

Perspectivas científicas del agro

Serie de documentos de trabajo

## Agroindustria 4.0: Megatendencias para las actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación en el sector agropecuario

Diego Hernando Flórez Martínez  
Adriana del Pilar Zambrano Muñoz  
Yehismi Lorena Perdomo Villamil





Serie de documentos de trabajo

Perspectivas científicas del agro

## Agroindustria 4.0: Megatendencias para las actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación en el sector agropecuario

### **Autores**

Diego Hernando Flórez Martínez  
Adriana del Pilar Zambrano Muñoz  
Yehismi Lorena Perdomo Villamil

Mosquera, 2021

La elaboración de este documento se deriva de las acciones de monitoreo y seguimiento de información científica, desarrollados por el Departamento de Inteligencia Científica y Tecnológica de la Dirección de Investigación y Desarrollo de Agrosavia.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Citación sugerida: Flórez Martínez, D. H.; Zambrano Muñoz, A. & Perdomo Villamil, Y. L. (2021). Agroindustria 4.0: Megatendencias para las actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación en el sector agropecuario. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

DOI:

10.21930/agrosavia.inteligenciaestrategica.2021.1

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co>



[https://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](https://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

## Tabla de Contenido

Serie de documentos de trabajo.....	0
SECCIÓN I: CONTEXTO INTERNACIONAL 2001 -2019 .....	7
1. Introducción .....	7
2. Retos para la Agroindustria 4.0 .....	12
3. Tendencias tecnológicas para la agroindustria 4.0.....	14
3.1. Análisis de tendencias.....	18
3.2. Tecnologías bandera.....	23
3.3. Redes de trabajo en la Agroindustria 4.0 .....	24
4. Retos y desafíos para la Agroindustria 4.0 .....	31
5. Casos de éxito .....	32
SECCIÓN II: COMPORTAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA EN LA PANDEMIA EN LA AGROINDUSTRIA 4.0: (Actualización de análisis general para el año 2020).....	33
SECCIÓN III: ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA ENFOCADA A COLOMBIA 2017-2020 ...	48
Referencias .....	61

## Lista de Tablas

Tabla 1. Retos y desafíos para la Agroindustria 4.0.....	31
--	----

## Lista de Figuras

Figura 1. Marco de referencia de la Industria 4.0 - Cuarta Revolución Industrial .....	8
Figura 2. Marco de referencia de la Agricultura, los alimentos y las bebidas .....	11
Figura 3. Retos para la agroindustria 4.0 .....	13
Figura 4. Ecuación estructural.....	15
Figura 5. Dinámica de publicaciones en Agroindustria 4.0.....	16
Figura 6. Países, instituciones y tópicos de trabajo.....	17
Figura 7. Evolución de la inserción de tecnologías 4IR en el sector agropecuario.....	20
Figura 8. Redes de colaboración de organizaciones y países.....	25
Figura 9. Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en .....	28

Figura 10. Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en Agroindustria 4.0 – palabras clave.	30
Figura 11. Análisis complementario de focalización (mapa de calor) 2001 -2009	35
Figura 12. Análisis complementario de focalización (mapa de calor) 2020	35
Figura 13. Mapa temático	37
Figura 14. Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en Agroindustria 4.0 – textos clave	38
Figura 15. Gráfico de Sankey	40
Figura 16. Entidades más relevantes	41
Figura 17. Dinámica de publicaciones	42
Figura 18. Documentos por autor (Scopus)	43
Figura 19. Revistas con más artículos 2020	44
Figura 20. Gráfico de Sankey de Colombia	50
Figura 21. Mapa temático Colombia 2017-2020	51
Figura 22. Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en Agroindustria 4.0 – textos clave en Colombia 2017-2020	52
Figura 23. Entidades más relevantes	53
Figura 24. Documentos por autor (Scopus)	54

## Autores

### **Diego Hernando Flórez Martínez**

Correo: [dhflorez@agrosavia.co](mailto:dhflorez@agrosavia.co)

Orcid: 0000-0003-1246-6513

Ingeniero Químico, Máster en Ingeniería Industrial, MBA en Transformación Digital y Doctor en Ingeniería - Industrias y Organizaciones (Ph.D.). Investigador Asociado reconocido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y Jefe del Departamento de Inteligencia y Divulgación Científica de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. Sus principales áreas de investigación comprenden la gestión del conocimiento, la gestión de la innovación, la gestión de la tecnología, la inteligencia competitiva, la vigilancia tecnológica, la cienciometría, los estudios de ciencia para la ciencia, el análisis de las cadenas de valor de la agricultura, la hoja de ruta tecnológica, el benchmarking, el análisis cualitativo de las políticas públicas y la prospectiva tecnológica. Durante más de 10 años, ha trabajado en el diseño, la aplicación y la evaluación de metodologías para la planificación estratégica del sector agroindustrial, agendas de investigación, proyectos de I+D, evaluación de la investigación, cartografía científica, modelización de cadenas de valor, tendencias y análisis de megatendencias.

### **Adriana del Pilar Zambrano**

Correo: [azambrano@agrosavia.co](mailto:azambrano@agrosavia.co)

Orcid: 0000-0003-4295-4542

Profesional en Ciencias De La Información - Bibliotecología de la Pontificia Universidad Javeriana, con experiencia en asesoría y capacitación a investigadores en el acceso y uso de herramientas y recursos de investigación, análisis e interpretación de datos identificando las necesidades actuales y futuras de los investigadores con el fin de orientar nuevos proyectos o iniciativas de investigación. Experiencia en procesos de divulgación de resultados investigación para lograr la visibilidad de la producción científica de los investigadores.

## **Yehismi Lorena Perdomo Villamil**

Correo: [yperdomo@agrosavia.co](mailto:yperdomo@agrosavia.co)

Orcid: 0000-0002-8039-1384

Profesional en sistemas de información y documentación, bibliotecología y archivística de la Universidad de La Salle, magíster en gerencia estratégica en tecnologías de la información en la Universidad Externado de Colombia, con experiencia profesional enfocada en bibliotecas como la Biblioteca Agropecuaria de Colombia (BAC), de AGROSAVIA, en la que ha dirigido las áreas de desarrollo de colecciones y procesos técnicos. Actualmente se desempeña como líder de la BAC, donde se planean, organizan, dirigen y controlan las actividades orientadas a facilitar la información pertinente y actualizada a los actores del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA).

## SECCIÓN I: CONTEXTO INTERNACIONAL 2001 -2019

### 1. 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, cotidianas y de relacionamiento. 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 (World Economic Forum, 2019).

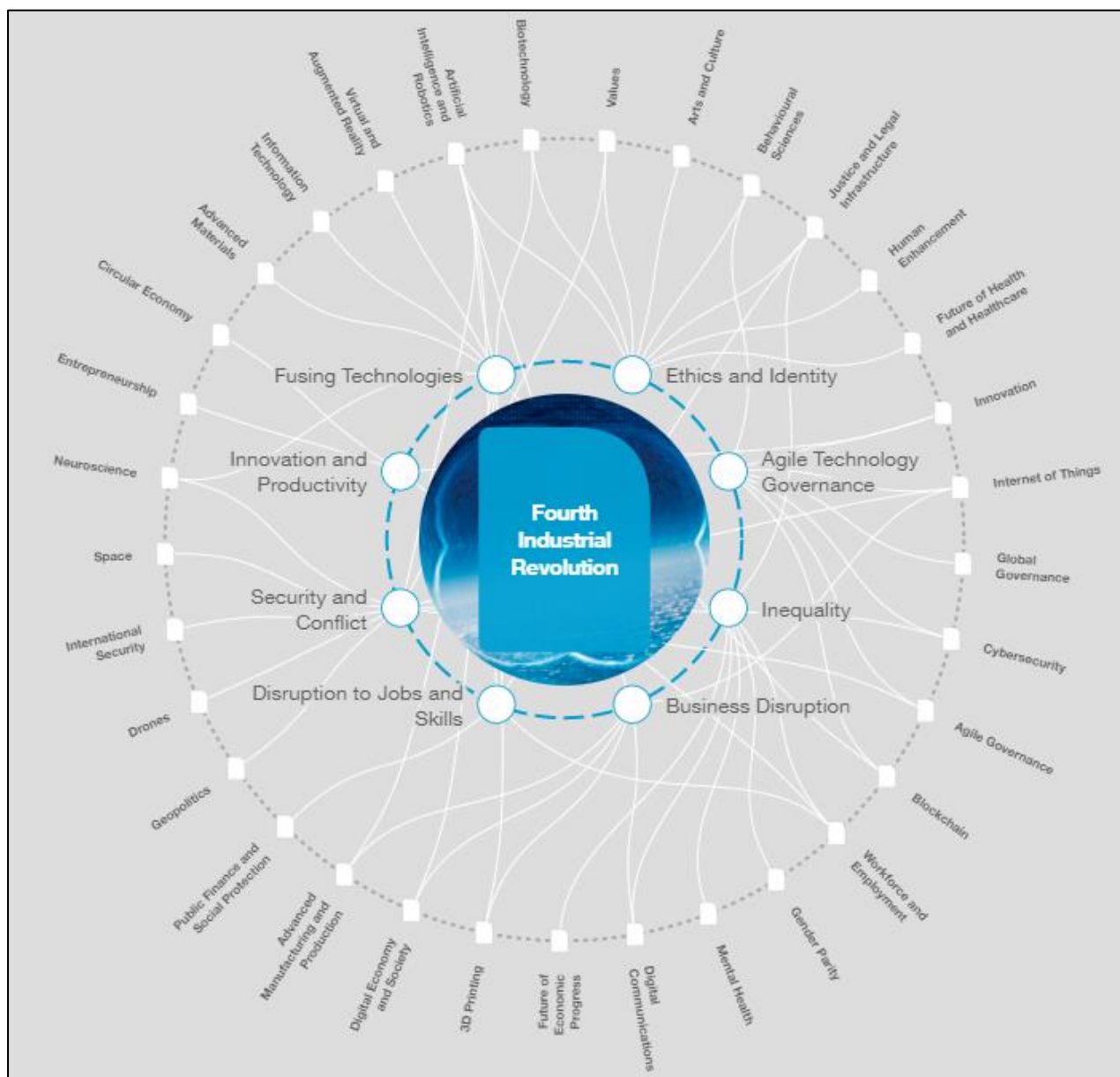
El término aparece por primera vez en la feria tecnológica de Hannover 2011 y en la misma feria en el año 2013 con informe detallado del concepto y sus implicaciones. Su concepto más ampliamente difundido es el de un conjunto de procesos que conlleva a la completa automatización e interconexión de la producción a través de sistemas ciber-físicos (*Cyber-physical Systems*). Así, la industria 4.0 se asocia principalmente a los diferentes procesos industriales y de manufactura. Sin embargo, su escalabilidad a la cotidianidad misma es cada vez más evidente. El Foro Económico Mundial, considera ocho factores clave que dinamizan la industria 4.0 en el mundo (Figura 1).

**La ética e identidad** Tópicos como la inteligencia artificial, los valores, el arte y la cultura, las ciencias del comportamiento, el marco legal y de justicia, el potencial humano y el futuro de la salud y los servicios médicos, redefinen el accionar del ser humano y su responsabilidad en la creación y uso de tecnologías en disciplinas como la biotecnología y la nanotecnología, conlleva al diseño de un marco de regulación y normas sociales de cómo individual y colectivamente nos relacionamos con la innovación.

**Gobernanza ágil de las tecnologías** que permita establecer marcos de confianza, responsabilidad y evaluación en el uso y beneficio de tecnologías para el bienestar general de la población. Lo anterior implica retos como el uso de *blockchain* para controlar la seguridad de los datos a nivel país y territorio, la gestión de redes sociales (*mass media*),

así como ejercicios continuos para repensar los marcos políticos en función de la evolución tecnológica. Tópicos que retan la gobernanza y a los formuladores de política son las ciencias del comportamiento, la innovación, el internet de las cosas, (IoT), la gobernanza global, la ciberseguridad, la gobernanza ágil y el *blockchain*.

**Figura 1. Marco de referencia de la Industria 4.0 - Cuarta Revolución Industrial**



Fuente: tomado de <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb000001RIhBEAW?tab=publications>

Tal vez uno de los retos sociales más relevante de la 4IR es la **inequidad**, al contemplar el impacto en la introducción de innovaciones tecnológicas, la formación especializada, la generación y desaparición de empleos. Para evitar caer en temas de segregación e inequidad la 4IR, debe abordar en detalle tópicos como la infraestructura legal y de justicia, la fuerza laboral y la empleabilidad, la equidad de género, la salud mental, las comunicaciones digitales y el futuro del progreso económico.

**La disrupción de los negocios** implica cambios mayores en la relación productor-cliente, en que los modelos de comunicación digital influyen en nuevos escenarios de transacción y dinámicas de finalización, así como en la generación de valor agregado en los productos de consumo a través de la digitalización. De igual forma, el desarrollo de nuevos mecanismos de colaboración, alianzas multinivel, flexibilidad y ecosistemas para generación de valor, deben contemplar tópicos como el Internet de las cosas o IoT, las comunicaciones digitales, la inteligencia artificial, la robótica, la impresión 3D, la economía digital y la producción y manufactura avanzada.

**La disrupción de los trabajos y las habilidades** es consecuencia inevitable de la disrupción de los negocios, generando dinámicas de creación y desaparición de empleos, que exigen cambios en las capacidades actuales, requeridas y futuras. Es necesario conocer las habilidades de base por país y por industria, y generar los cambios disruptivos necesarios, a través de sinergias con los modelos de formación, capacitación y aprendizaje. Las empresas deben generar estrategias que les permitan redescubrir habilidades en sus empleados e incorporar nuevos talentos que coadyuven al existente. Los tópicos clave son la inteligencia artificial, la financiación pública y la protección social, la infraestructura legal y de justicia, la fuerza laboral y la empleabilidad.

**Seguridad y conflicto** serán punto de inflexión al llevar estos dos conceptos a los escenarios locales y globales. Digitalización de enfrentamientos, conexión remota con tecnología de guerra y armamentos, control en tiempo real de intervenciones militares, control de vehículos de combate no tripulados (drones), domótica militar, así como su escalabilidad a la seguridad urbana, el crecimiento económico y el desarrollo. Esta dicotomía debe analizarse desde la geopolítica, el uso de drones, el marco de referencia

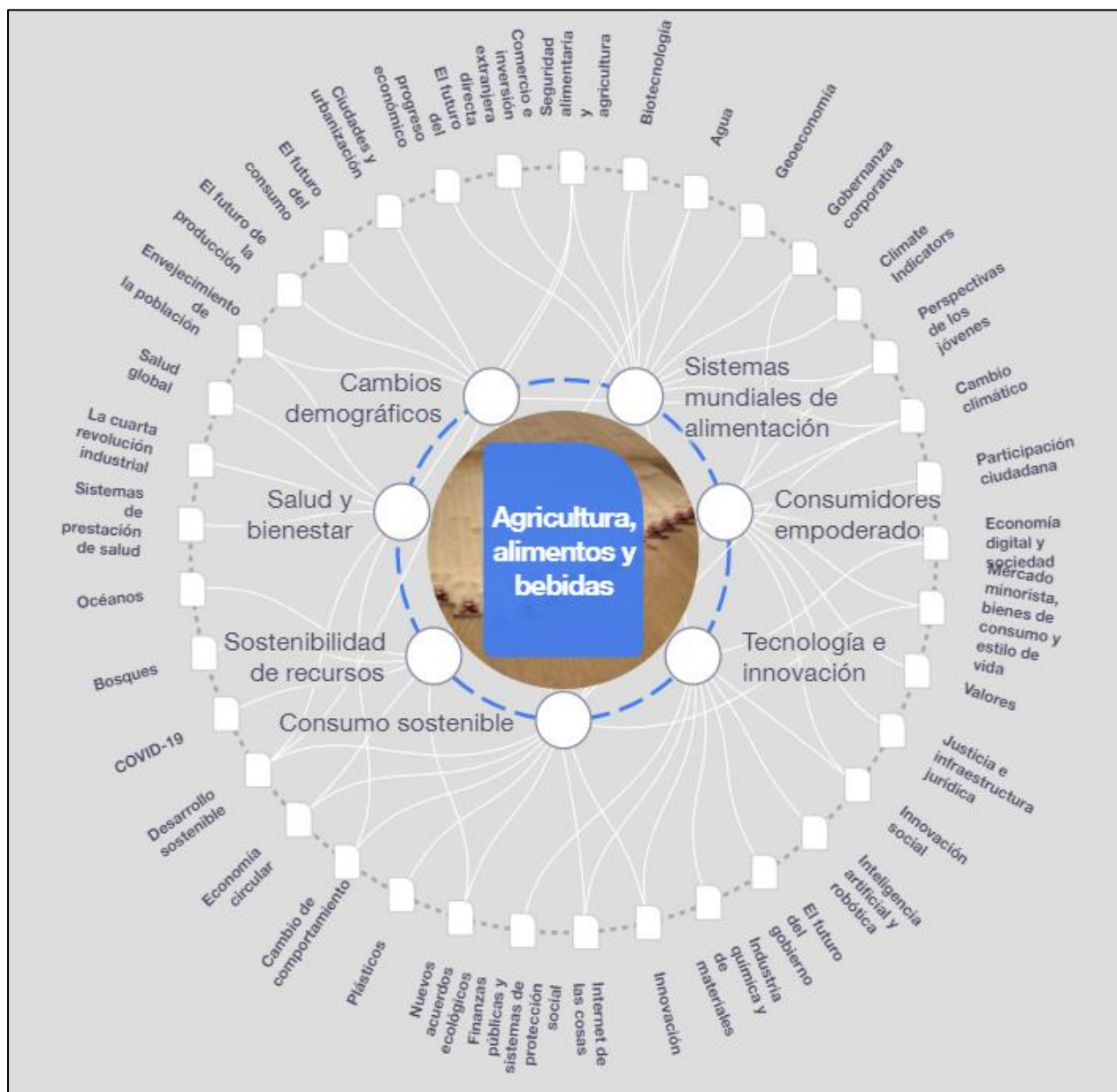
de la seguridad internacional, la gestión del espacio, neurociencias, la inteligencia artificial y la robótica.

**La innovación y la productividad** se potencializan con la 4IR en busca de generar una conexión más eficiente entre ambas. Pese a que no se evidencia cómo algunas innovaciones contribuyen a la productividad y generan impacto medible, es necesario considerar nuevos indicadores y mecanismos que evidencien el impacto real de estas en un tiempo cercano. Algunos tópicos clave que generan sinergias entre innovación y productividad son la economía circular, el emprendimiento, la fuerza de trabajo y la innovación *per se*.

Finalmente, la fusión de tecnologías mediante la colaboración entre disciplinas ha generado fronteras de conocimiento, con base en la digitalización. La edición genómica, basada en analítica de datos, robótica a partir de algoritmos genéticos y evolutivos, agricultura inteligente, a través de sistemas de sensores en tiempo real, sistemas complejos que combinan lo físico y lo digital en el marco del aprendizaje de máquina. De igual manera, la sinergia y combinación del mundo físico y biológico se ve influenciada por tópicos como las neurociencias, los materiales avanzados, las TIC, la realidad virtual y aumentada, la biotecnología y la robótica.

Lo anterior, influencia a la agricultura como sector productivo de la economía, lo que se hace evidente al analizar su marco específico de referencia (Figura 2).

**Figura 2. Marco de referencia de la Agricultura, los alimentos y las bebidas**



Fuente. Tomado de <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb000001RIhBEAW?tab=publications>

En el marco de referencia para el sector agropecuario se identifican tópicos claves afines y con potencial influencia de la 4IR:

Geoeconomía, biotecnología, cambio climático y el futuro de la alimentación, tópicos de frontera para los sistemas globales de alimentación.

La economía digital, la inteligencia artificial y robótica, el IoT, la innovación social y la gobernanza ágil para el desarrollo tecnológico e innovación en alimentación  
La manufactura y producción avanzada, los cambios demográficos, el envejecimiento y las perspectivas de los jóvenes para el sector agropecuario.

Estas interrelaciones derivan en el concepto y práctica de la Agroindustria 4.0, entendida esta como la adopción y uso de las tecnologías de la 4IR en las cadenas de valor agroalimentarias, especialmente en sus eslabones de producción, transformación y comercialización (Coraló, Latino & Menegoli, 2018).

Esta integración incremental de las tecnologías de la Industria 4.0 busca generar sistemas integrados ciber-físicos y ciber-biológicos, que abarquen a los diferentes actores, los datos, información y conocimientos que generan, y coadyuven a la automatización del sector.

En las secciones siguientes se desarrolla el marco de referencia de la investigación en Agroindustria 4.0, que permite identificar el estado actual de desarrollo y los focos de trabajo, que se deben fortalecer y considerar en el contexto colombiano.

## 2. Retos para la Agroindustria 4.0

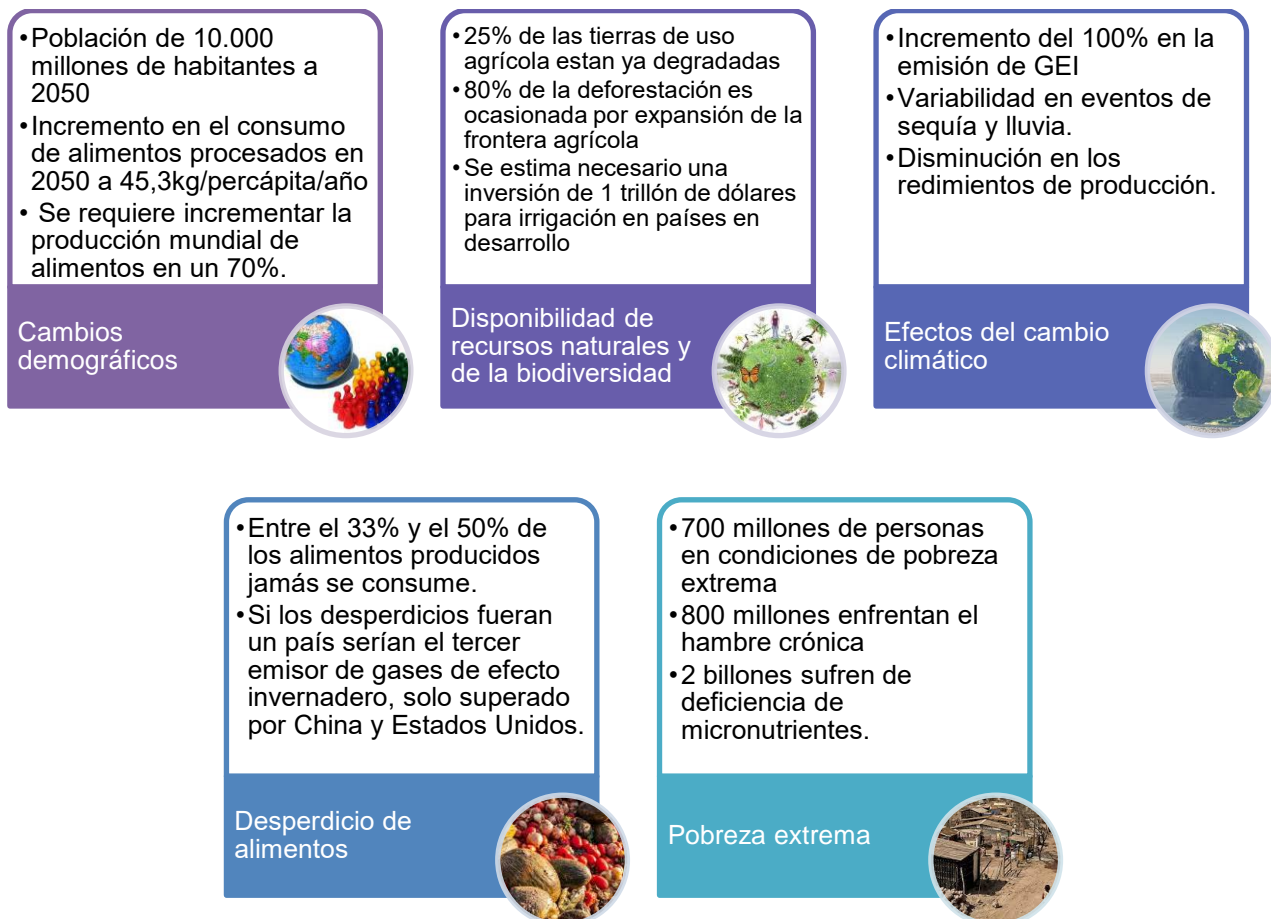
La incorporación de tecnología de la 4RI en el sector agropecuario implica entender cómo pueden coadyuvar y generar sinergias con los conocimientos tradicionales, para afrontar los retos que desde las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación se consideran prioritarias (Figura 3).

Este marco de retos y oportunidades conlleva a la premisa de que la incorporación de las dinámicas de la 4IR debe llevarnos a una Agricultura 4.0 verde, para una producción sostenible y basada en I+D+i, orientada a las necesidades del consumidor, que dinamice las cadenas productivas agroalimentarias y genere una reingeniería sectorial.

La granja tradicional debe migrar a una granja moderna respetando el conocimiento tradicional de los productores, e incorporándolo a tecnologías que van desde sensores

remotos y en tiempo real de las variables del cultivo, imágenes aéreas y monitoreo satelital, hasta la automatización inteligente en las diferentes fases de la producción primaria, gestión avanzada de insumos agrícolas, aprovechamiento de subproductos y residuos, bioeconomía circular, entre otros.

**Figura 3. Retos para la agroindustria 4.0**



Fuente. Elaboración propia a partir de Clercq, Vats y Biel (2018).

De Clercq, Vats y Biel (2018), proponen tres grandes tendencias 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.

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.

La gobernanza debe evolucionar bajo las mismas dinámicas de la tecnología, garantizando la seguridad alimentaria de cada país y disminuir la dependencia de importaciones, incrementar la transparencia en los procesos de distribución, fortalecer la inversión en I+D, promover redes de colaboración transnacionales.

### 3. Tendencias tecnológicas para la agroindustria 4.0

Para poder identificar las tendencias tecnológicas en la Agroindustria 4.0, se desarrolló un ejercicio de vigilancia tecnológica 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® este proceso también se llevó a cabo en los siguientes capítulos. Para poder implementar la vigilancia tecnológica es necesario definir una estrategia de búsqueda a través de una ecuación estructural. Dicha ecuación se presenta en la Figura 4.

**Figura 4. Ecuación estructural**

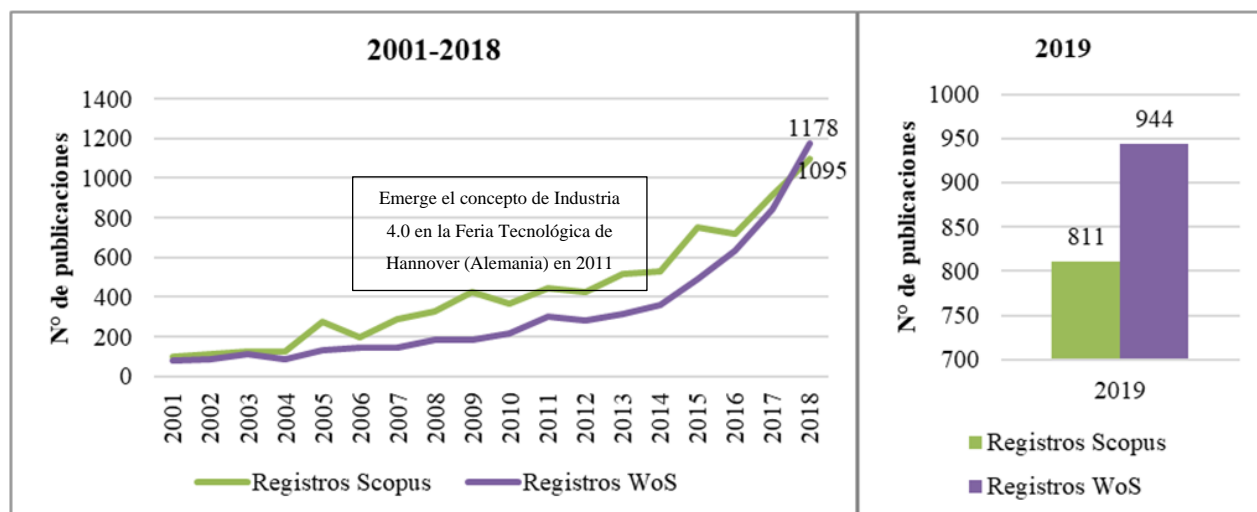
```
TITLE-ABS-KEY(("agricultur*" OR "agroindustr*" OR "husbandry" OR "dairy" OR
"forestry" OR "fishing" OR "aquiculture" OR "food sciences") AND ("Industry
4.0" OR "4IR" OR "fourth industrial revolution" OR "disruptive technolog*" OR
"internet of things" OR "IoT" OR "agriculture IoT" OR "virtual reality" 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"))
```

Fuente. Autor

La ecuación implementada tiene como resultado un corpus de publicaciones científicas y académicas afines a la temática en estudio. Se obtuvieron 9.061 registros en Scopus y 6.748 registros en WoS. Teniendo en cuenta que ambas bases de datos comparten documentos en común, se realizó una compilación, depuración de registros y eliminación de duplicados, lo que permite establecer un total de 7.578 registros en la temática.

La evolución de la productividad científica-académica en la temática de la Agroindustria 4.0 en los dos motores de búsqueda consultados, se presenta en la Figura 5. La dinámica creciente durante el periodo se incrementa a partir del periodo 2011-2013, donde emerge el concepto de Industria 4.0 y Cuarta revolución Industrial 4IR.

**Figura 5. Dinámica de publicaciones en Agroindustria 4.0**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus® y Web of Science®, Fecha de consulta septiembre de 2019. Software de análisis Excel®.

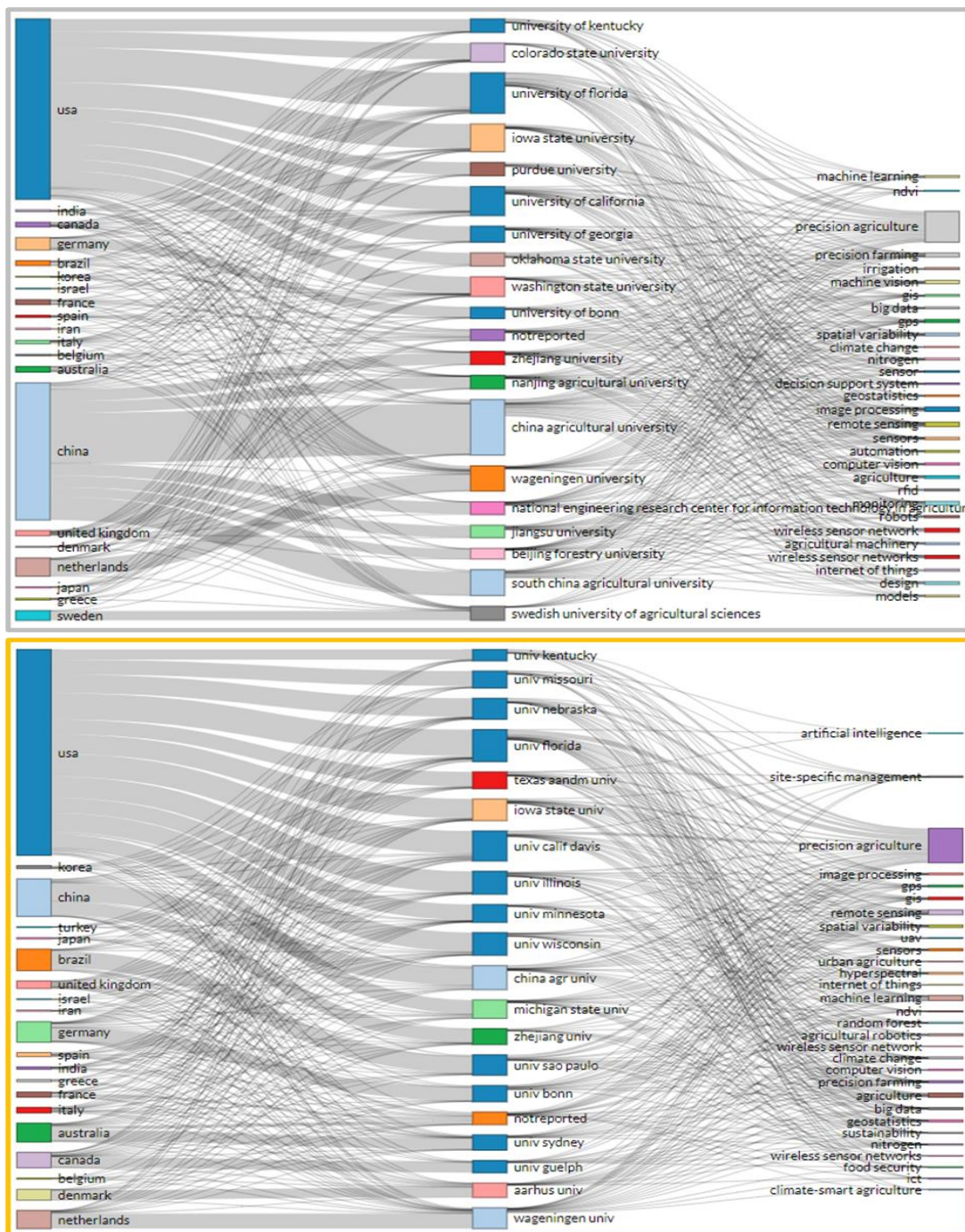
De manera homologa el término Agroindustria 4.0 busca generar un punto conceptual en el que, se entienda como un incremento sostenido en la vinculación de las tecnologías de la información y las comunicaciones, lo que conlleva al desarrollo de sistemas inteligentes interconectados, que combinan, analizan y generan datos a partir de diferentes fuentes, con el objetivo de incrementar la productividad y competitividad (Luque, Peralta, de las Heras & Córdoba, 2017).<sup>1</sup>

Lo anterior acorde con Luque, et al (2017) comprende el uso de herramientas y dispositivos portables, tanto para la medición *in situ* como *ex situ*, a lo largo de la cadena de valor, lo que conlleva a la necesidad de contar con plataformas digitales robustas para el acceso, almacenamiento y posterior uso de la información recolectada para una toma de decisiones más acertada y eficiente. En este sentido las tecnologías más importantes de la Industria 4.0 impactan al sector agropecuario y lo llevan a un estado de Agroindustria 4.0. Específicamente: manufactura aditiva, realidad aumentada, automatización inteligente, robótica y drones, ciberseguridad, computación en la nube, sistemas ciber-físicos, Big data y analítica de datos. Esta integración de tecnologías en las cadenas de valor agropecuarias

<sup>1</sup> A. Luque, M. Estela Peralta, A. De Las Heras and A. Córdoba, "State of the Industry 4.0 in the Andalusian Food Sector", Manufacturing Engineering Society International Conference, (2017), pp. 1199-1205.

genera una convergencia hacia una producción sustentable, incremento en la productividad, innovación en producto, proceso, servicios y nuevos arreglos organizacionales.

**Figura 6. Países, instituciones y tópicos de trabajo**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus® y Web of Science®, Fecha de consulta septiembre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®. Nota: Recuadro gris – Scopus®; Recuadro Amarillo Web of Science®

Los principales países líderes en investigación en el marco de la Agroindustria 4.0 tanto en Scopus como en WoS son China con la 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. Luego, Estados Unidos con las universidades de Colorado, Kentucky, Florida, Iowa, Purdue, Georgia, California, Washington, Illinois y Wisconsin, trabaja en temas de inteligencia artificial, agricultura de precisión, robótica y drones, aprendizaje de máquina, cambio climático y sensores inalámbricos. Así mismo, países europeos como Holanda, Alemania, Reino Unido específicamente trabajan en tópicos similares, incorporando otros como agricultura climáticamente inteligente, rediseño de maquinaria agrícola, modelos productivos en sistemas ciber-físicos. Finalmente, en América Latina se destaca Brasil en temas de agricultura de precisión y sensores remotos.

Para el caso de Colombia existen megatendencias que anteceden a la agroindustria 4.0 como por ejemplo, la biotecnología, de acuerdo con su importancia en el país sustentada en la biodiversidad, identificada como una de las grandes ventajas competitivas que puede y debe convertirse en desarrollo para el país, y en el aprovechamiento sostenible y adecuado de los recursos naturales contemplado en el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano- PECTIA (2017), así como también, se resalta el tema de agricultura de precisión en el foco “desarrollar e implementar sistemas de información, sistemas de gestión de conocimiento y sistemas expertos especializado” liderado por el Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicación.

### **3.1. Análisis de tendencias.**

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

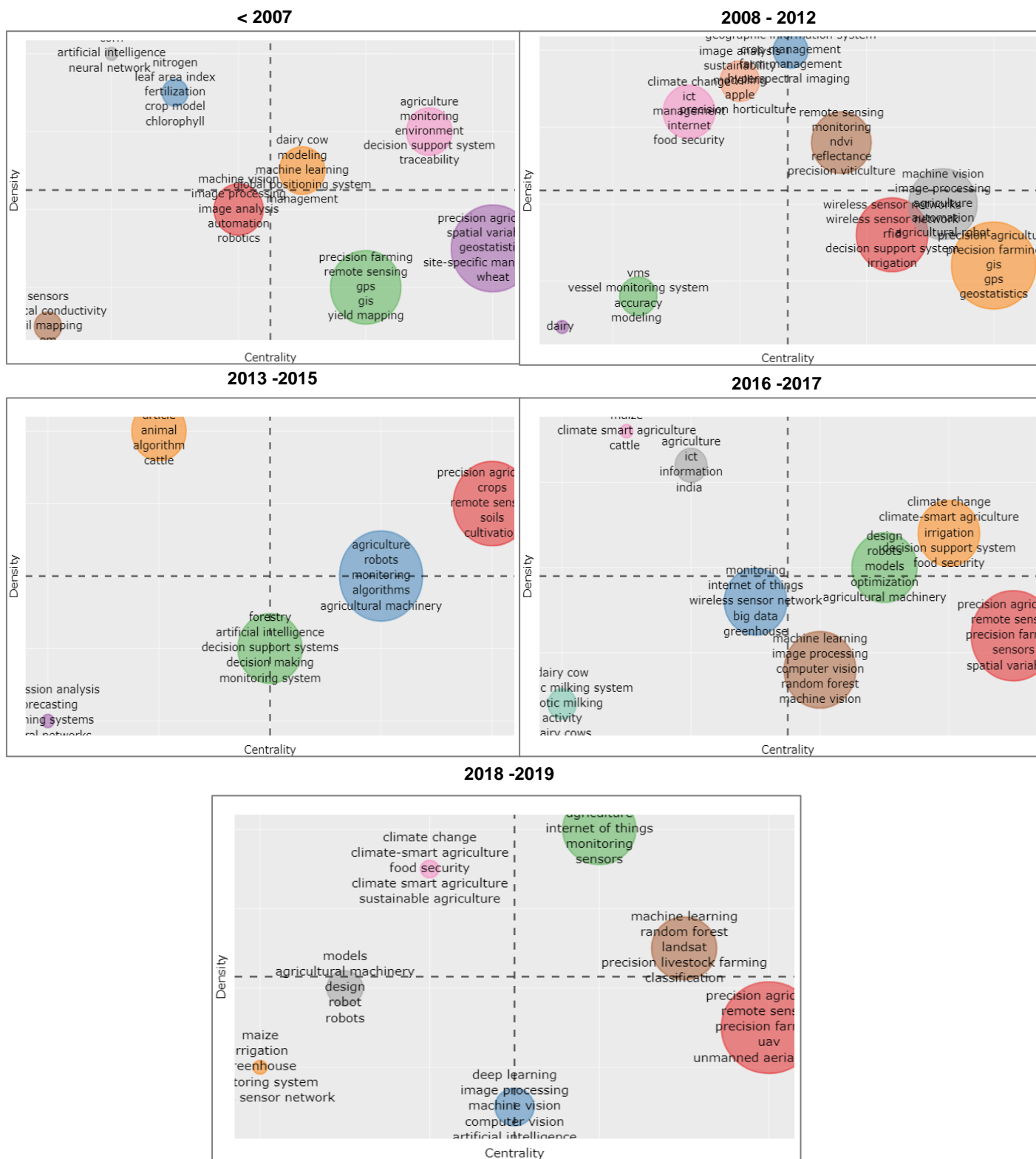
la productividad y la sostenibilidad ambiental (Seth & Ganguly, 2017)<sup>2</sup>. En la Figura 7 se presenta los estadios evolutivos de la inmersión de tecnologías clave de la 4RI en el sector agropecuario.

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.

---

<sup>2</sup> Ankur Seth and Kavery Ganguly, "Digital Technologies Transforming Indian Agriculture", Chapter 5: Digital Technologies Transforming Indian Agriculture, (2017), pp. 105-111.

Figura 7. Evolución de la inserción de tecnologías 4IR en el sector agropecuario



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

El tamaño de las 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 nos permite ver 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, aunque tiene sus orígenes antes de la 4RI, su desarrollo se ha potenciado con 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.).

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 (Sung, 2018)<sup>3</sup>. 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

---

<sup>3</sup> Jehoon Sung, "The Fourth Industrial Revolution and Precision Agriculture", *Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations*, (2018), pp. 1-15.

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, su desarrollo lo ha consolidado como motores como transversales, ya 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 como 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. Enfocándonos en el último periodo de tiempo 2018-2019 se encuentran particularidades interesantes, que reafirman la ciclicidad de la ciencia y la circularidad del conocimiento.

Como temas altamente desarrollados, pero aún no consolidados como motor a la agricultura climáticamente inteligente, que basa la sostenibilidad 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 conocimientos 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 remotos y los vehículos aéreos no tripulados (drones).

### 3.2. Tecnologías bandera

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 (Tejas & Sanjay, 2019)<sup>4</sup>.

- *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 agropecuario esta tecnología involucra contratos 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.

---

<sup>4</sup> Tejas G. Patil, Sanjay P. Shekhawat (2019) Industry 4.0 implications on Agriculture Sector: An Overview. International Journal of Management, Technology and Engineering. 9, 1. Pg 1512-1524

- *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 atmosferas 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 animales.
- *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.

### 3.3. Redes de trabajo en la Agroindustria 4.0

Para entender de una manera más holística la integración de las tecnologías descritas con antelación, se propone un análisis de redes basado en la coocurrencia e interacción de datos clave en los corpus analizados. Un primer análisis es identificar las redes de colaboración entre instituciones y países en temas afines a la agroindustria 4.0 (Figura 8).



Como se puede apreciar en la Figura 8 (recuadro inferior), los países líderes generan interacciones marcadas con las redes 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.

- **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 países (cuadrante superior), es una red más compleja en la que 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.

La identificación de redes para potencializar el desarrollo y uso de tecnologías en el sector agropecuario es fundamental para Colombia, ya que permite identificar posibles países con

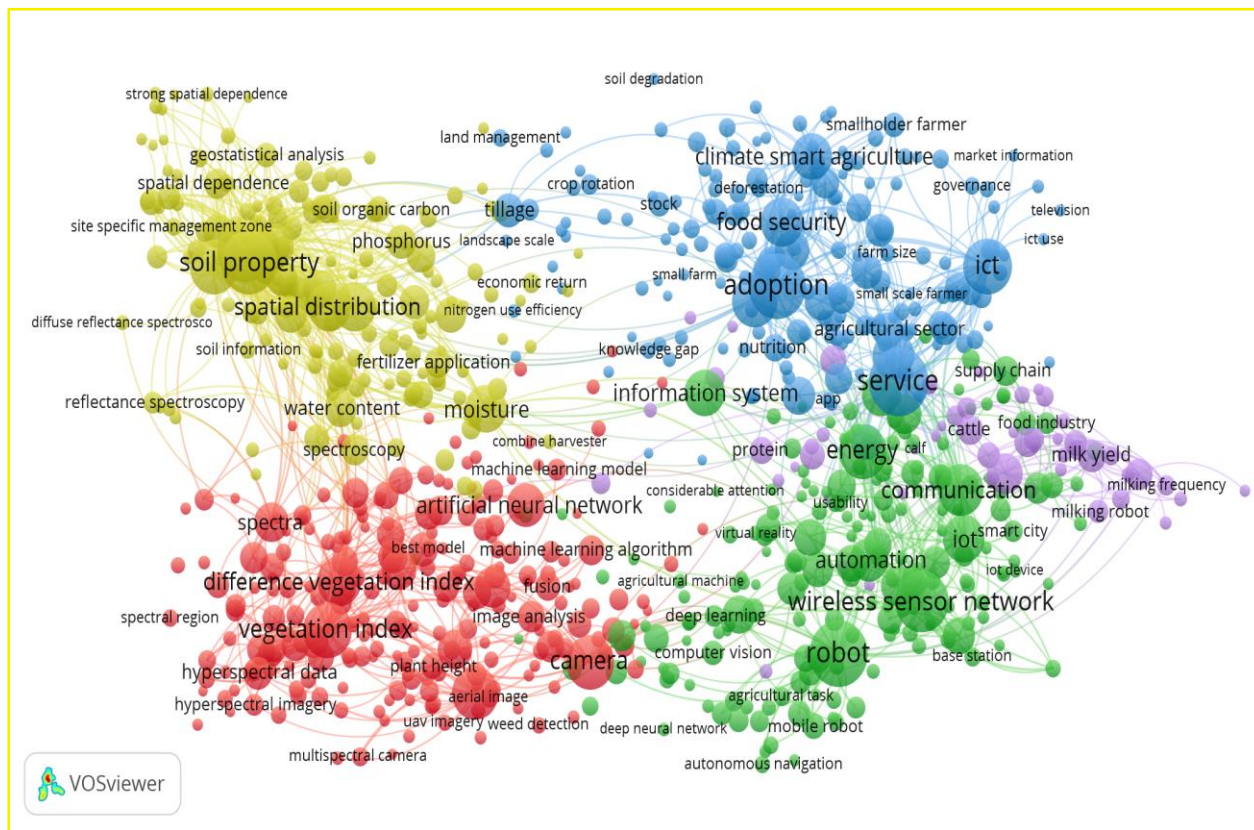
los cuales se puedan generar alianzas para un trabajo colaborativo en pro de aunar esfuerzos y generar impacto en el sector.

Profundizando en los tópicos de trabajo el análisis de redes nos permite abarcar 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 9 se presentan las redes de coocurrencia de textos claves para los registros de Scopus y WoS.

En la red de Scopus (recuadro gris), diferenciamos cinco clústeres de tópicos clave, que nos permiten ver tópicos afines asociados a tecnologías clave.

- 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 (CO<sub>2</sub>), sistemas agroforestales, escenarios de cambio climático, agricultura urbana, diversidad genética, enfoque en el pequeño productor, servicios de extensión con enfoque ecosistémicos, 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.





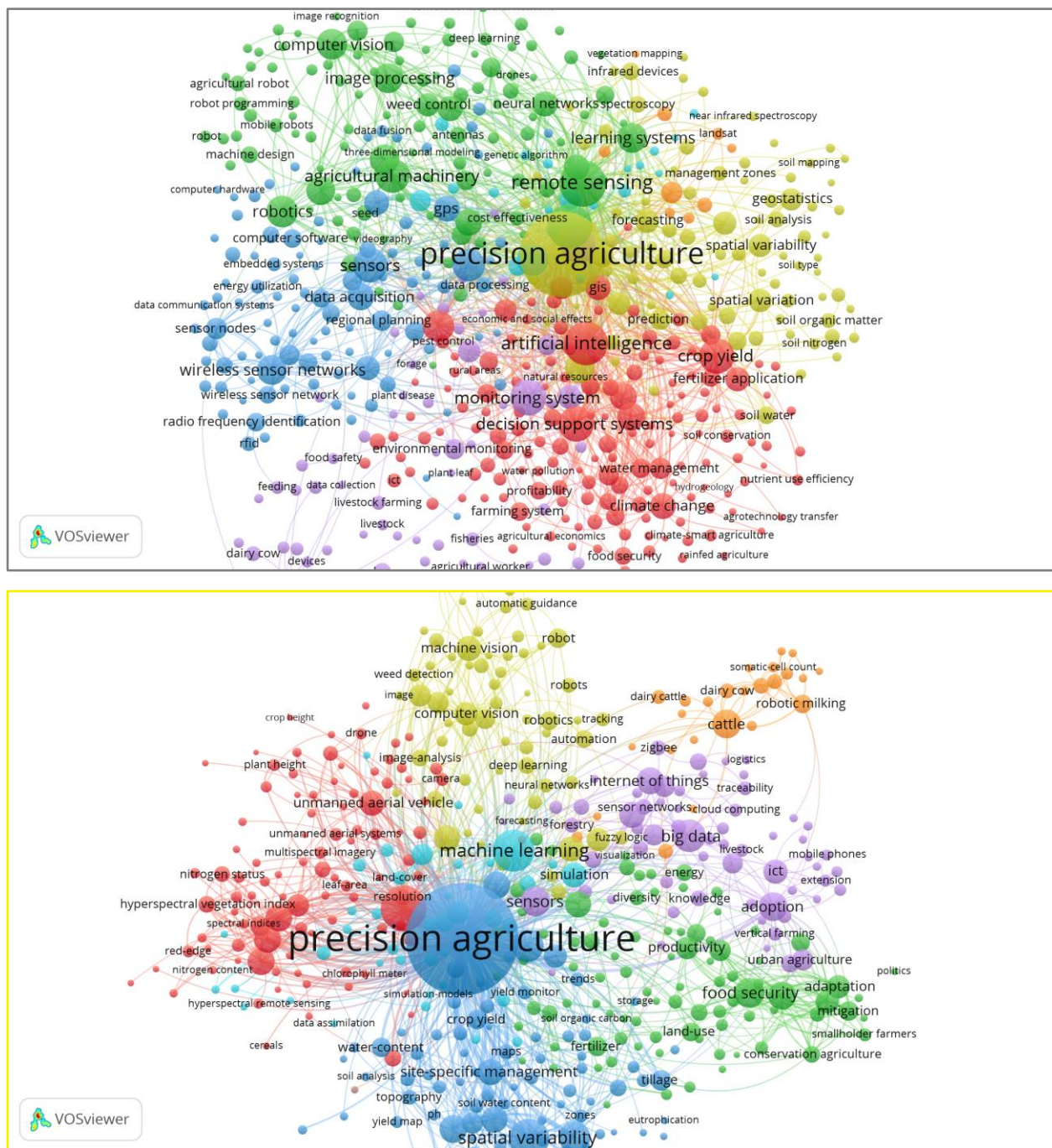
Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus® y Web of Science®, Fecha de consulta septiembre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®.

Nota: Recuadro gris – Scopus®; Recuadro Amarillo Web of Science®

Si bien la red de WoS (recuadro amarillo) comprende temas similares a la Scopus, se evidencia en el clúster rojo el análisis de coberturas boscosas, a través de sensores, imágenes espectrales y drones, contribuyendo a un análisis integral de paisajes agropecuarios. En la Figura 10, se presentan las redes de análisis para coocurrencias de palabras clave.

Las redes de coocurrencia destacan 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 son los sensores remotos y la variabilidad espacial, este último en WoS. En tercer lugar, en Scopus lo ocupan cuatro tópicos del clúster rojo tecnología para la agricultura, inteligencia artificial, sistemas de soporte a las decisión y rendimiento del cultivo; en WoS tres tópicos del clúster violeta Big Data, Internet de las cosas y adopción de tecnología.

**Figura 10. Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en Agroindustria 4.0 – palabras clave.**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus® y Web of Science®, Fecha de consulta septiembre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®.  
 Nota: Recuadro gris – Scopus®; Recuadro Amarillo Web of Science®

## 4. Retos y desafíos para la Agroindustria 4.0

Al igual que cualquier área temática del conocimiento que impacta 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. Para poder abarcar los retos y desafíos más relevantes se propuso una categorización en retos implicados directamente con la tecnología y retos indirectos. En la Tabla 1 se presentan la clasificación enunciada.

**Tabla 1. Retos y desafíos para la Agroindustria 4.0**

Tipología	Retos y desafíos	Descriptor
Directos	<b>Estándares de compatibilidad</b>	Garantizar la compatibilidad de equipos y su aplicabilidad en las zonas rurales, procesos de intercambio de datos, procesos de comunicación, enfoque holístico.
	<b>Tamaño de la unidad productiva</b>	Tecnologías apropiadas para la especificidad de la unidad productiva
	<b>Extensión agropecuaria</b>	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 interdisciplinario entre productores, extensionistas e investigadores.
	<b>Apropiación de tecnologías digitales en los productores</b>	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.
	<b>Cultura agroempresarial</b>	Transformación de las empresas existentes a través de las nuevas tecnologías digitales y la creación de nuevas empresas innovadoras Generación de incubadoras agrícolas Participación en espacios de divulgación científica.
Indirectos	<b>Habilidad para la modernización del Agricultor.</b>	Capacidad de los productores de adaptarse, evolucionar y potenciar sus prácticas tradicionales. Acceso a financiación y créditos especializados para transformación digital. Acceso a formación y capacitación para la transformación digital. El

Tipología	Retos y desafíos	Descriptor
		acceso sostenible y diferencial a las tecnologías garantiza el impacto sostenible.
	<b>Desarrollo de infraestructura tecnológica/ Cobertura</b>	Infraestructura TIC que permita el desarrollo de la IoT. Ampliación de la cobertura de acceso a internet.
	<b>Características de la familia rural</b>	Alinear las estrategias de adopción acorde con las características etnográficas de las familias rurales (educación, ingresos, distribución de género, tamaño de la familia, etc.).
	<b>Políticas y programas para facilitar la agricultura digital</b>	Políticas de formación y transformación digital Instrumentos de financiación para la agroindustria 4.0

## 5. Casos de éxito

• Aplicación de alerta temprana desarrollada por la FAO a fin de facilitar notificaciones de calidad y en tiempo real de enfermedades del ganado registradas por los trabajadores de sanidad animal sobre el terreno en seis países de África.

EMA-i



• El robot de deshierbe permite a los productores de hortalizas gestionar la eliminación de malezas de los cultivos con un alto grado de precisión

DINO



• Proporcionar geocartografía, planificación de cultivos, planes individuales de gestión de explotaciones y automatización agrícola personalizada para cada productor a partir de datos sobre las condiciones atmosféricas, el suelo, las plagas y los cultivos casi en tiempo real.

MyCrop



• Se basa en el uso de tecnologías de inteligencia artificial desarrolladas por Alibaba Cloud como reconocimiento visual, reconocimiento de voz y monitoreo de parámetros ambientales en tiempo real, de unidades productivas porcinas.

Cerebro agrícola ET



• Tecnología de cadenas de bloques para realizar un seguimiento de cada bolsa de espinacas y cada lechuga. El gran minorista comenzará a exigir que los proveedores de lechuga y espinaca contribuyan a una base de datos de cadenas de bloques que puede detectar la contaminación rápidamente.

Walmart-BlockChain



Fuente. Elaboración propia a partir de FAO (2019)<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2019), TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA AGRICULTURA Y LAS ZONAS RURALES -DOCUMENTO DE ORIENTACIÓN-. FAO.

## **SECCIÓN II: COMPORTAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA EN LA PANDEMIA EN LA AGROINDUSTRIA 4.0: (Actualización de análisis general para el año 2020)**

La pandemia mundial del COVID-19 ha puesto al mundo y los gobiernos en una encrucijada, por un lado, para garantizar la salud y bienestar humano, y por otro, para definir estrategias que garanticen la alimentación de la población mundial. Por ejemplo, una cantidad importante de iniciativas mundiales han enfocado sus esfuerzos en solucionar el problema de ventilación mecánica para pacientes en estado crítico por COVID-19 o en la carrera por el desarrollo de una vacuna contra el SARS COV-2 (el virus causante de la enfermedad), que son los principales desafíos de salud que se enfrentan actualmente. También hay que pensar en garantizar la alimentación de la población cuando el contacto físico y la movilización de productos de consumo están restringidos y garantizar el bienestar de la población con el acceso a una adecuada alimentación. El reto es mantenerse sanos y garantizar que los alimentos sean accesibles para todos por igual (IICA, 2020).

La dinámica de la tecnología hace necesario revisar el comportamiento y avances en estos desarrollos en un periodo de tiempo de septiembre de 2019 a septiembre 2020 y lograr identificar si existen actualizaciones o innovaciones tecnológicas. Adicionalmente, nuevos retos se han presentado desde que inicio la pandemia por la COVID 19, ya que el mundo entero se vio obligado a cambiar sus dinámicas productivas, sociales y sanitarias, entre otras. En el contexto social las TIC han tomado un papel importante en esta contingencia, las cuales, a pesar de ser altamente desarrolladas e implementadas, durante la pandemia han sido aprovechadas como una alternativa de comunicación

Por otro esta contingencia mundial trajo desafíos para contrarrestar la problemática sanitaria que afecta directamente sectores como el agropecuario, por esta razón, las tecnologías convergentes toman fuerza y más las relacionadas con Agroindustria 4.0. lo cual obliga al avance en I+D+i para enfrentar los nuevos retos y aprovechar las oportunidades, esto conlleva el desarrollo de artículos científicos que presentan resultado de investigación y desarrollo. A continuación, se presenta un análisis de esta producción relacionada con el tema.

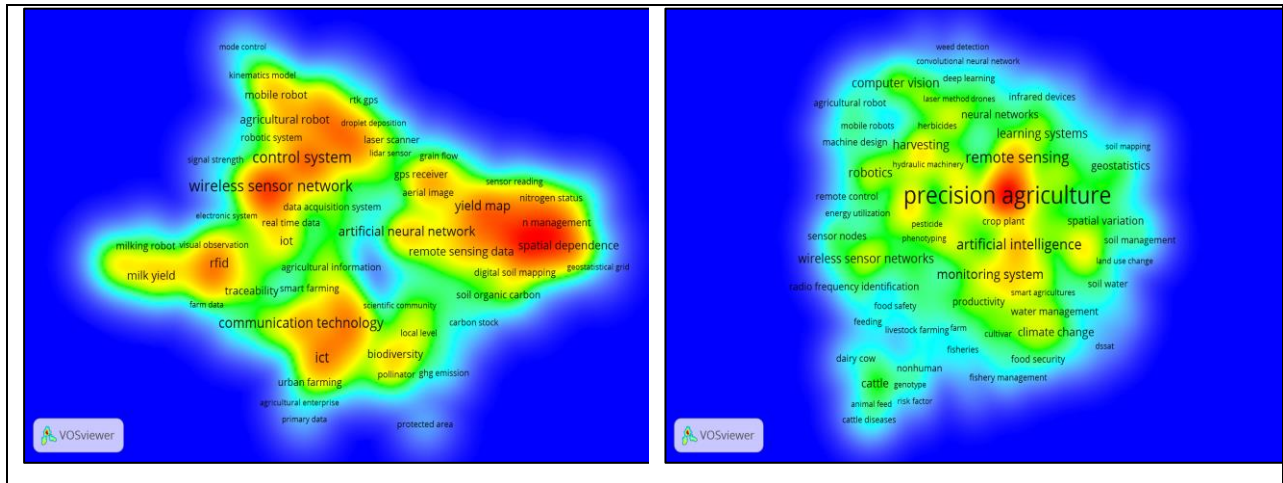
Para poder implementar la vigilancia tecnológica es necesario definir una estrategia de búsqueda a través de una ecuación estructural. Dicha ecuación se presenta a continuación:

### Estrategia de búsqueda

```
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" ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2020 ) )
```

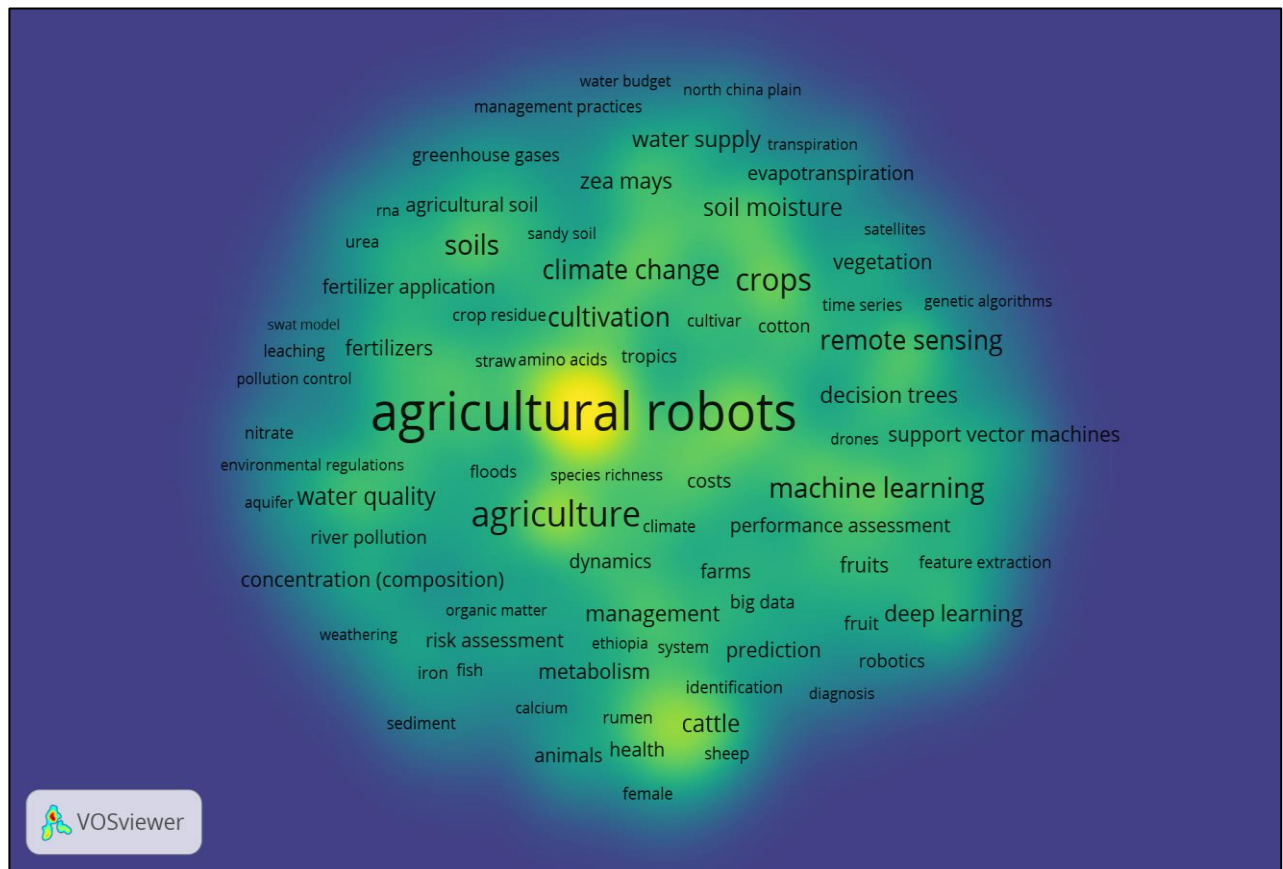
La ecuación implementada tiene como resultado un corpus de publicaciones científicas y académicas afines a las temáticas identificadas y enfocadas al tema de estudio. Se obtuvieron 2.393 registros en Scopus y se descargaron al formato .bit y 1.916 registros en WoS. Como ambas bases de datos comparten documentos, se compiló, depuró y eliminó registros duplicados, lo que permite establecer 4.296 registros en la temática.

**Figura 11. Análisis complementario de focalización (mapa de calor) 2001 -2009**



Fuente. Elaboración propia a partir de información recuperada de Scopus® y Web of Science ®. Fecha de consulta septiembre de 2019. Software de análisis VOSviewer®

**Figura 12. Análisis complementario de focalización (mapa de calor) 2020**



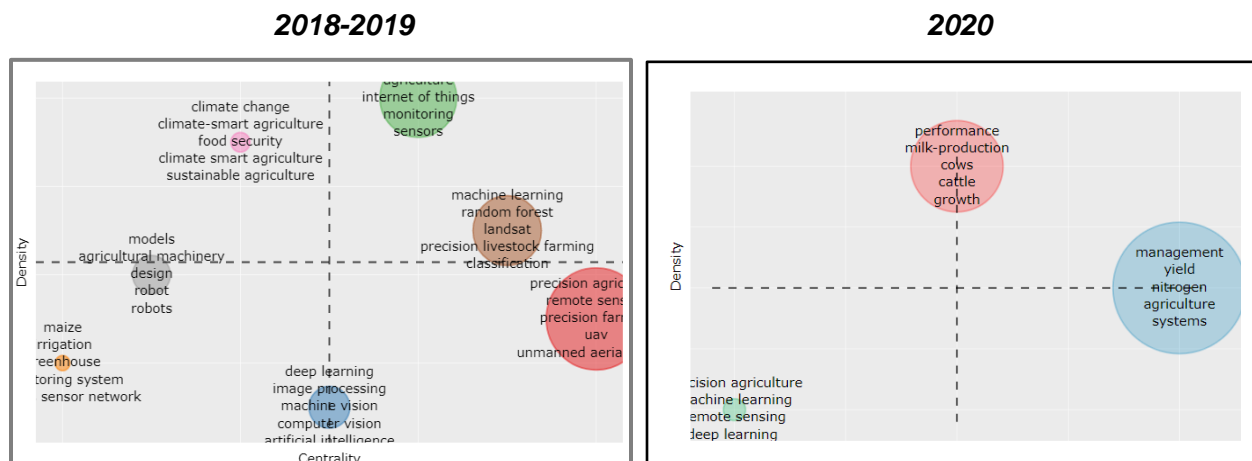
Fuente. Elaboración propia a partir de información recuperada de Scopus® y Web of Science ®. Fecha de consulta septiembre de 2020. Software de análisis VOSviewer®

En el mapa de calor se identifica aquellos temas tendencias, para el año 2001 a 2019, (figura 11) en color rojo se destacan los tópicos: Agricultura de precisión, red de sensores inalámbricos y dependencia espacial. En color amarillo refleja tópicos como: sistemas de monitoreo, tecnología de comunicación y red neuronal artificial. En color verde temas relacionados con inteligencia artificial.

- **Precisión agriculture (Agricultura de precisión):** es una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola. (ISPA, 2020)
- **Wireless sensor network (Red de sensores inalámbricos):** es un sistema que consiste en dispositivos autónomos usando sensores distribuidos espacialmente para monitorear cooperativamente condiciones físicas o ambientales, tales como temperatura, humedad relativa, radiación solar, flujo fotosintético, etc. en diferentes ubicaciones. (Urbano, 2013)
- **Spatial dependence (Dependencia espacial):** se refiere a la relación entre los datos georreferenciados debido a la naturaleza de la variable bajo estudio y el tamaño, forma y configuración de las unidades espaciales (Rosales, 2013)., se puede utilizar en la identificación de clústeres de municipios de acuerdo con su desempeño y productividad.
- **Artificial neural network (Red neuronal artificial):** las Redes Neuronales son un campo muy importante dentro de la Inteligencia Artificial. Inspirándose en el comportamiento conocido del cerebro humano (principalmente el referido a las neuronas y sus conexiones), trata de crear modelos artificiales que solucionen problemas difíciles de resolver mediante técnicas algorítmicas convencionales.
- **Artificial intelligence (Inteligencia artificial):** la inteligencia artificial es la serie de tecnologías que sirven para emular características o capacidades exclusivas del intelecto humano.

En 2020, (figura 12) se destaca el amarillo como tópicos: robots agrícolas, agricultura y cultivos, es decir, temas en mediano desarrollo pese al poco tiempo que toma la información, sigue en la misma tendencia que el 2019.

Figura 13. Mapa temático



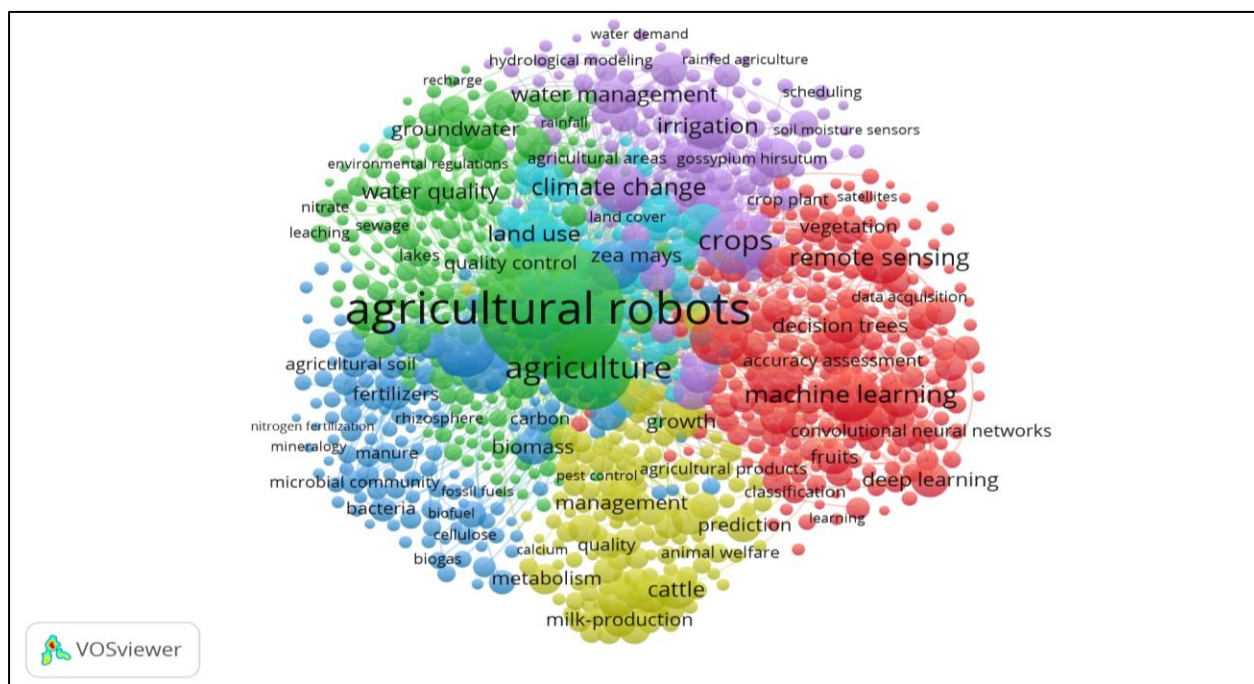
Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®. Fecha de consulta septiembre de 2020. Software de análisis Bibliometrix®.

Con respecto al análisis realizado 2018 - 2019, el cual se describe en la figura 13, en el 2020 las tendencias han cambiado, teniendo en cuenta lo siguiente:

- **Cuadrante superior derecho y cuadrante superior izquierdo:** No es fácil identificar si son **temas motores** los tópicos que sobresalen en el cuadrante superior derecho, puesto que se encuentran en la parte central del eje, estas investigaciones están enfocadas en la producción de leche, vacas y crecimiento. Para un análisis más detallado hay que considerar un periodo de tiempo más amplio. Con respecto al cuadrante superior izquierdo, estos mismos **temas altamente desarrollados pero aislados** están en transición a convertirse en temas motor.
- **Cuadrante inferior derecho – temas básicos y transversales:** rendimiento de la gestión y sistemas agrícolas. Respecto con lo mencionado anteriormente, estos temas se están convirtiendo en temas básicos transversales.
- **Cuadrante inferior izquierdo – temas emergentes y decadentes:** agricultura de precisión, aprendizaje automático y sensores remotos.

En la figura 14 se observa la existencia de una red focalizada que generó 6 clúster relacionados entre sí, mediante un análisis de coocurrencia de palabras clave, y luego la descripción de cada clúster.

**Figura 14. Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en Agroindustria 4.0 – textos clave**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®. Fecha de consulta septiembre de 2020 Software de análisis Bibliometrix®.

Esta red de palabras clave permite identificar los tópicos sobre los que se está investigando relacionados con Agroindustria 4.0 en el año 2020, los términos identificados por medio de la herramienta VOSviewer se agruparon en los siguientes 6 clústeres:

**Clúster rojo relacionado con inteligencia artificial:** En este clúster se abordan temáticas relacionadas con el *machine learning* o aprendizaje automático que están relacionados con otros términos identificados como el manejo, minería y procesamiento de datos, también se detallan términos relacionados con los análisis de datos para la agricultura de precisión como, por ejemplo: teledetección, arboles de decisiones, redes neuronales y procesamiento de imágenes.

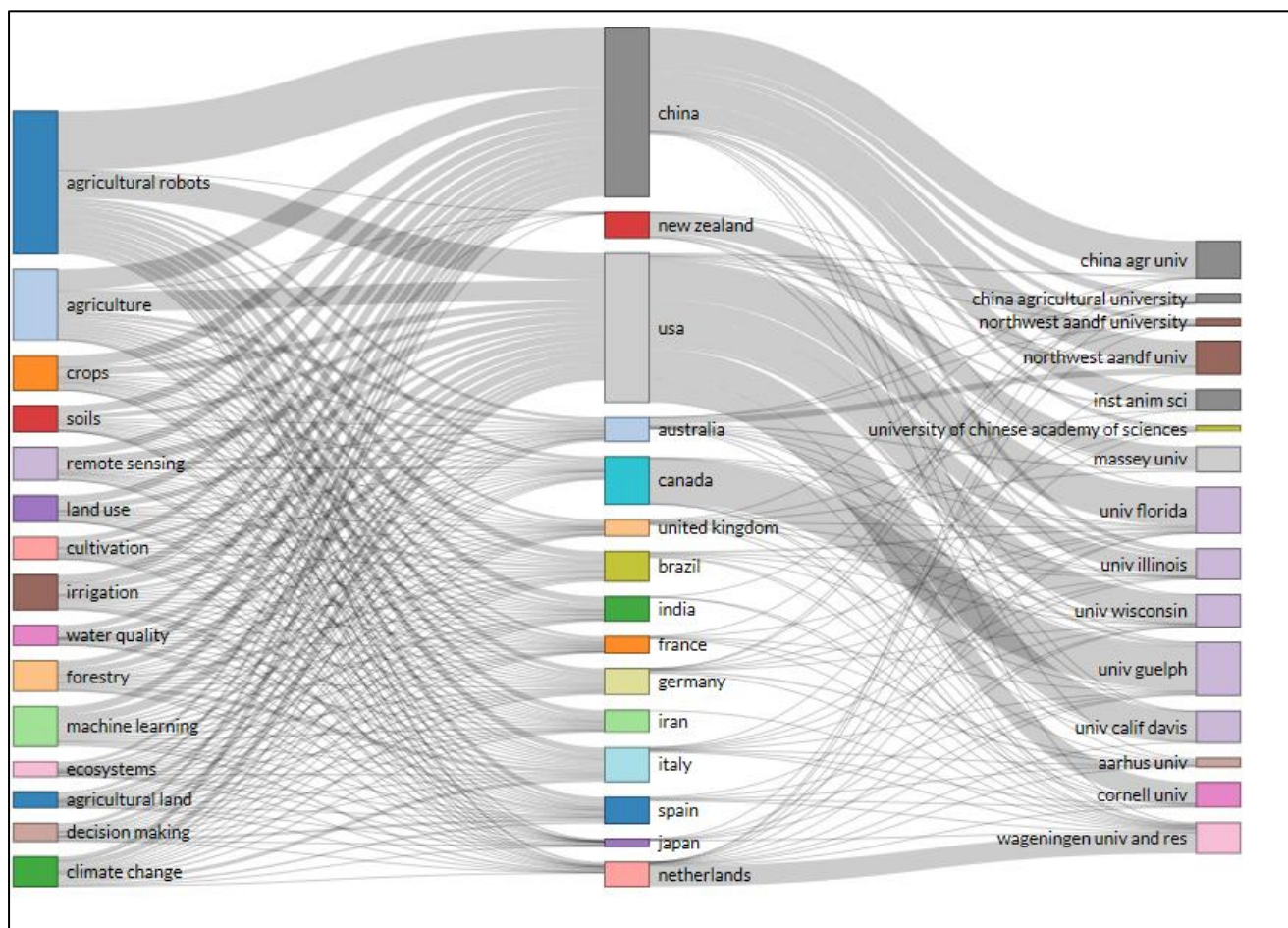
**Clúster verde relacionado con los robots en la agricultura:** En este se evidencia la influencia de las temáticas relacionadas con la implementación de robots en las tareas agrícolas para automatizar las tareas lentas, repetitivas en las actividades agrícolas, esta temática presenta una fuerte relación con los demás identificados y, además, se abordan temas relacionados con emisiones, industria e irrigación agrícola, y temas relacionados con el agua y aguas subterráneas como: conservación, calidad, contaminación y tratamiento. de igual forma, otros temas como: análisis químico, contaminación y composiciones químicas.

**Clúster morado relacionado con cambio climático y cultivos:** en este clúster se identifican temas relacionados con cultivos, como *sensores de humedad*, regiones áridas, temperatura del aire, *riego de precisión*, humedad del suelo, contenido del agua del suelo, modelos climáticos, *modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool)*, efectos de las temperatura y recursos hídricos.

**Clúster amarillo relacionado con sistemas pecuarios:** En este clúster se identifican temas relacionados ganado bovino, vacas lecheras, producción de leche, puntuación de condición corporal, rendimiento, sistemas agrícolas, fertilidad, seguridad alimentaria, agricultura de precisión, probabilidad, procedimientos y riesgos.

**Clúster azul y aguamarina relacionado con suelo:** En este clúster se identifican temáticas relacionadas con calidad, fertilizantes, manejo, química, características, nutrientes, nitrógeno, bacterias, contaminación y calidad del suelo, así como también temas relacionados con biomasa, bioquímicos, Sensores remotos para la recolección de datos relacionados con los cultivos y de esta manera apoyar la toma de decisiones fermentación, usos del suelo, servicios ecosistémicos, manejo y conservación del suelo.

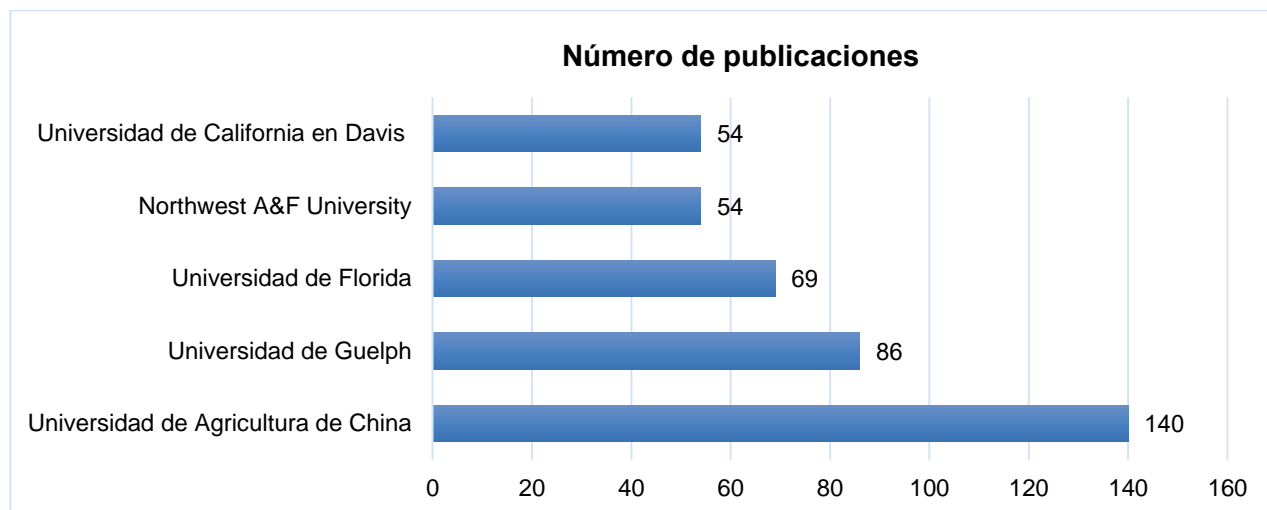
**Figura 15. Gráfico de Sankey**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®, Fecha de consulta septiembre de 2020 Software de análisis Bibliometrix®.

En la figura 15 se identifican las instituciones que están trabajando en temas relacionados con la Agroindustria 4.0 en el año 2020, entre los países que se destacan se encuentra Estados Unidos, con instituciones como la Universidad de Minnesota, la Universidad de Florida, Universidad de California en Davis, la Universidad de Illinois y la Universidad de Iowa, seguido de China con la representación de la Universidad de Agricultura de China y Canadá con la Universidad de Guelph entre los temas que trabajan estas instituciones se destacan: robots agrícolas, sensores remotos, aprendizaje automático, relacionados con la toma de decisiones, uso del suelo, calidad del agua y cambio climático

**Figura 16. Entidades más relevantes**



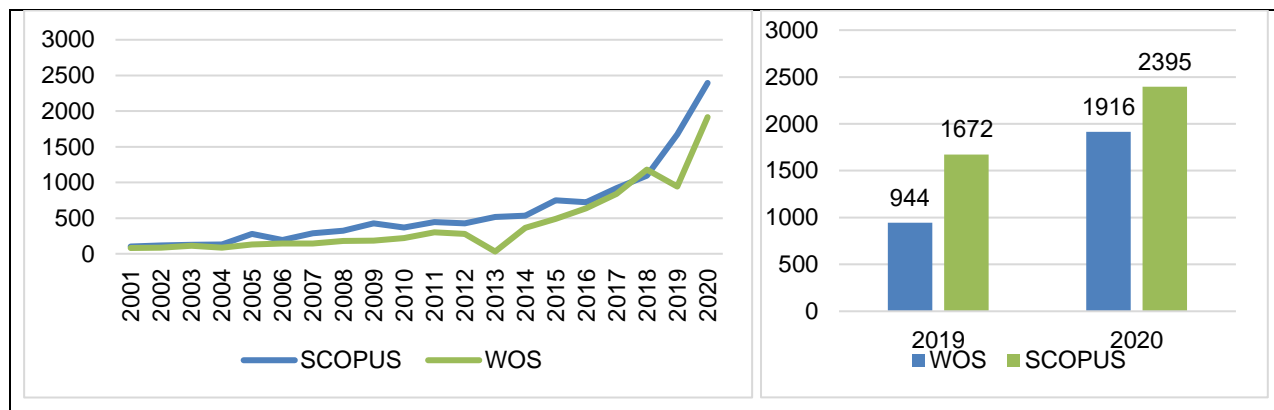
Fuente. Elaboración propia a partir de información recuperada de Scopus® y Web of Science ®. Fecha de consulta septiembre de 2020. Software de análisis Bliometrix®

Entre las entidades que más desarrollaron investigaciones en tópicos relacionadas con la Agroindustria 4.0 en el año 2020, figura en primer lugar la Universidad de Agricultura de China (140 publicaciones) con temas relacionados robots agrícolas y producción agrícola, en segundo lugar se encuentra la Universidad de Guelph de Canadá (86 publicaciones) con temas relacionados con: análisis reproductivo en ganado, sistemas de ordeño robotizados, salud animal, big data, aprendizaje automático, entre otros, seguida por Universidad de Florida con (69 publicaciones) esta se especializa en robots agrícolas y modelo agrícolas, posteriormente se posiciona Northwest A&F University (54 publicaciones) donde se destacan los tópicos robots agrícolas y sensores remotos y en último lugar se encuentra la Universidad de California en Davis (54 publicaciones) relacionadas con robots agrícolas, como se evidencia ese tópico predomina en las investigaciones de estas universidades (Fig. 16).

Una vez aplicada la ecuación de búsqueda para el año 2020 en las bases de datos bibliográficas de Scopus y Web of Science se observa el crecimiento de la publicación de documentos en las áreas temáticas relacionadas con la Agroindustria 4.0, de esta manera se evidencia que para septiembre del 2020 en Scopus se publicaron 2395 documentos y en Web of Science 1916, lo que indica que a pesar de las restricciones impuestas por la pandemia no se evidencia una afectación en el desarrollo de la divulgación de las ciencia

en estas temáticas y se evidencia del 2019 a 2020 un aumento de más de un 100% en la producción intelectual relacionada con este tema en Scopus y un 70% en Web of Science (Figura 17).

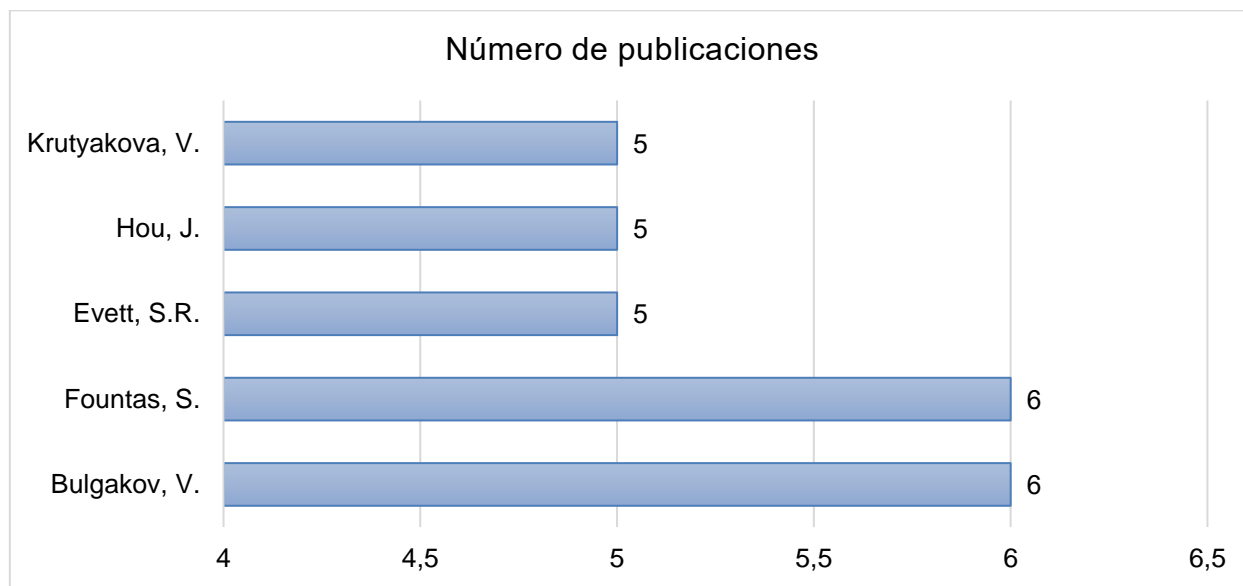
**Figura 17. Dinámica de publicaciones**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus® y Web of Science®, Fecha de consulta septiembre de 2020. Software de análisis Excel®.

La figura 18, representa los 10 principales autores que han escrito más sobre los tópicos destacados donde **Bulgakov, V. Fountas, S. con 6 publicaciones**, Bulgakov, V. en sus investigaciones trabaja temas relacionados con la ingeniería en desarrollo rural enfocada robots agrícolas; **Fountas, S.** sus publicaciones están relacionadas con temas: agricultura de precisión, sensores agrícolas, integrados y remotos; seguido por Krutyakova, V., Lal, R., Li, L., Tang, Q., Zhao, C. con 5 publicaciones cada y Ale, S., Chen, L., Hou, J. con 4 publicaciones.

**Figura 18. Documentos por autor (Scopus)**



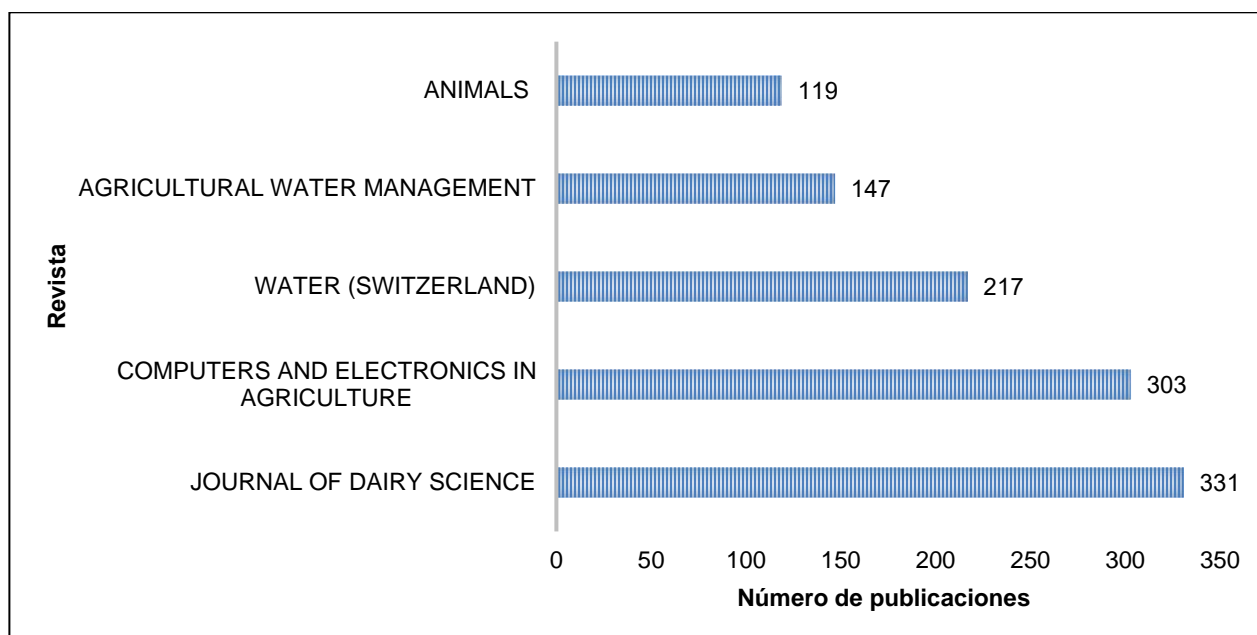
Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®, Fecha de consulta septiembre de 2020

En la figura 19 se identifican las revistas que más realizaron publicaciones en temáticas relacionadas con la Agroindustria 4.0 en el año 2020, en primer lugar se identificó la revista Journal of Dairy Science® (331 publicaciones), con un factor de impacto de 3.3 es la principal revista de investigación en leche, y que aborda temas relacionados en bioquímica, reproducción animal, economía, ingeniería, medio ambiente, ciencia de los alimentos, genética, microbiología, nutrición, patología, fisiología, procesamiento, salud pública, garantía de calidad y saneamiento, seguido de la revista Computers and Electronics in Agriculture (303publicaicones) con un factor de impacto de 3.8 proporciona cobertura internacional de los avances en el desarrollo y la aplicación de hardware, software, instrumentación electrónica y sistemas de control para la solución de problemas en la agricultura, incluyendo la agronomía, horticultura, silvicultura, acuicultura y ganadería.

Seguido se identificó la revista Water (Switzerland) (217 publicaciones) con un factor de impacto de 3.0, aborda temáticas relacionadas con ciencia y tecnología del agua, incluida la ecología y la gestión de los recursos hídricos; continuando con la revista Agricultural Water Management (147 publicaciones), con un factor de impacto de 4.0, la revista publica

artículos relacionados con ciencia, economía, política y manejo del agua agrícola, finalmente la revista *Animals* (119 publicaciones), con un factor de impacto de 1.4, está dedicada exclusivamente a temas relacionados con animales, incluida la zoología y las ciencias veterinarias.

**Figura 19. Revistas con más artículos 2020**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®,  
 Fecha de consulta septiembre de 2020

Una vez detalladas las temáticas se identificaron tres artículos relevantes relacionados con desarrollos en la Agroindustria 4.0, los siguientes artículos tienen relación con inteligencia artificial, minería de datos, modelos difusos y diseño de software para el soporte en la toma de decisiones y mejora de tareas agrícolas, se abordan diferentes desarrollos tecnológicos algunos de los cuales son gratuitos.

- André Dantas de Medeiros, Laércio Junio da Silva, José Maria da Silva, Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias, Márcio Dias Pereira, IJCropSeed: An open-access tool for high-throughput analysis of crop seed radiographs, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 175, 2020, 105555, ISSN 0168-1699,

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105555>.

Disponible

en:

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169920306153>)

<p><b>Objetivo</b></p>	<p>Debido a la necesidad de desarrollar métodos que permitan análisis de las propiedades internas de los productos agrícolas, como las semillas realizar estos análisis de forma eficiente y asertiva. se desarrolló una herramienta de acceso gratuito, de código abierto y fácil de usar llamada IJCropSeed para el análisis de alto rendimiento de imágenes radiográficas de semillas de varios cultivos agrícolas.</p>
<p><b>Métodos</b></p>	<p>Se desarrolló una herramienta de acceso libre para el análisis de alto rendimiento de imágenes de radiografías de semillas, llamada IJCropSeed. La herramienta ahora se ha personalizado para analizar radiografías de semillas de 24 cultivos agrícolas. La herramienta IJCropSeed se desarrolló en el lenguaje macro del software ImageJ® para que sea fácil de usar y esté abierta a modificaciones en su código, buscando satisfacer las demandas actuales y futuras. El código fuente de IJCropSeed, la documentación y los tutoriales en video están disponibles gratuitamente en <a href="https://sites.google.com/ufv.br/ijcropseed">https://sites.google.com/ufv.br/ijcropseed</a></p>
<p><b>Resultado principal</b></p>	<p>IJCropSeed es una herramienta de código abierto eficiente para análisis de alto rendimiento de radiografías digitales de semillas de varios cultivos agrícolas. Los parámetros generados por la macro ofrecen soporte para análisis morfométricos y de integridad tisular de semillas. Los datos obtenidos de IJCropSeed se utilizaron para el estudio de aprendizaje automático, y los modelos desarrollados tenían una alta precisión para clasificar las semillas de <i>C. abyssinica</i> con respecto a su viabilidad y vigor.</p>
<p><b>Trabajos futuros</b></p>	<p>Este desarrollo permite su utilización a futuro debido a que fue creada en un macro del software ImageJ® y está abierta a modificaciones en su código,</p>

- Taiwo Gabriel Omomule, Olusola Olajide Ajayi, Adebola Okunola Orogun, Fuzzy prediction and pattern analysis of poultry egg production, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 171, 2020, 105301, ISSN 0168-1699,

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105301>. Disponible

en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919322811>

<b>Objetivo</b>	Este artículo propone un modelo predictivo difuso óptimo para la producción de huevos de aves de corral. La motivación proviene del análisis de la no linealidad y la imprecisión en la producción de huevos, que se maneja mejor con la lógica difusa en comparación con otras técnicas de computación blanda
<b>Métodos</b>	La visión arquitectónica del modelo propuesto se subdivide en tres módulos: preprocesamiento de datos, mapeo de variables (entradas y salidas) en espacio difuso y proceso de inferencia difuso.
<b>Resultado principal</b>	El modelo difuso propuesto logró la mejor precisión de predicción del 100% Pred (30) pero encontró fallas en el error relativo de magnitud media (MMRE) de 0.11744. Por lo tanto, ajustando adecuadamente los valores de los parámetros en la función de pertenencia y el sistema de inferencia difusa (FIS), la métrica de error podría mejorarse.
<b>Trabajos futuros</b>	Este modelo serviría como un verdadero marco o herramienta para los oficiales de extensión, los avicultores, los administradores de mercado y el personal agrícola involucrado en la formulación de políticas con respecto a los productos avícolas, una mejor producción de huevos. Esto servirá como un rico recurso para determinar los mercados futuros en la agricultura y las formas de optimizar la producción, ya sea a través de instalaciones de salud adecuadas, alimentos mejorados y varios otros medios. Los autores reconocen que se requieren más mejoras para determinar la efectividad del modelo propuesto con factores más esenciales que afectan la producción de huevos a gran escala con parámetros no correlacionados.

- R. González Perea, M.A. Moreno, J.F. Ortega, A. del Castillo, R. Ballesteros, Dynamic Simulation Tool of fertigation in drip irrigation subunits, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 173, 2020, 105434, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105434>, Disponible en : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169920301629>.

<b>Objetivo</b>	El objetivo de este estudio fue desarrollar un sistema de apoyo a la decisión (DSS) para facilitar el proceso de toma de decisiones de los agricultores y optimizar el diseño y la gestión de la programación de fertirrigación de la finca.
<b>Métodos</b>	Implementado en MATLAB®, FERTI-DRIP, fue probado en una subunidad de riego regular y en una subunidad de riego irregular de una asociación de usuarios de agua real. Ambas subunidades de riego se probaron con dos tipos de emisores de riego: emisores con compensación de presión y emisores sin compensación de presión
<b>Resultado principal</b>	FERTI-DRIP permite a los usuarios calcular los parámetros de calidad del fertilizante para determinar cómo implementar la fertirrigación. FERTI-DRIP también permite a los usuarios seleccionar con precisión los procesos de pre-fertirrigación y post-fertirrigación para optimizar la estabilidad hidráulica al comienzo del evento de fertirrigación y asegurar que no quede fertilizante en el sistema de riego después del evento de fertirrigación.
<b>Trabajos futuros</b>	La herramienta FERTI-DRIP puede ayudar a determinar el momento de los eventos de riego y fertirrigación y optimizar la inyección de fertilizante, el tiempo de estabilización y la fase de limpieza, especialmente para eventos de riego cortos. Por lo tanto, puede ayudar a evitar problemas de llenado y limpieza de los laterales de riego y garantizar la sostenibilidad del proceso de riego optimizando el uso de fertilizantes.

Con lo anterior, se concluye que las tendencias en la tecnología son cambiantes en el tiempo y permite identificar, por ejemplo, tópicos relevantes como: los robots agrícolas, que permiten optimizar las labores cotidianas en el campo y así obtener mayor rentabilidad; los sensores remotos como herramientas para la recolección de datos e imágenes relacionadas con los cultivos y de esta manera apoyar la toma de decisiones y la aplicación de inteligencia artificial para el aprendizaje automatizado en sistemas agrícolas y pecuarios, finalmente se identifica la creación de softwares de código abierto que puede ser modificado y aplicado de acuerdo con las necesidades de las distintas comunidades agrícolas y pecuarias.

Se identificaron los países que están trabajando en tópicos relacionados con la Agroindustria 4.0 entre los cuales se destacan Estados Unidos y China, los cuales se relacionan con América Latina representados principalmente por Brasil, sin embargo, no se logra evidenciar alguna tendencia de investigación para el trabajo en conjunto con los demás países de la región. Aun cuando, se proyecta la inmersión de estas tecnologías en estos países de acuerdo con las necesidades actuales y su interés en adoptarlas.

Por último, la producción científica durante el 2020 se ha incrementado sustancialmente, de acuerdo con las publicaciones identificadas en las bases de datos bibliográficas Scopus y Web of Science lo que indica que a pesar de las restricciones impuestas por la pandemia no afectaron el desarrollo de la difusión de la ciencia en estas temáticas y se evidencia del 2019 a 2020 un aumento de más de un 100% en la producción intelectual relacionada con este tema en Scopus y un 70% en Web of Science.

### **SECCIÓN III: ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA ENFOCADA A COLOMBIA 2017-2020**

Teniendo en cuenta el capítulo anterior, en el cual se refleja las dinámicas de la producción científica relacionada con Agroindustria 4.0 al nivel internacional, es necesario revisar el contexto nacional, Colombia es un país en vía de desarrollo por esta razón, el MinTIC en el documento Plan TIC-2018-2022, hace referencia a las TIC (tecnología de información y comunicación) como habilitadoras del desarrollo económico y social dentro del país cuando son usadas como insumo en el proceso productivo de otros sectores al aumentar la eficiencia e intensidad con que se utilizan tanto el capital como el trabajo (el Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicación, 2019), en tal sentido, este estudio aborda las tecnologías relacionadas con el sector agropecuario en Colombia para el periodo de tiempo de 2017 a 2020 incluyendo tecnologías como: animal data, espacios de mercado y agricultura como servicio, estas temáticas se escogieron gracias a la revisión del informe “Oportunidades y tendencias tecnológicas para los negocios del futuro, 2020” del panorama sobre Agrotecnología y de que forma el sector agropecuario y las empresas relacionadas están asociando tecnologías que contribuyan a su competitividad.

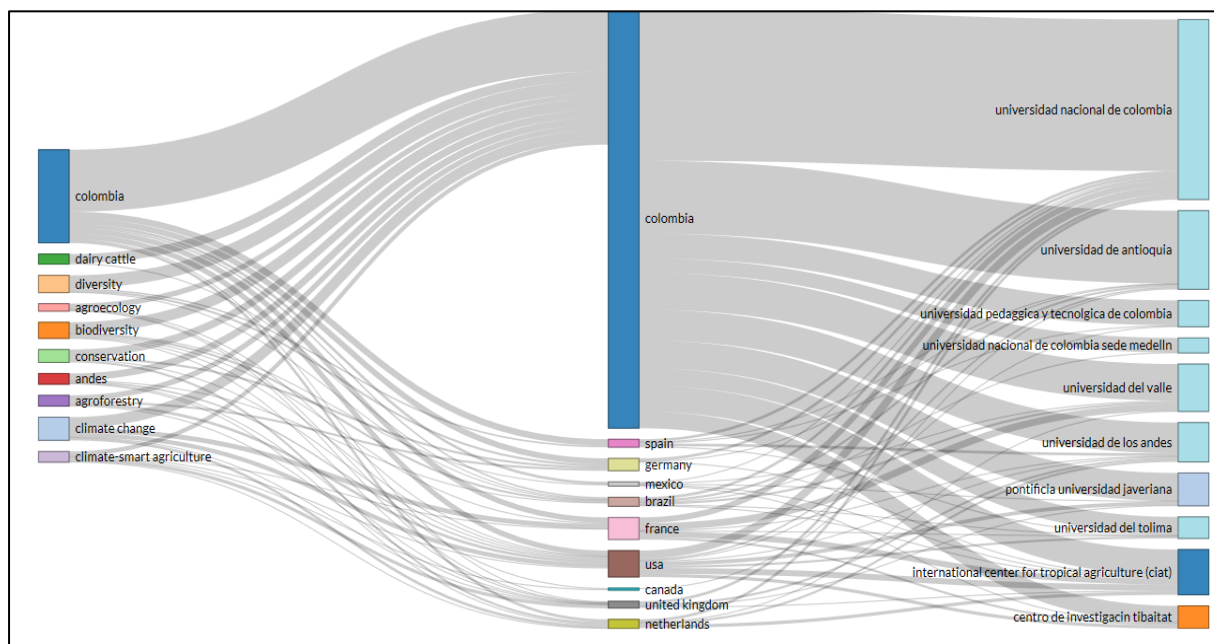
Según las dos secciones anteriores, en las que se representa el contexto internacional relacionado a la producción científica correspondiente a las de temáticas enfocadas a la Agroindustria 4.0, hay que mencionar este aspecto en el contexto nacional. A continuación, se presenta el análisis:

La ecuación implementada tiene como resultado un corpus de publicaciones científicas y académicas afines a las temáticas identificadas y enfocadas al tema de estudio. Se obtuvieron 458 registros en Scopus y se descargaron al formato. bit y 120 registros en WoS. Ambas bases de datos comparten documentos en común se compiló, depuró y eliminó registros duplicados, lo que permite establecer 578 registros en la temática.

Para poder implementar la vigilancia tecnológica es necesario definir una estrategia de búsqueda a través de una ecuación estructural. Dicha ecuación se presenta a continuación:

```
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"
OR "animal data" OR "market places" OR "Farming as a Service" OR "Colombia" ) ) AND (
LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Colombia" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "AGRI" ) )
AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2020 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2019 ) OR LIMIT-TO (
PUBYEAR , 2018 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2017 ) )
```

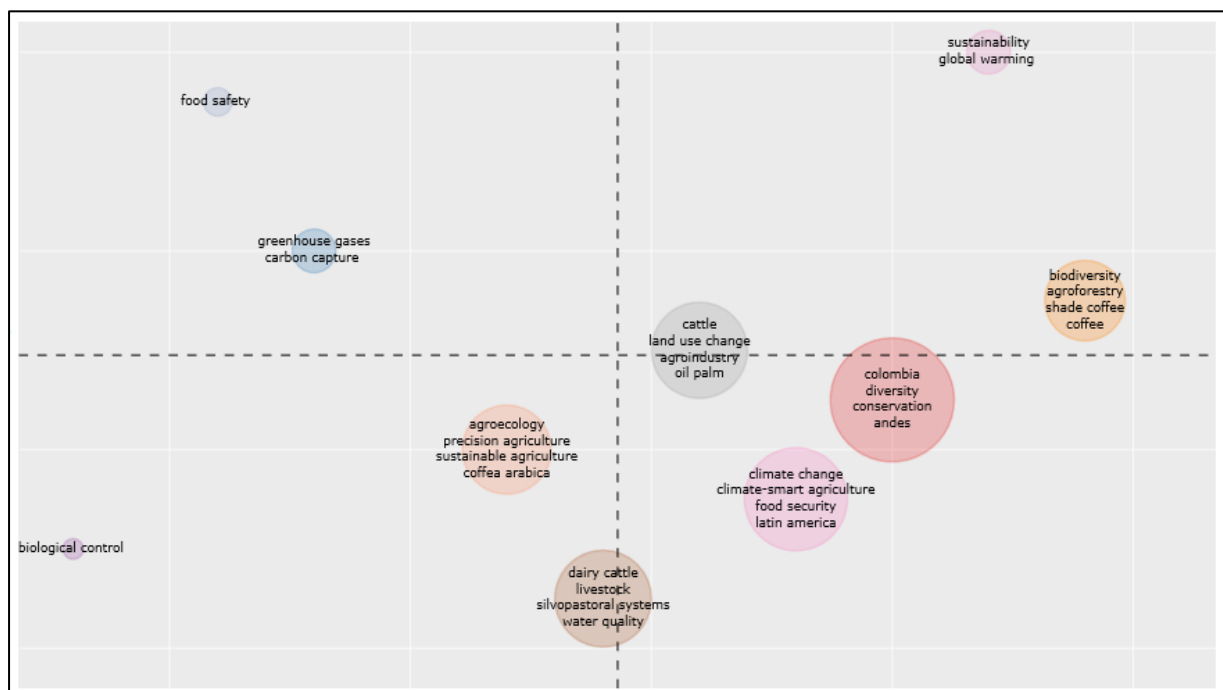
**Figura 20. Gráfico de Sankey de Colombia**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®, Fecha de consulta octubre de 2020 Software de análisis Bibliometrix®.

En la figura 20, se identifica el trabajo realizado por organizaciones a nivel nacional, las temáticas principales son las relacionadas con vacas lecheras, diversidad, conservación, agroforestería, cambio climático y agricultura inteligente, de igual forma se puede identificar que estas temáticas se han abordado nivel nacional por: Universidad Nacional de Colombia, Universidad Antioquia, la Universidad del Valle, la Universidad Javeriana y Universidad del Tolima y por centros de investigación como el CIAT y AGROSAVIA. En cuanto a América Latina se destaca la participación de Brasil y México, finalmente a nivel mundial se evidencia la participación de Estados Unidos, Canadá, España, Francia, Alemania, Reino Unido y Países Bajos.

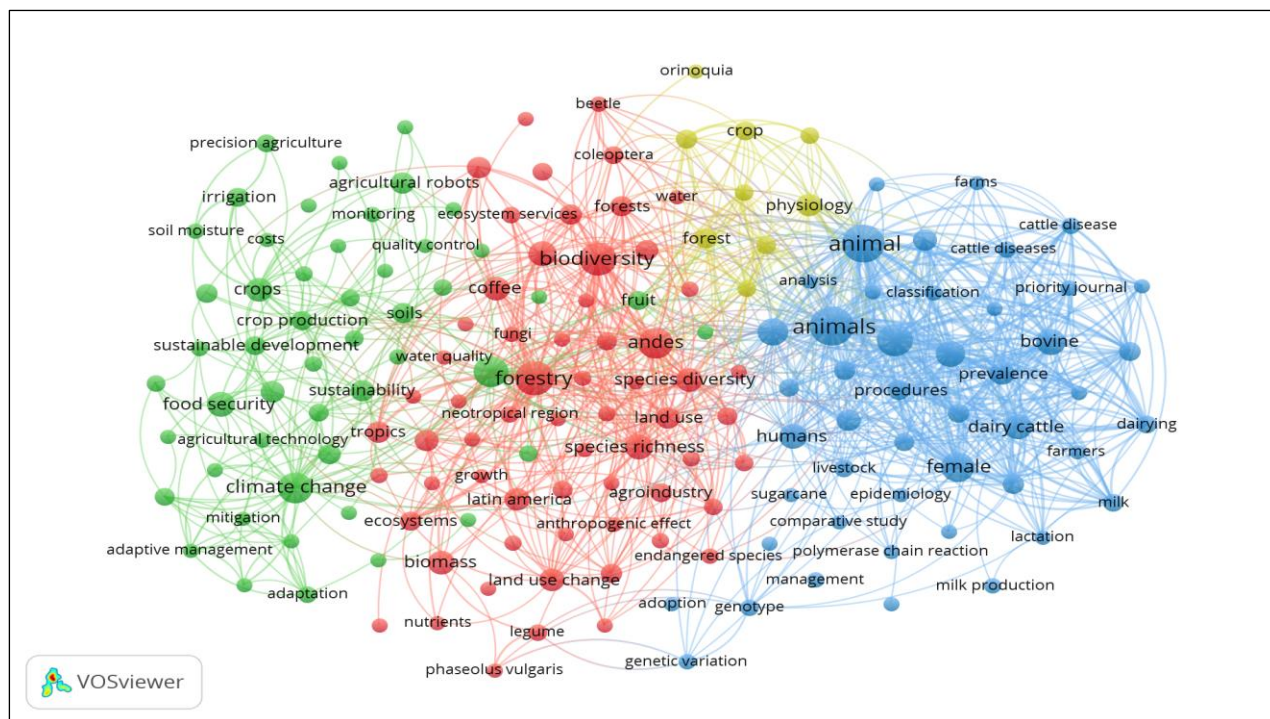
**Figura 21. Mapa temático Colombia 2017-2020**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®. Fecha de consulta octubre de 2020. Software de análisis Bibliometrix®.

- **Cuadrante superior derecho – tema motor:** Se identificaron temáticas relacionadas con calentamiento global, sostenibilidad, biodiversidad, agroforestería y café.
- **Cuadrante inferior derecho – temas básicos y transversales:** En el gráfico se puede evidenciar un movimiento de las temáticas motor hacia este cuadrante como lo son el uso del suelo, la palma de aceite, ganadería, diversidad y conservación, otras temáticas como lo son cambio climático, agricultura inteligente y seguridad alimentaria se ubican en el interior del cuadrante.
- **Cuadrante inferior izquierdo – temas emergentes y decadentes:** En este cuadrante se puede identificar los temas de ganado, ganadería de leche, sistemas silvopastoriles y calidad del agua en un tránsito del cuadrante derecho, también se identifican temas como agricultura de precisión, agricultura sostenible y control biológico.
- **Cuadrante superior izquierdo – temas altamente desarrollados pero aislados:** En este cuadrante se identifican temáticas relacionadas con captura del carbono, seguridad alimentaria y efecto invernadero.

**Figura 22. Redes de ocurrencia de tópicos aplicados en Agroindustria 4.0 – textos clave en Colombia 2017-2020**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®, Fecha de consulta septiembre de 2020 Software de análisis Bibliometrix®.

Esta red de palabras clave permite identificar los tópicos sobre los que se está investigando relacionados con Agroindustria 4.0 en Colombia durante 2017-2020, los términos identificados por medio de la herramienta VOSviewer se agruparon en los siguientes 4 clústeres:

**Clúster rojo relacionado con forestales y biodiversidad:** En este clúster se abordan temáticas relacionadas con ecosistemas y agroforestería que están relacionados con otros términos identificados como cambio climático y uso del suelo, también se detallan términos relacionados con sistemas de monitoreo.

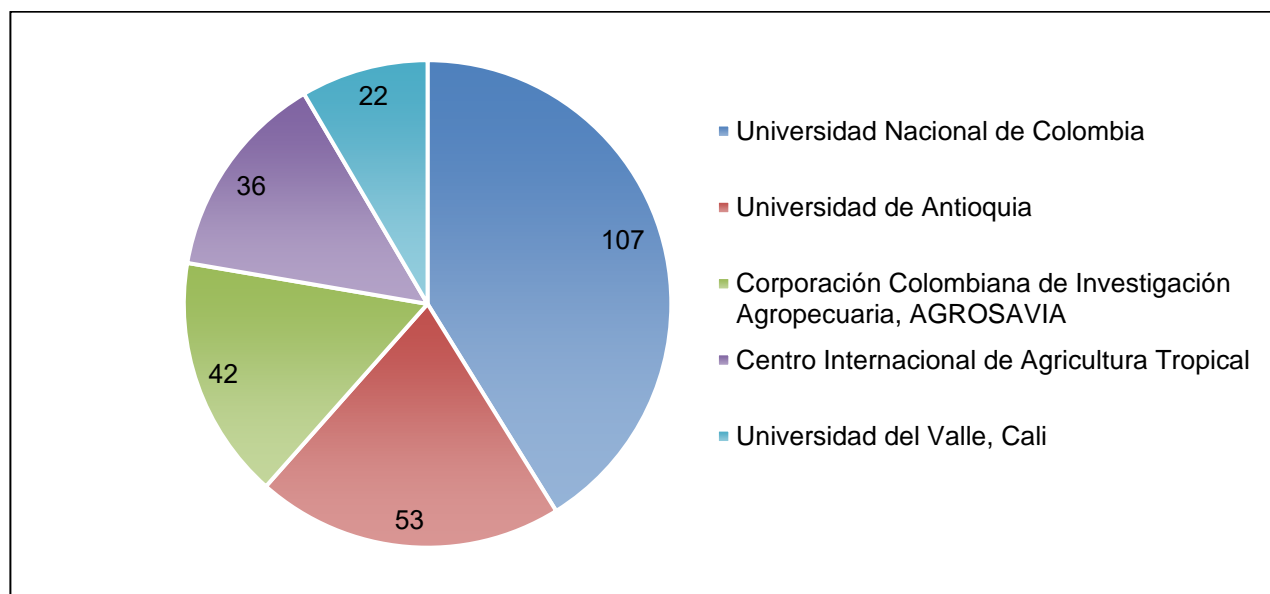
**Clúster verde relacionado con los robots en la agricultura:** En este clúster se evidencia la fuerte influencia de las temáticas relacionadas con la implementación de robots en las tareas agrícolas para automatizar las prácticas agrícolas, dentro del mismo clúster verde se abordan temáticas relacionadas con cultivos, producción agrícola y desarrollo sostenible.

**Clúster amarillo relacionado con sistemas forestales:** En este clúster se identifican temas relacionados ecosistemas, conservación de recursos naturales, esta temática presenta una fuerte relación con el demás clúster identificados.

**Clúster azul y aguamarina relacionado con sistemas pecuarios:** En este clúster se identifican temáticas relacionadas con variación genética, enfermedades de los animales, bovinos y vacas lecheras.

Con respecto a los clústeres, aún no destaca la inmersión de tecnologías en el sector agropecuario a nivel nacional, excepto el clúster verde, que hace referencia a la inclusión de robots agrícolas, y se identificó en el análisis internacional en esta temática.

**Figura 23. Número de publicaciones según Entidades más relevantes**

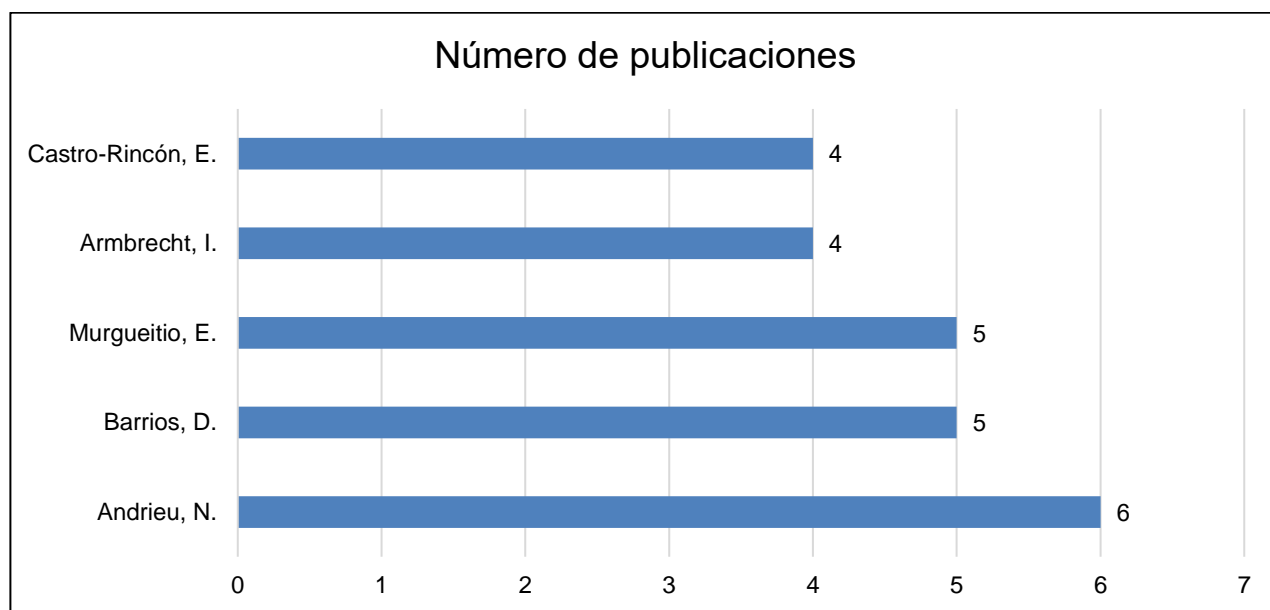


Fuente. Elaboración propia a partir de información recuperada de Scopus®. Fecha de consulta septiembre de 2020.

En la figura 23, se identifican las entidades que más desarrollaron investigaciones en tópicos relacionadas con la Agroindustria 4.0 al nivel nacional desde el 2017 al 2020, en primer lugar la Universidad Nacional de Colombia (107 publicaciones), con temas relacionados en agricultura, biodiversidad y forestales, en segundo lugar se encuentra la Universidad de Antioquia (53 publicaciones), con temas relacionados con: conectividad genética, desarrollo rural y análisis sensorial, seguida por la Corporación Colombiana de

Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA con (42 publicaciones), estas se especializan en robots agrícolas, sistemas para la toma de decisiones, variación genética y sistemas productivos, posteriormente se posiciona el Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT (36 publicaciones), donde se destacan los tópicos robots agrícolas, sistemas para la toma de decisiones y variación genética y en último lugar se encuentra la Universidad del Valle (22 publicaciones), relacionadas con ecosistemas y biodiversidad.

**Figura 24. Documentos por autor (Scopus)**



Fuente. Elaboración propia a partir de información disponible en Scopus®,  
 Fecha de consulta septiembre de 2020

En la figura 24 se representa los 5 principales autores que han escrito más sobre los tópicos destacados a nivel nacional donde **Andrieu, N.** con 6 publicaciones, trabaja con el CIAT Bulgakov, V. en sus investigaciones trabaja temas relacionados: desarrollo agrícola, tecnología agrícola y sistemas productivos; **Barrios, D.** con 5 publicaciones, investigador de la Universidad de Antioquia, sus publicaciones están relacionadas con temas: sistemas de riego y uso del agua; seguido por **Murgueitio, E.** con 5 publicaciones, investigador del Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, sus trabajos están relacionados biodiversidad, sistemas silvopastoriles y ganado; **Armbrecht, I.** con 4 publicaciones, trabaja en la Universidad del Valle sus investigaciones están relacionadas con los tópicos uso del suelo, agroecología y conservación de los bosques y

por último **Castro-Rincón, E.** con 4 publicaciones, es investigador de AGROSAVIA, sus publicaciones están relacionadas con rendimiento animal, producción de leche y vacas lecheras.

Como se mencionó anteriormente, las tecnologías 4.0 no son predominantes en la producción científica nacional, ya que estas publicaciones están más enfocadas a sistemas productivos, biodiversidad, ecosistemas y sistemas pecuarios.

### **Capacidades Nacionales para la Industria 4.0 y la Agricultura 4.0**

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 el desarrollo del primer centro regional para la cuarta revolución industrial en la ciudad de Medellín, en el cual se desarrollarán actividades de cocreación, testeo y refinación de protocolos, marcos regulatorios y políticas que permitan **maximizar los beneficios y reducir los riesgos de las tecnologías de la agroindustria 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, 2019):

- 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, concedores de Colombia y especializados en investigación aplicada de tecnologías convergentes e industria 4.0 en los sectores del agro y de la bioeconomía.

Este marco de referencia de proyecciones y perspectivas de la agroindustria 4.0 y su interacción con sectores productivos como el agropecuario, implica conocer las capacidades actuales para afrontar la 4IR.

- **Grupos de investigación:** Se encuentran registrados en la plataforma Scienti en su módulo de grupos de investigación reconocidos ante el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación 148 grupos de investigación en los programas de Programa Nacional en Tecnologías de la Información y la Comunicación -TIC y Programa Nacional en Ingeniería. De estos grupos de investigación 18 cuentan con proyectos y productos específicos en TI y TIC para el sector agropecuario en áreas como agricultura de precisión y robótica. Complementariamente, la misión de sabios abarca unos focos temáticos relevantes para trazar la ruta en el avance de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación como motores del desarrollo y la competitividad del país, estos focos para el sector agropecuario son: Tecnologías convergentes (nano, info y cognotecnología) Industrias 4.0, y Biotecnología, medio ambiente y bioeconomía lo

que conlleva a la inmersión de tecnologías en los procesos productivos del sector Agropecuario y repercutirá en su desarrollo, como también la misión de sabios en sus ejercicios de construcción evidencia que los 148 grupos (13% del total de grupos de investigación en Colombia), abarcan un total de 1153 investigadores Sin embargo, un análisis posterior realizado con base en las líneas temáticas de los grupos muestra que otros 120 grupos asignados a áreas de las ciencias básicas, la biotecnología o la salud, están directamente relacionados con tecnologías convergentes o agroindustria 4.0.

- **Empresas de TIC:** el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones registra junto con FedeSoft a 2019, 1525 empresas para el sector de TI, las cuales desarrollan productos específicos. 192 se enfocan en Desarrollo de software, 119 en computación en la nube, 60 en gestión de datos y 41 en gestión de conocimiento.
- **Proyectos de CTI financiados por el sistema general de regalías:** se registran en la ventana temporal de 2012-2019 21 proyectos relacionados con TIC, TI y tecnologías convergentes. Se destacan los proyectos: Fortalecimiento del Centro de Desarrollo Tecnológico para la Transformación Digital y la Industria 4.0, en el Marco del Ecosistema de Innovación Digital del Valle del Cauca, y Diseño y validación de modelos de analítica predictiva de fenómenos de seguridad y convivencia para la toma de decisiones en Bogotá.
- **Formación de capacidades:** el Ministerio de Educación Nacional ha definido en el Marco Nacional de Cualificaciones los perfiles para el sector TIC, necesarios para el diseño de programas de formación a todo nivel. Se destacan en el marco de la Industria 4.0 los perfiles:
  - *Animación 2D y 3D:* Desarrollar representaciones gráficas 2D, modelos, animaciones, espacios y efectos 3D para producciones audiovisuales e interactivas a partir de los parámetros indicados por el productor y/o director artístico.
  - *Gestión de computación en la nube:* Diseñar, construir e implementar soluciones de computación en la nube que estén alineadas con las necesidades del negocio, así como gestionar los contratos de servicio que soportan la solución.

- *Análisis de minería de datos y visualización*: Crear, modelar y manejar representaciones gráficas de datos fundamentando el proceso de interpretación, aplicación y uso de información con técnicas y herramientas a visualizar.
- *Desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles*: Construir soluciones de software que involucren tecnologías para dispositivos móviles, bajo diferentes plataformas y la identificación, implementación, instalación y desarrollo de software enfocado a los dispositivos móviles.
- *Diseño de software*: Producir un modelo o representación de una entidad a partir del establecimiento de datos, estructura del programa y los detalles procedimentales. Diseñar componentes de software y orientar la adquisición de los componentes de software y hardware necesarios para la implementación de la solución en la entidad, documentando la fase de diseño y garantizando el cumplimiento de los estándares previstos en el proyecto.
- *Implementación de sistemas de información geográfica*: Gestionar sistemas de información geográfica, cumpliendo las normas y estándares internacionales para estructurar, crear, publicar y operar información espacial, vectorial y raster, utilizando técnicas y herramientas tecnológicas hardware/software.
- *Análisis de datos masivos (Big data)*: Integrar grandes volúmenes de información usando mejores prácticas y marcos de trabajo (framework) de datos masivos en componentes de recolección, clasificación, análisis e infraestructura asociada, como apoyo tecnológico estratégico en la toma de decisiones en las organizaciones. Minería de datos, Seguridad informática, Bodegas de datos, Servicios de tecnología, Infraestructura de TI., Operadores de redes de tecnología, Computación en la Nube.
- *Desarrollo de sistemas y soluciones para internet de las cosas (IoT)*: Desarrollar sistemas y soluciones de Internet de las cosas (IoT) según las necesidades de los sectores productivos, los estándares de calidad del sector y la caracterización del entorno en lo social, político, económico, tecnológico y medio ambiental. Creación de dispositivos, redes de telecomunicaciones, servicios telemáticos y planes de negocio para sistema IoT. Gestión de servicios para sistemas IoT.

## Casos de éxito en Colombia

• Plataformas que apoya a pequeños y medianos productores, así como garantizar el abastecimiento de alimentos de los hogares colombianos en el marco de la emergencia sanitaria declarada por efecto del COVID 19, a través de la búsqueda de mercados más seguros y rentables en canales de

El campo en un clic



• Se desarrolló y probó una tecnología novedosa GeoFarmer la cual proporciona flujos de datos bidireccionales casi en tiempo real que admiten procesos de co-innovación en proyectos de desarrollo agrícola.

GeoFarmer



• Una herramienta digital que, de la mano de las secretarías de agricultura departamental, ofrecerá información a la Mesa Nacional de Abastecimiento. Con la información suministrada por los departamentos se nutre un tablero de control del comportamiento del abastecimiento de la

Tablero en línea



• El sistema de información de alimentos del trópico para alimentación animal (AlimenTro) es un sistema abierto sobre recursos alimenticios utilizados en alimentación animal en Colombia que suministra información de su naturaleza, ocurrencia, composición química y valor nutricional.

Alimentro



• Sistema de apoyo a la toma de decisión agroclimáticamente inteligente, que contribuye con conocimiento experto, al aumento de la capacidad local de tomar decisiones encaminadas a mejorar la adaptación de los sistemas de cultivo al cambio climático y la variabilidad climática de Colombia..

GeoFarmer



Fuente. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural (2020) y AGROSAVIA (2020).

Con lo anterior se puede concluir:

- En el marco de las megatendencias a nivel internacional se identificaron principalmente temas motor-relacionados con las siguientes temáticas: cadena de bloques, Internet de las cosas, analítica de drones, Big Data, robots agrícolas y sensores remotos inalámbricos; en cuanto al desarrollo de megatendencias relacionadas con las Agroindustria 4.0, en la bibliografía científica consultada no se observa de forma marcada los trabajos desarrollados en Colombia, en relación con esta, si bien se pudieron identificar algunos núcleos de información relacionada como lo son: biodiversidad, robots en la agricultura, sistemas forestales y sistemas pecuarios, se esperaría que estas temáticas mostraran una fuerte afinidad con las TIC, en este sentido, en un estudio futuro se podría empezar a revisar estos tópicos

generales con más profundidad y determinar si la causa es el bajo desarrollo a nivel nacional de la Agroindustria 4.0 o la falta de divulgación científica de los desarrollos tecnológicos incorporados a nivel nacional en el sector.

- A un mediano plazo se podría ampliar la investigación teniendo en cuenta las necesidades del sector agropecuario en Colombia, con el objetivo de identificar tendencias enfocadas a desarrollos tecnológicos de la región y a nivel mundial; de forma que se puedan abordar algunas demandas del sector como lo son: baja producción agrícola, análisis de suelos, manejo y control de plagas y enfermedades, generación de alertas tempranas, gestión del riesgo agroclimático, aseguramiento del mercado de la producción agropecuaria, extensión digital y gestión de bases de datos para la toma de decisiones. Para orientar el trabajo en Colombia referente a la inmersión en la Agroindustria 4.0.
- Considerando que los procesos de publicación de las editoriales pueden tardar alrededor de un año en estudios científicos desarrollados, es importante tener presente que este estudio no considera las publicaciones en desarrollo en 2020, ya que pueden publicarse terminando este año y en el transcurso del 2021, pero que aún no se han publicado.
- De acuerdo con contexto nacional la robótica en la agricultura es una tecnología que se está adoptando en las prácticas agrícolas en Colombia. Esta es la puerta para seguir identificando y adoptando tecnologías como lo son: Inteligencia artificial, machine learning, blockchain, robótica, drones, Big Data que contribuyan al desarrollo del campo nacional, con el fin de ser competitivos en América Latina.
- Es necesario definir propuestas estratégicas para robustecer el desarrollo de la Agroindustria 4.0 en el país, como, por ejemplo, el fortalecimiento de capacidades, desarrollo de proyectos piloto, el impulso a la innovación, apropiación de nuevas tecnologías, consumo sostenible y tecnología e innovación. Dado que este es un insumo de actualización del PECTIA debe considerar propuestas concretas para ser validadas con actores clave que permitan definir derroteros a desarrollar en esta materia.

## Referencias

Ankur Seth and Kavery Ganguly, “Digital Technologies Transforming Indian Agriculture”, Chapter 5: Digital Technologies Transforming Indian Agriculture, (2017), pp. 105-111.

De Clercq, M., Vats, A., & Biel, A. (2018). Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology. Proceedings of the World Government Summit, Dubai, UAE, 11-13.

Corallo, A., Latino, M. E., & 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. International Journal of Nutrition and Food Engineering, 12(5), 146-150.

Foro económico Mundial, WEF (2019). Inteligencia Estratégica. <https://intelligence.weforum.org/> Fecha de consulta septiembre de 2019.

IICA. Innovaciones tecnológicas agrícolas: oportunidades para enfrentar la crisis por el COVID-19 en América Latina. <https://blog.iica.int/blog/innovaciones-tecnologicas-agricolas-oportunidades-para-enfrentar-crisis-por-covid-19-en>. Fecha de consulta octubre de 2020.

International Society of Precision Agriculture. Agricultura de precisión. <http://www.grap.udl.cat/es/presentacion/ap.html>. Fecha de consulta octubre de 2020.

Jehoon Sung, “The Fourth Industrial Revolution and Precision Agriculture”, Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations, (2018), pp. 1-15.

Luque, A., Estela Peralta M., De Las Heras, A. & Córdoba, A. “State of the Industry 4.0 in the Andalusian Food Sector”, Manufacturing Engineering Society International Conference, (2017), pp. 1199-1205.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; (2019), Plan TIC 2018 – 2022 El Futuro Digital es de Todos, disponible: [https://micrositios.mintic.gov.co/plan\\_tic\\_2018\\_2022/pdf/plan\\_tic\\_2018\\_2022\\_20200107.pdf](https://micrositios.mintic.gov.co/plan_tic_2018_2022/pdf/plan_tic_2018_2022_20200107.pdf)

Misión Internacional de Sabios. (2019). Colombia hacia una sociedad del conocimiento. Disponible en: [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro\\_mision\\_de\\_sabios\\_digital\\_1\\_2\\_0.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro_mision_de_sabios_digital_1_2_0.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2019), Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales -documento de orientación-. FAO.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. PECTIA: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario colombiano (2017-2027), Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12759>

Rosales Tapia, Ana Rosa & Quintero Pérez, José Antonio. Modelo de dependencia espacial aplicado al análisis de la distribución del consumo de alcohol en el campus CU, UNAM. Investigaciones geográficas. (2013). No. 82.

Tejas G. Patil, Sanjay P. Shekhawat (2019) Industry 4.0 implications on Agriculture Sector: An Overview. International Journal of Management, Technology and Engineering. 9, 1. Pp. 1512-1524

Urbano-Molano, Fernando Aparicio (2013). Redes de sensores inalámbricos aplicadas a optimización en agricultura de precisión para cultivos de café en Colombia. Journal de Ciencia e Ingeniería, 5 (1) 46-52



**AGROSAVIA**

Corporación colombiana de investigación agropecuaria