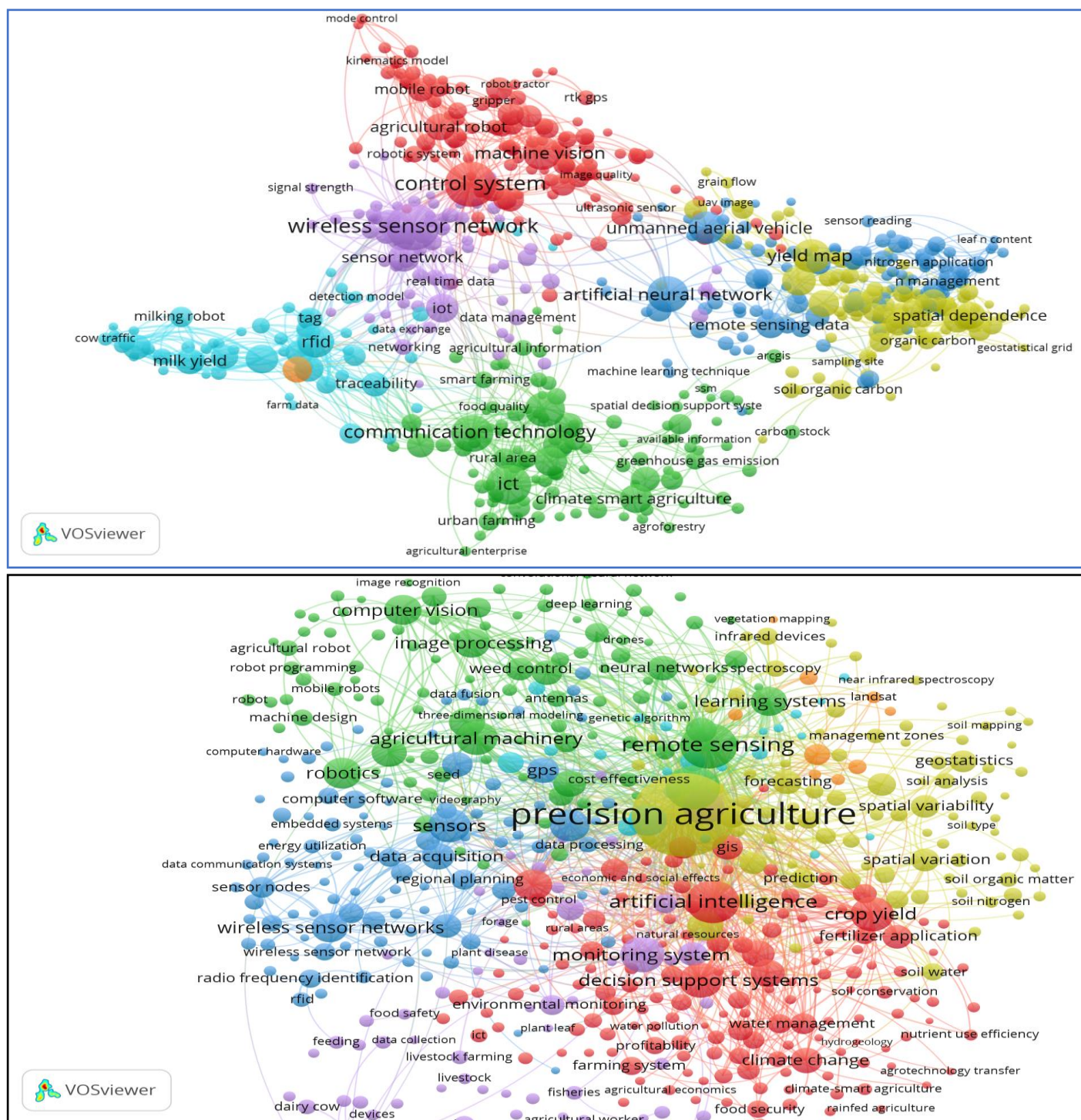


Fig. 5 Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en Agroindustria 4.0

Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®. Fecha de consulta octubre de 2019. Software de análisis VOSviewer

Nota: recuadro azul textos clave en títulos y resúmenes de las publicaciones; recuadro negro palabras clave de indexación de las publicaciones

En la red de Scopus para textos clave (recuadro azul) se identifican cinco clústeres de tópicos clave, que permiten ver la aplicabilidad de las tecnologías a actividades específicas en el sector agropecuario.

- El clúster color **cian** se enfocan en las unidades productivas pecuarias para la obtención de leche (ganadería de leche), específicamente en temas de rendimiento, transporte e identificación del inventario pecuario (ganado en pie), procesos de extracción de la leche (ordenamiento), análisis de calidad de la leche, análisis del bienestar animal e inseminación artificial. Tecnologías como la RFID dan soporte al análisis de muestras de leche, a los sistemas automatizados de ordeño y si alinean con los robots para ordenamiento; en su conjunto a la trazabilidad de la unidad productiva.
- El clúster **verde** se enfoca en la agricultura climáticamente inteligente, en tópicos relacionados con la emisión y fijación de dióxido de carbono (CO₂), sistemas agroforestales, escenarios de cambio climático, agricultura urbana, diversidad genética, enfoque en el pequeño productor, servicios de extensión con enfoque ecosistémico, entre otros. Se destacan tecnologías de la 4IR como los sistemas de análisis espacial, las tecnologías de comunicación en tiempo real, las aplicaciones móviles, etc.
- Los **clústeres amarillo** y **azul oscuro** se interrelacionan en temáticas agropecuarias enfocadas al suelo, variabilidad, pH, contenido de agua, materia orgánica, rendimiento, contenido de nutrientes, contenido de minerales, modelos de crecimiento, atributos químicos, entre otros. En su integralidad la gestión de estos datos vincula tecnologías 4IR como sensores remotos para imágenes satelitales, predicción de rendimientos, simulación de escenarios, imágenes espectrales, inserción de nutrientes a través de drones y equipos automatizados.
- Los clústeres **rojo** y **violeta** comprenden las tecnologías de análisis de sensores remotos y tecnología inalámbrica para el monitoreo y control de variables en las unidades productivas, a través de sistemas integrados de sensores, robótica, drones, sistema de navegación y algoritmos de aprendizaje de máquina para tópicos en precosecha, cosecha, poscosecha y distribución.

La red de palabras clave destaca la importancia del tema básico y transversal y en sus inicios motor de la agricultura de precisión, de la cual se derivan diferentes temas. Los segundos tópicos con mayor número de ocurrencias es los sensores remotos y la variabilidad espacial. En tercer lugar lo ocupan cuatro tópicos del clúster rojo tecnología para la agricultura, inteligencia artificial, sistemas de soporte a las decisión y rendimiento del cultivo.

Si bien las investigaciones se han centrado en los tópicos claves de la Industria 4.0 y su convergencia en el sector

agropecuario, su inmersión ha conllevado a un marco evolutivo de inserción, alineado con las dinámicas de la transformación digital. La temática pionera es la agricultura de precisión, en la que a través de la vinculación de empresas de alta tecnología al sector, para el monitoreo de las diferentes variables en el cultivo bajo condiciones específicas de un entorno biogeográfico, orientan acciones que incrementan la productividad y la sostenibilidad ambiental [12]. En la Figura 6 se presentan los estadios evolutivos de la inmersión de tecnologías clave de la 4RI en el sector agropecuario.

Este tipo de análisis se basa en la categorización de los tópicos clave en cuatro tipologías de análisis, teniendo en cuenta dos variables, centralidad (importancia del tópico en todo el campo de investigación o análisis) y densidad (medición de que tan desarrollado está el tema): i) Cuadrante superior derecho, temas motor con un alto desarrollo y una importancia alta; ii) Cuadrante inferior derecho, temas básicos y transversales, temas de alta importancia y un desarrollo básico; iii) Cuadrante inferior izquierdo, temas emergentes y en declive, con importancia y desarrollo básico; y, iv) Cuadrante superior izquierdo, temas altamente desarrollados y aislados, con un alto desarrollo pero importancia básica.

El tamaño de la burbujas es proporcional al número de ocurrencias del tópico en los registros recuperados y el color indica que pertenece a un clúster (agrupación de tópicos), específica que guarda una valoración entre sí. Para el caso de la Agroindustria 4.0 se escogieron cinco periodos de tiempo (antes de 2007, entre 2007-2012, entre 2013-2015, entre 2016-2017 y entre 2018 hasta la fecha.). Cada periodo es una fotografía del comportamiento de los principales tópicos en el área de estudio, lo que contribuye a identificar sus diferentes estadios, ciclos y continuidad en la ventana de tiempo macro. Uno de los tópicos más referenciados en la Agroindustria 4.0 es la agricultura de precisión que si bien tiene sus orígenes de manera previa a la 4RI, su desarrollo se ha potenciado a través de las nuevas tecnologías que coadyuvan a materializar su conceptualización.

En el periodo de tiempo antes de 2007, la agricultura de precisión se considera un tema transversal para la temática, con una estrecha relación con la variabilidad espacial de los sistemas productivos, el manejo integrado específico por sitio (agricultura por sitio), así como la relación con otros tópicos transversales como sensores remotos, geoposicionamiento satelital, sistemas de información geográfica y mapeo de cultivos (áreas, rendimiento, factores productivos, etc.).



Fig. 6 Evolución de la inserción de tecnologías 4IR en el sector agropecuario
Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®. Fecha de consulta octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®

En el periodo de tiempo 2008-2012 se mantiene como tema transversal y se potencia con otros tópicos como los sensores remotos inalámbricos, tecnologías de radio frecuencia (RFID). Es en esta ventana donde se evidencia la transición en importancia de la agricultura de precisión, desde la medición rendimientos de cultivo, estados fisiológicos y fitopatológicos (salud del cultivo), hasta integrar tecnologías que permitan tomar decisiones en diferentes aspectos de la producción primaria y otros eslabones de la cadena de valor [13].

En 2013-2015 la agricultura de precisión al incorporar los principios de la 4IR se convierte en un tema motor, vinculando sensores remotos para el monitoreo multivariable de cultivos, incorporación de insumos al cultivo a través de sistemas de irrigación y fertirrigación, hasta llegar a sistemas de control en tiempo real en que a través de la gestión de datos se toman decisiones. En los dos últimos periodos la agricultura de precisión mantiene su importancia como tema transversal y básico de la Agroindustria 4.0, relacionándose con temas como automatización inteligente, aprendizaje de máquina e inteligencia artificial.

Los tópicos de inteligencia artificial, aprendizaje de máquina y visión de máquina han permeado la ventana temporal de análisis, desarrollándose hasta 2007 como temas altamente desarrollados pero aislados y como temas emergentes respectivamente, teniendo relación con tópicos como redes neuronales, modelos de cultivos, modelamiento de unidades productivas lecheras, sistemas de posicionamiento, procesamiento y análisis de imágenes, automatización y robótica. En las ventanas siguientes de tiempo, su desarrollo lo ha consolidado como temas tanto motor como transversales toda vez que son áreas de conocimiento que potencian tópicos clave, y a su vez se repiensen cada día.

La robótica es otro tópico clave que en sus inicios en el sector agropecuario se considera un tema emergente que acompaña al aprendizaje de máquina, la visión de máquina y el tema de sensores remotos, sin embargo su desarrollo para el monitoreo *in situ* y *ex situ* ha trascendido a integrar la maquinaria agrícola automatizada, los drones o vehículos no tripulados, teniendo como base la inteligencia artificial y el aprendizaje de máquina.

La ventana temporal también permite identificar tópicos influenciados por la agroindustria 4.0 cómo lo son los suelos agrícolas, los sistemas productivos pecuarios para leche, carne y doble propósito, los sistemas de irrigación y distritos de riego, la sostenibilidad ambiental del cultivo, entre otros. En el último periodo de tiempo 2018-2019 se encuentran particularidades interesantes, que reafirman la ciclicidad de la ciencia y la circularidad del conocimiento.

Se identifican como temas altamente desarrollados pero aún no totalmente consolidados como motor a la agricultura

climáticamente inteligente, la cual tiene como bases la sostenibilidad y sustentabilidad de los sistemas productivos, propendiendo por la seguridad alimentaria y el cambio climático. Como temas emergentes el desarrollo constante de modelos productivos basados en robótica y maquinaria automatizada, crean nuevos conocimiento en sistemas de monitoreo y control de variables de cultivo tanto en agricultura a cielo abierto como en agricultura protegida. Aparece como tema emergente nuevo el aprendizaje profundo (*Deep learning*), que da soporte al procesamiento de datos como imágenes, videos y sonidos, a través de algoritmos neuronales jerárquicos (se considera el tercer estadio de la inteligencia artificial). Como tema básico y transversal permanece la agricultura de precisión acompañada de los sensores inalámbricos remoto y los vehículos aéreos no tripulados (drones) [14].

C. Fase IV

Los resultados descritos en la Fase III, permiten identificar las tecnologías clave para potenciar el agro de la Industria 4.0:

Los temas motor-actuales son el internet de las cosas, el aprendizaje de máquina el uso de imágenes satelitales y la gestión integral automatizada de las unidades productivas a través de sistemas ciber-físicos. A continuación se describen en detalle algunas de las principales tecnologías clave.

- *Blockchain* – cadena de bloques: esta tecnología se enfoca en garantizar la seguridad y confiabilidad en la transferencia de volúmenes de datos encriptados, no encriptados y datos particionados (bloques). Para el sector agrícola esta tecnología involucra contrato inteligentes que garantizan la seguridad de los datos almacenados en su tránsito desde el origen hasta el usuario, garantizando el origen y la legitimidad de cualquier proceso (transacción) con estos, como ejemplo están los datos sobre la calidad de productos perecederos.
- *Internet of things* – Internet de las cosas: es la puerta a un sin número de posibilidades para el sector, en el monitoreo y control de actividades a lo largo de la cadena de valor de manera remota. Potenciar la agricultura de precisión a través de la computación en la nube (*cloud computing*), donde se almacenan y se analizan en tiempo real (*data analytics*) datos de procesamiento, transporte y mercado. Datos como temperatura, humedad, estado fisiológico, generación de enfermedades, nutrientes, son procesados y entregados al tomador de decisiones para su accionar. Lo anterior potencia la integración entre la realidad y la virtualidad a través de los sistemas ciber-físicos.
- *Drone Analytics* (analítica de drones): la captura de imágenes de alta calidad en los cultivos en tiempo real y en sus diferentes estadios. Esto permite generar acciones correctivas y preventivas, en suministro de agua,

fertilizantes, remoción de arvenses, aplicación de bioinsumos. Actualmente los drones realizan algunas de estas funciones.

- *Big Data Analytics* (analítica de volúmenes de datos): técnicas avanzadas para la recolección, almacenamiento y procesamiento de datos en volúmenes masivos y con alta frecuencia de generación. Explotación de datos almacenados a través de algoritmos neuronales, que permiten previsión y acción.
- *Agriculture robots* (robots agrícolas): su inserción se enfoca en cualquier eslabón de la cadena de valor, apoyando actividades de producción, procesamiento, distribución y consumo. Ejemplo de esto son brazos robóticos utilizados en agricultura protegida para el manejo de temperatura y humedad en atmósferas controladas, irrigación de agua e introducción de nutrientes. Se distinguen tres tipos de robots: i) orientados en agricultura a cielo abierto, para irrigación; ii) robots en instalaciones para el control de actividades en la granja y el monitoreo del rendimiento del cultivo; iii) robots para ganadería encargados del cuidado de los animalitos
- *Wireless remote sensors* (sensores remotos inalámbricos): tecnologías de posicionamiento (GPS), transmisión de datos por tecnologías móviles (*bluetooth*), y de identificación de radiofrecuencia (RFID), contribuyen a tener registros en tiempo real e histórico de posiciones y movimientos, recolección de datos por proximidad a través de dispositivos emisores y receptores, e identificación de objetos y animales a lo largo de la cadena de valor. En su conjunto estas tecnologías permiten una trazabilidad integral.

IV. CONCLUSIONES

El fortalecimiento del sector agropecuario a través de la incorporación de tecnologías de la Agroindustria 4.0, hace parte de la transición a una nueva “revolución verde” con enfoque sostenible y alineada con otras megatendencias como la bioeconomía y la economía circular.

Al igual que cualquier área temática del conocimiento que impacto en un sector económico, la Agroindustria 4.0 como expresión de la 4IR en la agricultura, la ganadería, la acuicultura, la pesca y la forestería, enfrenta retos y desafíos propios y conexos del entorno en el cual se busca su adopción y apropiación.

Algunos de estos retos implican garantizar la compatibilidad de equipos y su aplicabilidad en las zonas rurales, procesos de intercambio de datos, procesos de comunicación, enfoque holístico; tecnologías apropiadas para las especificidades de la unidad productiva; potenciar los servicios de extensión y asistencia técnica, a través las tecnologías para la transformación digital, impactado de manera positiva en la adopción de tecnologías y servicios por parte de los productores; dinamizar redes de trabajo

colaborativo entre productores, extensionistas e investigadores; alfabetización y generación de aptitudes-actitudes digitales; inversión en capacitación básica y aplicada para el uso de TIC; fortalecer al productor como agente clave del mercado agroalimentario; transformación de las empresas existentes a través de las nuevas tecnologías digitales y la creación de nuevas empresas innovadora; generación de incubadoras de negocios agrícolas; participación en espacios de divulgación científica.

Para garantizar el desarrollo y adopción de productos y servicios de la Agroindustria 4.0, Colombia cuenta con el 13% de sus grupos de investigación dedicados a actividades relacionadas con tecnologías convergentes y la cuarta revolución industrial, así como 1.153 investigadores. Por otra parte 120 grupos relacionados con ciencias básicas, de la salud y biotecnología también desarrollan actividades en ciencias y tecnologías convergentes (NBIC) [15].

Lo anterior converge a través de la capacidad de los productores de adaptarse, evolucionar y potenciar sus prácticas tradicionales, la necesidad de diversificar el acceso a financiación y créditos especializados para transformación digital, que garanticen la incorporación sostenible y diferencial de tecnologías. Para esto es necesario que desde niveles centrales de gobernanza se desarrollen estrategias para mejorar la infraestructura TI y por extensión la ampliación de la cobertura de acceso a internet.

Los resultados generados de este análisis de tendencias tecnológicas para la Agricultura 4.0 deben converger en propuestas orientadas al fortalecimiento de las actividades de ciencia, tecnología e innovación para: i) promover la articulación de los sistemas mundiales de alimentación, por medio de tecnologías de trazabilidad en las cadenas de abastecimiento globales, enfocadas en la calidad e inocuidad de los productos; ii) garantizar el consumo sostenible a través del monitoreo en tiempo real de las variables del cultivo lo que favorece el acceso y disponibilidad de alimentos y el balance de nutrientes de la población; iii) sostenibilidad de los recursos bióticos y abióticos a través de la optimización en el uso del suelo, el agua y la biodiversidad con tecnologías de automatización inteligente en las funciones de riego, fertilización y cosecha; (iv) consumidores empoderados, a través de información expedita y en tiempo real de precios, calidad y alternativas de acceso a alimentos; (v) fortalecimiento de líneas de investigación con incidencia en el sector agropecuario como geoconomía, biotecnología, cambio climático con los avances de la economía digital, la inteligencia artificial y robótica, el IoT, la innovación social y la gobernanza ágil para el desarrollo tecnológico e innovación sectorial.

Colombia se encuentra en plena inmersión y desarrollo de la Industria 4.0 y es considerada un punto de referencia en la región de América Latina y el Caribe, para el desarrollo de la

cuarta revolución industrial. Lo anterior converge en la construcción en la ciudad de Medellín del primer centro regional para la cuarta revolución industrial², espacio en el cual se desarrollarán actividades de cocreación, testeos y refinación de protocolos, marcos regulatorios y políticas que permitan **maximizar los beneficios y reducir los riesgos de las tecnologías de la Industria 4.0**, como Inteligencia Artificial, Blockchain y registro distribuido, Internet de las cosas, robótica y ciudades inteligentes. El centro tendrá como focos de acción: i) Mejoramiento de procesos y efectividad de los organismos de control a través de inteligencia artificial; ii) fortalecimiento de las agencias de seguridad ciudadana, a través de inteligencia artificial; iii) fortalecimiento de la infraestructura tecnológica de TIC e IoT, con enfoque de equidad; iv) Internet de las cosas para mejorar la movilidad en las ciudades; v) Diseño de políticas públicas para el uso de Blockchain, para minimizar el riesgo asociado en la adopción de tecnologías emergentes para la trazabilidad de información; y, vi) Diseño de políticas que coadyuven a la integración de tecnologías para el catastro multipropósito. Lo anterior, se fortalece con las recomendaciones y resultados de la Misión Internacional de Sabios [15]

- Las grandes empresas deben anticipar que el cambio tecnológico es inevitable y que llegará no como artefactos, sino como competidores, por lo que se hace necesario la inversión en I+D; (ii)
- La interacción de la cuádruple hélice (universidades, estado, empresa privada y sociedad civil), basada en confianza para la solución a sus problemas, con resultados visibles y nuevos enfoques para la identificación de problemas.
- Diseño e implementación de agenda de CTI, bajo esquemas incrementales para la financiación pública en ciencia básica y la cofinanciación de investigación y desarrollo precompetitivo
- Empoderamiento de las comunidades para el desarrollo social con base en un conocimiento ampliamente disponible y redes eficaces de apoyo.
- Transformación de la educación media del país a través de la innovación en métodos, herramientas y gestión educativa basadas en tecnologías convergentes e industria 4.0.
- Conformar el Centro de Investigación y Desarrollo para las Tecnologías Convergentes y la Industria 4.0 (Cetconi).
- Integración con institutos de investigación y desarrollo de otros países, conocedores de Colombia y especializados en investigación aplicada de tecnologías convergentes e industria 4.0 en los sectores del agro y de la bioeconomía.

² <https://www.rutanmedellin.org/es/cuarta-revolucion-industrial>

Finalmente, las políticas de formación y transformación digital deben alinear estrategias tecnológicas y sectoriales de adopción acorde con las características etnográficas de las familias rurales (educación, ingresos, distribución de género, tamaño de la familia, etc.), para esto es necesaria la integración con institutos de investigación y desarrollo de otros países, conocedores de Colombia y especializados en investigación aplicada de tecnologías convergentes e industria 4.0 en los sectores del agro y de la bioeconomía. Más aún las políticas de la cuarta revolución industrial para el sector agropecuario deben contemplar cinco ejes clave [16]: las actividades de I+D+i para vincular tecnologías a lo largo de los sistemas agroalimentarios, esquema de gobernanza interinstitucional e intersectorial, el fortalecimiento de los servicios de extensión y asistencia técnica, el fortalecimiento de la infraestructura y las capacidades del recurso humano, y la gestión de mercados y financiación sectorial.

REFERENCES

- [1] W. E. F. WE, "Strategic Intelligence," *Fourth Industrial Revolution*, 2019. [Online]. Available: <https://intelligence.weforum.org/>.
- [2] A. Rojko, "Industry 4.0 concept: Background and overview," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 11, no. 5, pp. 77–90, 2017.
- [3] T. Bauernhansl, J. Krüger, G. Reinhart, and G. Schuh, "WGP-Standpunkt Industrie 4.0," *WGP-Standpunkte*, vol. 1, pp. 0–49, 2016.
- [4] OECD/FAO, *Agricultural Outlook 2019–2028: Special Focus Latinamerica*. 2019.
- [5] M. De Clercq, A. Vats, and A. Biel, "Agriculture 4.0: the Future of farming technology," *World Government Summit*, no. February. 2018.
- [6] L. Klerkx, E. Jakku, and P. Labarthe, "A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda," *NJAS - Wageningen J. Life Sci.*, vol. 90–91, no. October, p. 100315, 2019.
- [7] A. T. Braun, E. Colangelo, and T. Steckel, "Farming in the Era of Industrie 4.0," *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 979–984, 2018.
- [8] D. C. Rose and J. Chilvers, "Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming," *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 2, no. December, pp. 1–7, 2018.
- [9] M. E. Jennex, "Big data, the internet of things, and the revised knowledge pyramid," *Data Base Adv. Inf. Syst.*, 2017.
- [10] C. Weltzien, "Digital agriculture - or why agriculture 4.0 still offers only modest returns," *Landtechnik*. 2016.
- [11] A. Luque, M. E. Peralta, A. de las Heras, and A. Córdoba, "State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector," *Procedia Manuf.*, 2017.
- [12] A. Seth and K. Ganguly, "Digital Technologies Transforming Indian Agriculture," in *The Global Innovation Index*, 2017, pp. 105–111.
- [13] J. Sung, "The Fourth Industrial Revolution and Precision Agriculture," in *Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations*, 2018.
- [14] T. G. Patil and S. P. Shekhawat, "Industry 4.0 implications on Agriculture Sector: An Overview," vol. 9, no. 1, pp. 1512–1524, 2019.
- [15] MISIÓN INTERNACIONAL DE SABIOS, "COLOMBIA HACIA UNA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO." p. 293, 2019.
- [16] D. H. Flórez Martínez and C. P. Uribe Galvis, *TIC para la investigación, desarrollo e innovación del sector agropecuario*. 2018.
- [17] P. Escorsa and R. Maspons, "De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva," *la Vigil. tecnológica a la Intel. Compet.*, 2001.