



Lámpsakos

ISSN: 2145-4086

Universidad Católica Luis Amigó

Tovar Soto, Jhonatan Paolo; Solórzano Suárez, José de los Santos;
Badillo Rodríguez, Andrés; Rodríguez Cainaba, Genner Oswaldo
Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual
Lámpsakos, núm. 22, 2019, Julio-Diciembre, pp. 86-105
Universidad Católica Luis Amigó

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613964509009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual

Internet of things applied to agriculture: actual state

Jhonatan Paolo Tovar Soto*
José de los Santos Solórzano Suárez**
Andrés Badillo Rodríguez***
Genner Oswaldo Rodríguez Cainaba****

(Recibido el 06-03-2019. Aprobado el 27-06-2019)

Estilo de citación de artículo:

J. P. Tovar Soto, J. de los S. Solórzano Suárez, A. Badillo Rodríguez, y G. O. Rodríguez Cainaba, "Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual", *Lámpsakos*, (22), pp. 86-105 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.3253

Resumen

Este artículo presenta una revisión actualizada de las diferentes aplicaciones de tecnologías enmarcadas en el internet de las cosas (IoT) en agricultura, mediante la recopilación de diversos documentos en las áreas de interés, y por medio de criterios de selección puntualizados, respondiendo preguntas específicas de investigación. La información recolectada se dividió en dos factores relevantes: en primer lugar, se identificaron las tecnologías de IoT aplicadas en agricultura divididas en capa de percepción y capa de red; por otra parte, se hizo énfasis en la búsqueda de desarrollos aplicados en América Latina, con especial cuidado en Colombia, para establecer la influencia de este tipo de tecnologías en la región. Finalmente, este trabajo pretende dar un panorama para futuras investigaciones, estableciendo los dispositivos y las tecnologías de IoT más recurrentes aplicadas en agricultura.

Palabras clave: Aplicaciones agrícolas; Monitoreo de cultivos; Invernaderos; Herramientas de hardware; Internet de las cosas (IoT); Sistemas de sensores; Redes de sensores; Herramientas de software; TIC; Comunicación inalámbrica.

* MSc en Automatización Industrial, docente Universidad de San Buenaventura y Fundación de Educación Superior San José, Bogotá-Colombia. Contacto: jtovar@usbog.edu.co

** Ingeniero de Sistemas, docente Fundación de Educación Superior San José, Bogotá-Colombia. Contacto: seintec@usanjose.edu.co

*** MSc en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, docente Universidad de San Buenaventura, Bogotá-Colombia. Contacto: abadillo@usbog.edu.co

**** Especialista en Seguridad de Redes, docente Fundación de Educación Superior San José, Bogotá-Colombia. Contacto: grodriguez@usanjose.edu.co

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

Abstract

This article presents an updated review of the different applications of technologies framed in the Internet of Things (Iot) in agriculture, by compiling various documents in the areas of interest, and by means of targeted selection criteria, by answering specific research questions. The information collected was divided into two relevant factors: first, the Iot technologies applied in agriculture were identified divided into a layer of perception and a layer of network; on the other hand, emphasis was placed on the search for applied developments in Latin America, with special care in Colombia, to establish the influence of this type of technologies on the region.

Finally, this work aims to give a panorama for future research, establishing the most recurrent Iot devices and technologies applied in agriculture.

Keywords: Agriculture applications; Crop monitoring; Greenhouses; Hardware tools; Internet of Things (IoT); Sensor systems; Sensor networking; Software tools; TIC; Wireless communication.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se evidencia un fuerte crecimiento de la automatización de las labores agrícolas atendiendo a la evolución tecnológica y a la expansión poblacional del planeta. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura):

La mecanización agrícola puede aumentar la productividad tanto de la tierra como de la mano de obra, incluso en las explotaciones agrícolas en pequeña escala (...) Las tecnologías de la información y la comunicación modernas ofrecen a los agricultores múltiples opciones para comprar insumos, vender productos y mejorar su acceso a la información [1].

Esta modernización del campo, y de las tareas que allí se realizan, ha permitido aseverar que el sector agroindustrial es uno de los candidatos más fuertes para la aplicación de IoT en la próxima década [2]. En esencia, las soluciones IoT se visualizan como el paso a seguir para la modernización debido a la demanda que afronta el campo y el sector agricultor [3]. Según algunos estudios, se espera que la clave para aumentar la producción agrícola sea la aplicación de tecnologías IoT que lograrían incrementar en un 70% la producción global de comida, lo que generaría un impacto positivo para el año 2050, en el que se estima una población de 9.5 billones de personas [4].

Por lo anterior, pensar en el desarrollo de sistemas inteligentes, modernos y con plataformas multimedia para el acceso de diferentes actores del sector agrícola [5], indudablemente lleva a plantearse un diseño que posea atributos tales como modularidad, flexibilidad, integrabilidad, programabilidad, configurabilidad, escalabilidad e interoperabilidad [6].

A partir de lo anterior, se estima que para el año 2020 existirán conectados 50.000 millones de objetos inteligentes [7], los que se intercomunican en redes, mediante el internet de las cosas y a través de los datos en la nube [8]. La implementación de este tipo de interconexiones, basadas en las TIC, permite recolectar, analizar y distribuir información [9], lo que conlleva a obtener información detallada de una situación en particular.

Por otra parte, en América el avance en el uso de los datos masivos en la agricultura ha sido localizado y diferenciado por país. En Estados Unidos, por ejemplo, dicho avance ha sido más rápido, ya que algunas empresas (como Monsanto, DuPont, John Deere y otras), el Gobierno y la academia invierten recursos en el aprovechamiento de los datos que el sector genera y en el desarrollo de herramientas y soluciones para el campo [10].

Respecto a América Latina y el Caribe se tiene una evolución lenta que obedece a la baja implementación tecnológica. Lo anterior se evidencia con las cifras que se tienen desde la década de los 90, en las que se muestra aproximadamente 8.3% de participación en exportaciones agroalimentarias en el mundo, mientras que en el año 2015 esta cifra se elevó tan solo al 13.8% según la FAO [10].

Este incremento se debe al aumento poblacional que tiene el planeta, y obedece en gran medida a la evolución tecnológica de la industria 4.0, o también reconocida como la cuarta revolución industrial. Este nuevo impacto, que se refiere a la migración tecnológica y a las nuevas tendencias, ofrece un conjunto de aplicaciones que integran tecnologías IoT, computación en la nube, sistemas embebidos, sensores inalámbricos, inteligencia artificial y sistemas de monitoreo y predicción [11].

De lo anterior surge un interrogante que obedece a la tendencia mundial de la industria 4.0: ¿Cuáles tecnologías son las más adecuadas y apropiadas para desarrollar proyectos en el sector agrícola? Debido a esto, es importante identificar el estado actual de las aplicaciones agrícolas y sus tecnologías, y establecer cuáles apuntan a los desarrollos y desafíos del nuevo siglo. Para ello, el presente artículo verifica por medio de diferentes bases de datos y motores de búsqueda asociados a publicaciones categorizadas e indizadas, diversos artículos, tesis, revisiones, estados del arte, conferencias, reportes y libros, con el ánimo de presentar al lector una revisión estructurada de las herramientas utilizadas y hacer mención de algunos proyectos de aplicación reciente en el sector agrícola. Por último, se

destaca la importancia de la aplicación de nuevos instrumentos, planteando un panorama futuro desde una postura crítica de la adaptación de los nuevos insumos tecnológicos aplicados al sector agricultor.

2. METODOLOGÍA

Como parte del proceso de recolección de información, se estableció que la revisión bibliográfica se hiciera en tres fases: (i) la investigación documental, (ii) la lectura y registro, (iii) producción del texto final [12].

La primera fase correspondió al levantamiento de información en diferentes bases de datos y motores de búsqueda; de manera pertinente se realizó la recopilación adecuada de datos e información [13], asociando documentos, unidades documentales, fuentes documentales y fichas de investigación [13] que permitieron indagar sobre el estado actual de las tecnologías en agricultura, con el fin de realizar la estadística necesaria para el estudio y análisis.

En la segunda fase se identificaron las temáticas y subtemáticas de los documentos elegidos, seguido de una elaboración de tablas y gráficos que permitieron deducir fundamentos de análisis de las tecnologías en agricultura, así como resaltar cuáles son los avances más recientes en el campo de actuación.

En la fase final se realizó la escritura de los diferentes apartados que componen el presente artículo de revisión.

Selección de términos de búsqueda

Para elaborar la búsqueda de la documentación e información, se estableció un número limitado de tesauros en las áreas de interés de la presente investigación, los cuales se distribuyeron en los siguientes temas: agricultura, ingeniería electrónica, internet y automatización de procesos.

Con énfasis en las áreas de interés, se consultaron los siguientes tesauros:

- IEEE.
- UNESCO.
- AGROVOC.

Se identificaron las palabras clave de mayor uso en las temáticas referentes mencionadas, de forma que se relacionó la recurrencia de cada una de ellas en cada tesoro.

En el caso de IEEE se identificaron nueve familias de áreas generales: communications technology, control systems, engineering-general, geoscience and remote sensing, industry applications, instrumentation and measurement, sensors, signal processing y social implications of technology. En cada familia se lograron identificar tres niveles jerárquicos, de los cuales se tomaron como relevantes los dos últimos niveles al ser más específicos. Para el tesoro de la UNESCO y AGROVOC, la división general de palabras clave se hizo mediante un concepto que abarca temáticas divididas en términos específicos como nivel jerárquico superior, y un subnivel de conceptos relacionados como última jerarquía de las palabras. Para el buscador de la UNESCO se seleccionaron los siguientes conceptos: agricultura, ingeniería de la industria y de los transportes, tecnología de la información (programas) y tecnología de la información (equipos). Para el tesoro de AGROVOC se escogieron los siguientes conceptos: tecnología, measure, propiedades, sistemas y actividades económicas.

Una vez se determinaron las áreas principales de búsqueda, se encontraron los términos más repetidos para la sistematización de información desde las bases de datos. Los términos clave en inglés fueron: internet, IP networks, wireless, humidity, temperature, monitoring, application, control, measurement, agricultural. Por su parte, los términos clave en español

fueron: agricultura, agrícola, cultivo, sistema, riego, producción, comunicación, TIC, tecnología, siembra, humedad, temperatura y suelo.

Criterios de selección de documentos en bases de datos

Los términos clave encontrados fueron agrupados mediante un algoritmo de búsqueda basado en la configuración que proporcionan las bases de datos. Las bibliotecas digitales por medio de las cuales se realizó la selección de documentos fueron: IEEE Xplore, Springer Link, Springer Books, ScienceDirect, Sensors y SciELO. Por su parte, el único motor de búsqueda utilizado fue Google Scholar.

En la selección de fuentes de información se tuvieron en cuenta las diferentes combinaciones de palabras en inglés y español, y, respetando la sintaxis de cada idioma, se tradujeron los términos más relevantes de español a inglés y viceversa (si es necesario), lo que permitió abarcar un mayor rango de búsqueda. Se tomó como palabra fundamental *agricultura* debido a que, en la totalidad de los tesauros consultados, fue el término que conllevó a unificar las temáticas de la investigación estudiadas en la revisión de este trabajo.

Con lo anterior, se establecieron las palabras que se escribieron como combinaciones en los repositorios mencionados y que se nombran a continuación: agricultura, temperatura, humedad, cultivo, sistema, internet, monitoreo, aplicación, medición, TIC y suelo.

Por lo anterior, la cadena de algoritmo utilizada se basó en la posible combinación de dos o tres palabras, de acuerdo con cada base de datos o motor de búsqueda, lo que permitió obtener una serie de combinaciones sin importar el orden. Esto causó que, agrupando los términos de inglés o español en conjuntos de tres términos, se obtuvieran 165 combinaciones, y agrupándolos en conjuntos de dos términos, 55 combinaciones. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta las posibles combinaciones lógicas (AND, OR), por lo que las bús-

quedas que arrojaron las combinaciones propuestas proporcionaron un total de 265 artículos elegidos bajo los siguientes criterios:

- ¿Responde a publicaciones comprendidas entre el año 2012 y 2018?
- ¿El documento hace parte de una revista, conferencia, publicación y/o libro acorde con las siguientes ramas: ingeniería de sistemas, ingeniería electrónica, ingeniería agrícola, ciencias y computación, agronomía, ingeniería de alimentos, ingeniería de telecomunicaciones, ingeniería de control, ingeniería mecatrónica?

En un segundo momento, la búsqueda documental se hizo de manera restringida, y se apoyó en dos preguntas que proporcionaron criterios de inclusión y rechazo. Las preguntas que se plantearon fueron:

- ¿El documento presenta información relevante sobre tecnologías de aplicación en IoT y/o presenta datos fundamentales sobre aplicación de desarrollos tecnológicos basados en IoT en agricultura?
- ¿El documento presenta el estado del arte, distingue tecnologías IoT, identifica las herramientas de aplicación de nuevas tecnologías y/o evidencia relación con la agricultura y la aplicación de tecnologías novedosas?

De acuerdo con las anteriores preguntas, se seleccionaron 46 documentos una vez realizada la lectura de su título, palabras clave y resumen, lo que permitió inferir la relevancia para el presente estudio [12]. Las Fig. 1, 2 y 3 detallan los resultados de búsqueda, disgregando por criterios selectivos los documentos fundamentales del estado del arte de la investigación, de manera que se encontró la distribución por año de publicación, por área de dominio identificada y por continente de publicación haciendo énfasis en los documentos de la región de América Latina, con especial interés en Colombia.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

La división de los documentos mostrada en la Fig. 2. por área de dominio se estableció teniendo en cuenta las siguientes definiciones para cada área de estudio:

- IoT: consiste en la integración de sensores y dispositivos de sistemas de uso cotidiano, donde intervienen diversos objetos, y que se conectan a través de la Internet, ya sea por redes fijas o inalámbricas [14].
- Agricultura de precisión (monitoreo): enmarca todos los desarrollos y soluciones que permiten el mejoramiento de los cultivos, aplicando técnicas para beneficiar su rendimiento, la optimización del uso de recursos, minimización del impacto ambiental, y la toma de decisiones adecuadas a través del uso de TIC, con el motivo de articular procesos agrícolas más eficientes, confiables, modernos y seguros [15].
- Otros (TIC, redes, predicción): Todo sistema que implemente tecnologías de la información y las comunicaciones, adquiera la connotación de un sistema interconectado, y haga uso de herramientas de software y hardware para toma de decisiones.

3. RESULTADOS DE BÚSQUEDA

La segunda fase de la revisión bibliográfica permitió indagar y establecer el estado actual de las tecnologías aplicadas en agricultura, de modo que se hace especial énfasis en la región de América Latina.

La Tabla 1 resume lo que detectó la búsqueda sistemática por dominio de aplicación (ver Fig. 2), se logró establecer una localización de los documentos por subtemática, lo que permitió el análisis para, posteriormente, describir las tecnologías que se utilizan en IoT en la actualidad, y de manera específica en el sector agricultor. Así mismo, se lograron identificar los proyectos aplicados en diferentes zonas del mundo, haciendo énfasis en la región de América Latina con especial cuidado en las aplicaciones de Colombia.

Tabla 1. Referencias de documentos en cada subtemática elegida

Subtemática	Documentos encontrados
Agricultura	[16], [17], [11], [18], [19], [20], [21], [22], [10], [14], [23], [24], [25], [15], [26], [27], [6], [28], [29], [30], [2], [4], [31].
Internet	[11], [32], [19], [33], [20], [34], [7], [35], [36], [14], [23], [9], [25], [37], [27], [5], [28], [38], [3], [39], [40], [30], [2], [41], [4].
Monitoreo	[20], [42], [23], [9], [24], [43], [25], [26], [37], [6], [28], [44], [3], [2], [4].
TIC	[16], [11], [18], [32], [33], [21], [45], [7], [35], [36], [43], [15], [26], [5], [44], [38], [3], [46], [29], [39], [30], [41], [47], [48].
Cultivo	[20], [22], [42], [23], [15].
Sistema	[19], [23], [25], [6], [5], [28], [44], [2].
Aplicación	[33], [5], [8].
Automatización	[22], [26], [30].
Otros	[11], [45], [22], [10], [9], [24], [37], [27], [5], [28], [8], [40], [47].



Fig. 1. Documentos por año de publicación e idioma de publicación

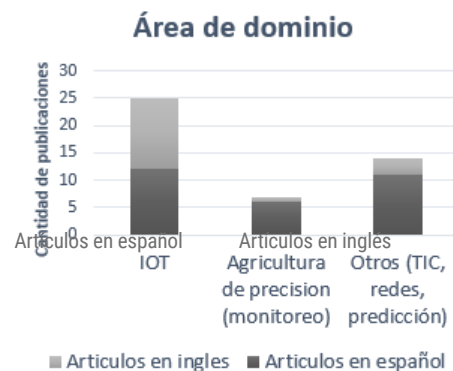


Fig. 2. Documentos por área de dominio e idioma de publicación

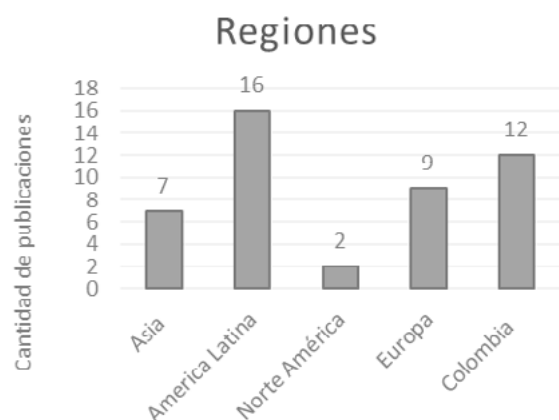


Fig. 3. Documentos por región de publicación

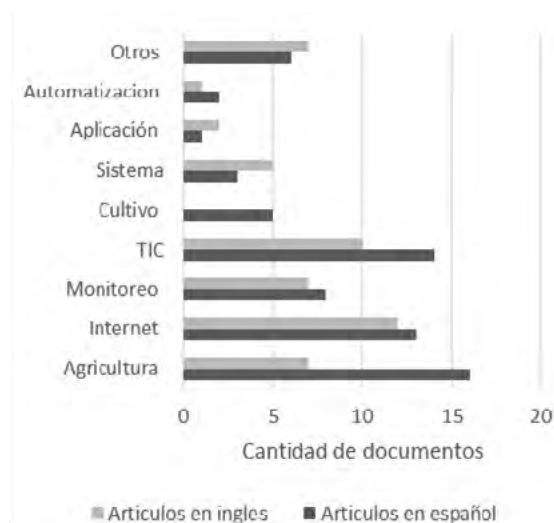


Fig. 4. Documentos por subtemática e idioma de publicación

Además, la Fig. 5 permitió determinar el porcentaje de documentos que se incluyeron en cada subtemática de los 46 que se eligieron en la búsqueda.

Luego de determinar las subtemáticas de las áreas de dominio, se realizó la lectura de los 46 documentos del estado del arte, con el fin de identificar y recopilar la información relevante de acuerdo con las siguientes dos temáticas principales:

- Tecnologías aplicadas a los desarrollos de IoT en términos de hardware y software, distribuidos en 4 divisiones elementales: sensores, redes y protocolos de comunicaciones, sistemas embebidos y programas aplicados.

- Proyectos implementados y propuestos con énfasis en América latina y Colombia.

En los apartados que prosiguen, se puede observar el análisis detallado por temática abordada.

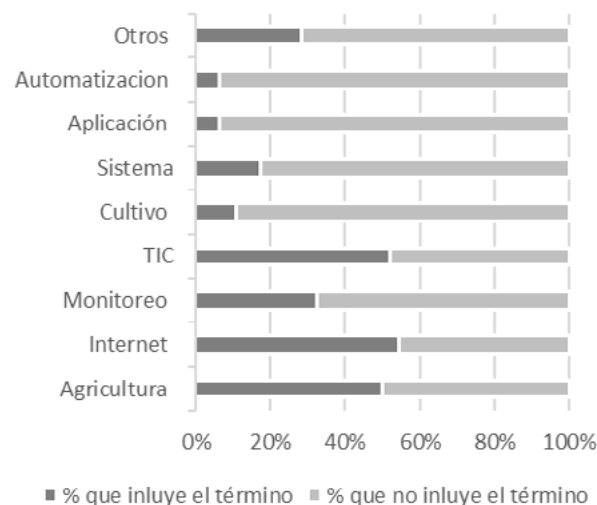


Fig. 5. Porcentaje de documentos que incluyen y no incluyen la subtemática en su contenido

Herramientas de uso actual en IoT aplicado a la agricultura

La implementación y desarrollo de tecnologías IoT en el sector agricultor define de manera frecuente tres capas: capa de percepción (captura), capa de red (transporte) y capa de aplicación (implementación) [4], [14], [27].

La capa de percepción se refiere a los componentes de hardware y software asociados a la tecnología IoT implementada [24], que agrupa elementos tales como sensores, actuadores, transceptores, sistemas embebidos, tecnologías de radiofrecuencia y diferentes elementos de monitoreo [38], [47]. Por su parte, la capa de red integra elementos que permiten la transferencia de información que proviene de determinados componentes de la capa de percepción [5] e incorpora diferentes protocolos de comunicación, que se aplican mediante redes de telecomunicaciones y nodos de sensores [9], [29], [31], [46]. Por último, la capa de aplicación es referida como la im-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

plementación de los desarrollos IoT mediante sistemas expertos o que implican algoritmos inteligentes para la toma de decisiones en los cultivos [4].

A continuación, se presenta la recopilación de información recolectada con los 46 documentos, discriminados según las dos primeras capas definidas previamente.

Capa de percepción

Las herramientas de hardware que se hacen más frecuentes en aplicaciones de tecnologías en agricultura fueron diferenciadas mediante una búsqueda discriminativa de selección sobre los 46 documentos.

En primer lugar, se identificaron términos asociados a dispositivos sensores que se encontraron en la metodología, en los resultados, en la discusión o en el desarrollo temático de cada documento. En consecuencia, se logró establecer la clasificación en dispositivos de uso genérico, por variable de medición física y por tecnología, lo que dio como resultado una agrupación final que se observa en la Fig. 6.

En la Fig. 6 se logró evidenciar que el mayor porcentaje de sensores implementados en tecnologías IoT en agricultura corresponde a dispositivos de medición de temperatura y humedad, que incluyen tanto mediciones de condiciones del ambiente y condiciones propias de la fisiología del suelo (se distingue temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad ambiente, y humedad del suelo) [3], [4], [6], [7], [14], [20], [27], [28], [34].

En un segundo nivel de recurrencia se encuentran los sensores de identificación por radio frecuencia (RFID), luminosidad, nivel de acidez (pH), intensidad de rayos ultravioleta (rayos UV) y presión, que corresponden según la Fig. 6 a los sensores encontrados con un porcentaje entre 7% y 12%. Este segundo grupo, aunque abarcó un conjunto de repetibilidad similar a los dos primeros sensores (temperatura y humedad), iden-

tifica un total de 5 variables de medición, por lo que su uso en aplicaciones agrícolas es en menor porcentaje [3], [5], [7], [14], [20], [23], [27], [28], [34].

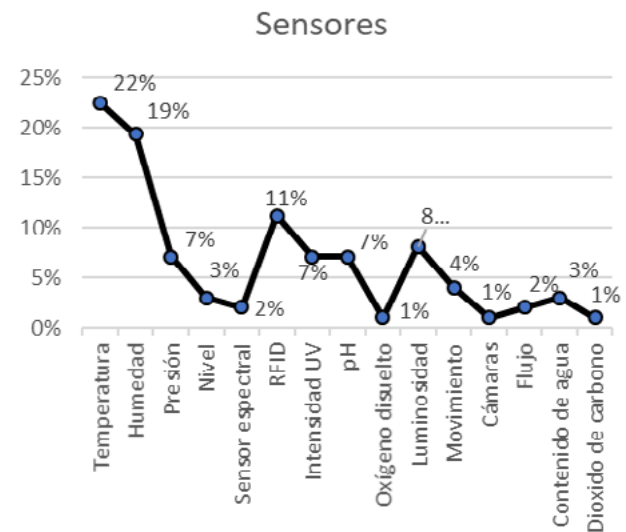


Fig. 6. Porcentaje de inclusión de dispositivos sensores en agricultura

Por último, en un conjunto minoritario de aplicación, se distinguió un grupo de 8 variables físicas o tecnologías de medición, se encontraron porcentajes de repetición menores al 4%, lo que permitió inducir que estos sensores son utilizados con una frecuencia muy baja, y que no son de gran relevancia en la mayoría de las aplicaciones agrícolas. Este conjunto está comprendido por sensores de nivel, sensores espectrales, sensores de oxígeno disuelto, sensores de movimiento, sensores de flujo, sensores de contenido de agua, sensores de dióxido de carbono y por cámaras [4], [5], [39], [48], [7], [9], [19], [22], [27], [28], [31], [34].

En segundo lugar, se establecieron las tecnologías de sistemas embebidos o tarjetas de desarrollo que son usualmente utilizadas. Al igual que en la búsqueda de dispositivos sensores, se realizó una búsqueda sistemática en los 46 documentos, determinando criterios de inclusión para favorecer la clasificación. En la discusión para la elección de los sistemas embebidos, se respondió a la siguiente pregunta: ¿cuáles tarjetas de desarrollo están implicadas en tareas como servidor central de datos, unidad de procesamiento, tarjeta

de expansión de funciones y como dispositivo de comunicación entre el usuario, el cultivo y las herramientas de monitoreo y control?

Con el anterior interrogante, se procedió a documentar mediante un barrido de información de los documentos de búsqueda, y se encontró con la distribución en porcentaje que se observa en la Fig. 7.

La Fig. 7 proporcionó los índices en porcentaje de uso de diferentes dispositivos como se mencionan a continuación: controlador lógico programable (PLC), Arduino (microcontrolador), Raspberry Pi (sistema embebido con sistema operativo), sensores de nodo (Mote), controlador programable de interrupciones (PIC), NODE (microcontrolador). Los resultados evidenciaron que cerca del 39% de los casos de aplicación de IoT hacen uso de placas de Arduino, dando un claro indicio de la facilidad de implementación de esta plataforma [5], [9], [45], [14], [19], [23], [24], [36], [38], [41], [44].

En consecuencia, en diferentes trabajos se encontró que la implementación de Arduino se debe a la versatilidad que provee la placa para extender sus funciones mediante tarjetas de expansión (shields), que permiten interconectar otras placas, ya sea Arduino u otra tarjeta de desarrollo [19], [24]. La ampliación de las funciones de la placa original expande las posibilidades de comunicación de la capa de red, de modo que abarca un gran abanico de posibles opciones de transferencia de datos desde los sensores [41], [45].

Por debajo de la placa Arduino se encontró la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, que es utilizada en una proporción alta, pero corresponde a la mitad de los casos de implementación de Arduino (21%). Una de las principales ventajas de este hardware, que incluye un sistema operativo basado en Linux, es que responde a la implementación de servidores web y alojamiento de bases de datos para la generación de gran cantidad de información. Lo anterior, junto con la posible implementación gráfica y la posibilidad de realizar la programación en diferentes lenguajes de alto nivel, posicionan a esta tarjeta como una herramienta útil si se

requieren aplicaciones más complejas con interfaces de usuario más agradables en términos de software [5], [25], [29], [47].

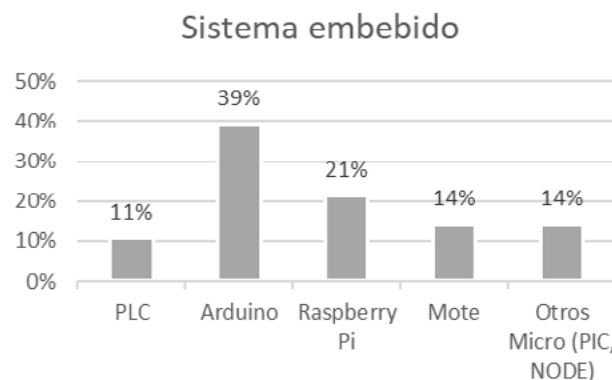


Fig. 7. Sistemas embebidos de mayor uso en aplicaciones agrícolas

Por otra parte, también se determinó un conjunto de otros microcontroladores no menos importantes como los sensores de nodo (Mote), el controlador programable de interrupciones (PIC) y los NODE (microcontroladores). El estudio detalló que son utilizados con más baja frecuencia que Arduino y Raspberry Pi, pero son alternativas de muy bajo costo [3], [27], [41], [44], [46]. Además, poseen fortalezas en términos de implementación debido a su tamaño y portabilidad, así como la integración funcional con otros dispositivos externos.

En último lugar se encuentran los controladores lógicos programables (PLC) con un porcentaje de implementación del 11%. Lo anterior responde a la naturaleza misma del dispositivo, dado que, al ser un dispositivo comercial, los costos asociados crecen y no se vuelve conveniente para aplicaciones en las cuales se puede tener acceso a tecnologías de mejor costo asociado, como Arduino o Raspberry Pi [45].

Finalmente, el análisis de la capa de percepción culminó con la determinación de características enmarcadas en el software implementado en las iniciativas de IoT en agricultura. La clasificación que se estableció obedeció principalmente a las siguientes características [4], [28]:

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

- ¿Cómo se realiza el manejo de información obtenida de los sensores?
- ¿Las iniciativas responden a una programación orientada al servicio, al cliente, o a la plataforma?
- ¿Cuáles son las plataformas de software que más reinciden y tienen mayor impacto en el sector agricultor para predecir decisiones?

Una vez se respondieron las 3 preguntas mencionadas, la investigación documental arrojó un total de 7 divisiones relevantes en la utilización de software o aplicativos para la implementación de proyectos IoT en agricultura: aplicativos web, aplicaciones móviles, servidores web, programas comerciales, sistema operativo Tiny, Python, SIG (sistemas de información geográfica) [6], [7], [34], [37], [43], [45], [48], [9], [11], [15]–[17], [19], [20], [27].

La Fig. 8 muestra la discriminación obtenida en términos de porcentaje de aplicación de cada programa (software) detectado.

Según la Fig. 8 es evidente que la mayoría de aplicaciones agrícolas hacen uso de servidores web como herramienta computacional para el manejo de gran cantidad de información [3], [11], [27], [28], [37], [47]. En un segundo plano se encuentran las demás soluciones por debajo del 15% de repetibilidad. A pesar de que las tendencias sugieren que las aplicaciones móviles van en incremento, en el caso agricultor lo importante no es tener la información en un dispositivo móvil, sino obtener grandes cantidades de datos que puedan visualizarse posteriormente. En consecuencia, se detectó que los servidores web proporcionan esta finalidad [5], [8], [11].

No obstante, es importante aclarar que el estudio arrojó consideraciones pertinentes respecto a los demás programas (software) aplicados. Es el caso en particular del lenguaje de programación Python, el cual proporciona una inmensa cantidad de posibilidades desde el programa (software) para el manejo de mu-

chos sensores, protocolos de comunicación y datos en grandes cantidades. Así mismo, existen en el mercado programas de uso comercial que proveen las funcionalidades de un sistema SIG, con el cual se evidencia que las herramientas en términos de programas (software) tienen un amplio rango de opciones que permiten obtener gran cantidad de mediciones en tiempo real y que logran ser almacenadas en lo que se conoce como la nube [2], [8], [11], [27].

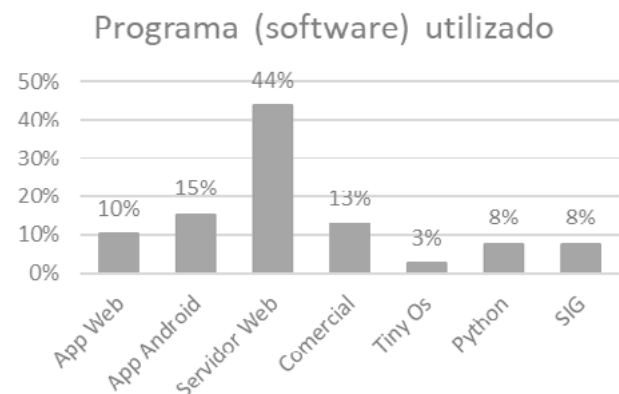


Fig. 8. Software aplicado de mayor uso en aplicaciones agrícolas

Dentro de los programas de uso comercial se encontró que los más utilizados son Matlab y Labview [9], [22], [37], de tal manera que en términos porcentuales corresponde al 13% de utilización, caso similar al de las aplicaciones móviles en la plataforma Android y a las aplicaciones web (diferentes a los llamados servidores web). En ese orden de ideas, el segundo grupo con mayor utilización en la agricultura está enmarcado en los programas de dispositivos móviles y aplicativos alojados en la internet, que suman en conjunto un 25%, y junto con los programas de uso comercial, se incrementa a un 38%, una tasa similar a la aplicación de servidores web, que se encontró en un 44%.

Por otra parte, el porcentaje de recurrencia de uso de los otros tres lenguajes o programas de aplicación (Python, sistema operativo Tiny y SIG) suman en su totalidad un 19% de aplicación, que es un índice muy bajo respecto a los otros dos grupos discriminados.

Capa de red

En esta capa se distinguen las redes de datos que permiten la comunicación mediante la interacción y la convergencia tecnológica, e incluye los diferentes protocolos y medios de red que han ido involucrándose gradualmente en las tecnologías IoT [23], [27], [41]. Estos desarrollos en el campo de las redes permiten diferentes aplicaciones que benefician distintos sectores productivos de una sociedad, entre ellos, la agricultura. Por tanto, son estas tecnologías emergentes las que permiten nuevos avances en el monitoreo de cultivos a través de redes inalámbricas y sensores que recolectan información valiosa para la producción de las mismas [2], [6].

Para determinar los instrumentos y dispositivos que hacen parte de la capa de red, en la búsqueda de los 46 documentos se detectó una división en dos diferentes temas: tecnologías aplicadas y protocolos.

La Fig. 9 ilustra la relación entre las capas de un desarrollo IoT que permitió definir la importancia de los temas a tratar en este apartado, lo cual proporcionó relevancia a los protocolos de comunicación como enlace entre los sensores y la capa de red, y se estableció la necesidad de las tecnologías para la decodificación de información, ya que son las encargadas de llevar los datos a los servidores finales de la capa de percepción.

En la Fig. 10 se pueden detallar las nuevas tecnologías usadas para intercomunicar diferentes dispositivos desplegados con fines particulares. El porcentaje establecido para cada una de las tecnologías corresponde a la documentación revisada, donde se eligieron aquellos que dentro de su contenido tratan sobre las aplicaciones e implementaciones que estas han tenido en agricultura. El 40% corresponde a la tecnología de sistema de posicionamiento global (GPS) [21], [26], [27], [33]. Su utilización permite poder hacer seguimiento a una ubicación del cultivo en tiempo real. En los documentos revisados se encontró que su implementación se hace en la mayoría de los casos por

medio de drones direccionados a través de sistemas georeferenciados para el riego de cultivos o monitoreo de estos.

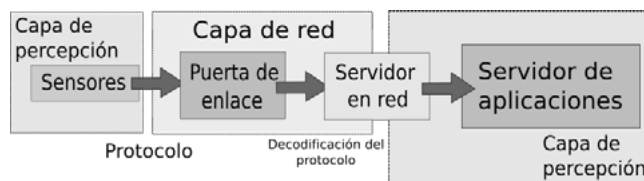


Fig. 9. Esquema de relacionamiento entre capa de percepción y capa de red

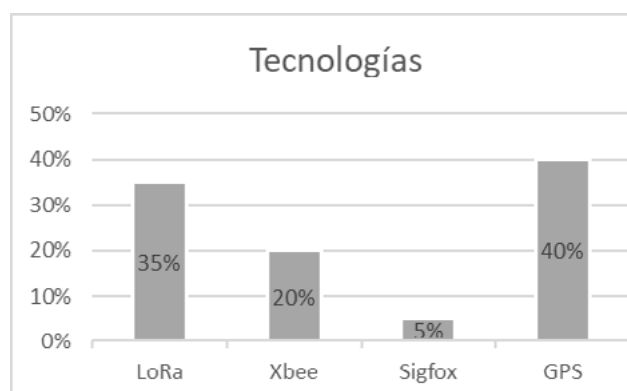


Fig. 10. Tecnología de redes de telecomunicaciones usadas en aplicaciones agrícolas

Por otra parte, la tecnología LoRa es implementada el 35% de veces [20], [44], [47]. Cabe destacar que esta tecnología permite el monitoreo de cultivos agrícolas gracias a sus características que incluyen bajo consumo y largo alcance, lo que posibilita su implementación en diferentes entornos para operar de forma eficiente en ellos.

En el caso de la tecnología Xbee, fue posible establecer que su implementación llegó al 20% [23], [42]. Esta tecnología permite evaluar variables medioambientales que hacen uso de sensores que recopilan información y las transmiten para su debido tratamiento o uso, todo esto bajo la plataforma IoT.

Por último, con un porcentaje del 5%, encontramos Sigfox, una tecnología que permite la interconexión de diferentes dispositivos mediante redes inalámbricas y a su vez, la transmisión de datos en frecuencia

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

de baja potencia, que ha sido implementada según la documentación para el control y monitoreo de riego a cultivos.

Por otro lado, cada una de las tecnologías analizadas en la documentación tiene una forma de operar. La manera correcta de realizar una transferencia de información es a través de protocolos, quienes permiten establecer las comunicaciones entre los dispositivos utilizados en las tecnologías ya mencionadas. En la Fig. 11 se presentan los protocolos utilizados que mencionan los documentos de revisión.

Por una parte, el conjunto de protocolos Zigbee es usado en redes inalámbricas y permite la comunicación entre dispositivos, como sensores, para la transmisión de información. Este protocolo ha sido utilizado para realizar monitoreo en cultivos agrícolas y se ha encontrado que es implementado en un 39% de casos [3], [7], [23], [25], [28], [40], [42], [43], [45], [47].

Por otra parte, WiFi es el protocolo más conocido que permite intercomunicar dispositivos del hogar y ha sido llevado a diferentes implementaciones de IoT, pues fue posible encontrarlo 27% de veces en la información consultada [11], [18], [22], [43]. Entre tanto, el protocolo Bluetooth se detectó en un porcentaje aproximado al 21%. Este protocolo opera mediante un enlace de radiofrecuencia y ha sido utilizado en la agricultura de precisión bajo la plataforma IoT [7], [17], [18], [26].

Asimismo, GSM se encuentra con el 9% de frecuencia. Este es un protocolo de comunicación para telefonía celular, utilizado en el internet de las cosas IoT aplicado en la agricultura de alta precisión [41], [42], [44]. Por último y cercano al 3%, se encontró el protocolo 6LowPAN, que es utilizado para intercomunicar dispositivos dentro de una red inalámbrica bajo un direccionamiento IPV6 y ha sido implementado para el monitoreo de cultivos en invernaderos [15], [17].

Estos protocolos y la tecnología bajo la que operan han permitido un gran avance en lo que respecta al seguimiento e implementación en el sector agrícola, lo que permite obtener información valiosa y pertinente para las oportunas acciones sobre cultivos agrícolas.

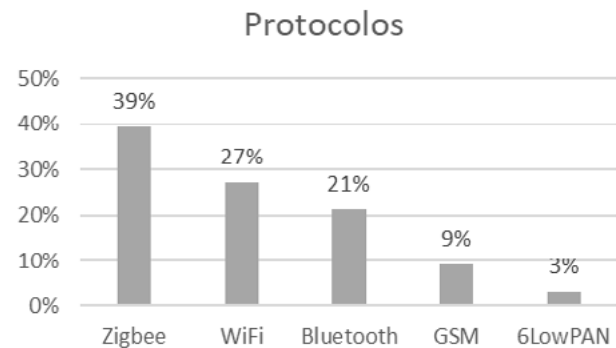


Fig. 11. Protocolos de red con mayor uso en aplicaciones agrícolas

Estado actual de aplicaciones de internet de las cosas IoT en la agricultura

Existen diversos proyectos aplicados en agricultura que están enfocados en las nuevas tendencias de la era digital, y de manera explícita a las tecnologías IoT [4], [14], [38]. Es conveniente entonces asumir una postura crítica para la revisión del estado actual de las diferentes iniciativas que se proponen desde la investigación y desde la industria, y así generar un conocimiento compartido de experiencias para responder a las necesidades del sector agricultor.

Las proyecciones que se establecen en los siguientes años respecto a las tecnologías de la era digital dan cuenta de lo fundamental que es abarcar el estudio de nuevas metodologías de aplicación de estas herramientas [1], [2], [6]. Por tanto, se hace imprescindible afrontar los nuevos desafíos de la agricultura desde el debate justo, con base en las aplicaciones que ya se han realizado. Por lo anterior, en el marco de la presente investigación, el estudio encontró dentro de los 46 documentos de la búsqueda, 9 proyectos realizados en América Latina que permiten dar cuenta del desarrollo y la implementación de ideas novedosas para el sector agricultor.

En las siguientes subsecciones se presenta el estado del arte de aplicaciones actuales en la región que satisfacen necesidades fundamentales, y que responden al tema central de aplicación de las tecnologías IoT.

Caso latinoamericano

Para el análisis de aplicaciones en Latinoamérica, se realizó la clasificación de propuestas de manera diferenciada entre Colombia y los demás países de la región. Por ello, a continuación se presentará el caso latinoamericano, que enmarca los países de este territorio, pero excluye a Colombia.

El primer trabajo que se detectó corresponde a un modelado de una red inalámbrica de sensores y actuadores para aplicaciones de agricultura de precisión [19]. El desarrollo se basó en la utilización de tarjetas de Arduino para el servidor central y los nodos de transferencia de datos. Se hizo uso de una red WSN por su modularidad y versatilidad. La información recopilada se realizó mediante un servicio en la nube y las estadísticas se implementaron mediante el lenguaje del programa R. El módulo seleccionado para la transmisión en red fue el modelo Xbee y el software para visualización se realizó mediante programación orientada a servicios a través de una aplicación web. Entre sus características se destaca que cada nodo puede conectar hasta un número máximo de 24 sensores para recibir información, además de recibir señal de GPS para ubicación específica del terreno. Finalmente, se concluyó que el sistema propuesto facilita la realización estadística y la recopilación de información que proviene del cultivo [19]. Este trabajo se realizó en México y fue financiado por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

El segundo elemento identificado corresponde a un proyecto situado en Panamá titulado “Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros” [45]. La plataforma de bajo costo se presentó como un prototipo que se implementó en las instalaciones de la Universidad Tec-

nológica de Panamá. Como característica principal se encontró que hace uso de la plataforma Arduino, que posee conexión en red —de manera local— por medio del protocolo ethernet, el cual utilizó sensores que envían información a un servidor central. Además, se encontró que existía una conexión directa de los actuadores del cultivo al sistema de control, el cual se comunicaba directamente con Arduino. El esquema del modelo de automatización estaba dividido en cuatro módulos, de tal manera que cada uno realizaba funciones específicas. Toda la información recibida se enviaba a una base de datos local y era visualizada mediante un aplicativo web y móvil. Como producto final se obtuvo ABACPA, una plataforma de bajo costo comparada con otras plataformas comerciales [45].

En tercer lugar, desde la Universidad Nacional del Altiplano, en la ciudad de Puno, Perú, se desarrolló un trabajo doctoral titulado “Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de cultivos nativos utilizando internet del todo y redes FOG” [7]. En este trabajo doctoral, el autor presentó el desarrollo de un sistema para monitoreo de variables en cultivos nativos del Perú. Para ello, utilizó la plataforma de desarrollo Electron de la empresa Particle, la cual es un dispositivo electrónico que permite comunicar sensores. La información se recolectó a partir de dicha plataforma y los datos fueron procesados para, posteriormente, enviar los datos obtenidos a la nube. Esto finalmente permitió tener la información en un servidor web para la posterior visualización de los datos en gráficas, cuya observación es posible mediante una aplicación web o una aplicación móvil [7].

Por último, se obtuvo un trabajo sobre una metodología para el almacenamiento y visualización de datos masivos en invernadero basado en Iota [36]. Se propuso una arquitectura compuesta por tres partes fundamentales: la captura, el almacenamiento y la visualización. Dentro de la captura se encontró toda la fundamentación de hardware, que incluye las tarjetas de desarrollo y los sensores. En el almacenamiento es donde se acumula la información en servidores o bases de datos. Por último, la parte de visualización es referida a la sección donde se obtienen de manera

gráfica los resultados luego de la respectiva captura de datos. El trabajo concluyó con pruebas durante tres días, en los cuales se lograron obtener mediciones de temperatura, humedad del ambiente y humedad del suelo, visualizados en un dashboard de un aplicativo web [36].

Caso colombiano

En el sector colombiano se encontraron 5 casos particulares de aplicaciones de IoT desarrolladas en diferentes esquemas de agricultura, de forma que se destaca la implementación de diseños basados en IoT, sin desconocer que la agricultura de precisión también hace parte activa de los desarrollos.

En el departamento del Magdalena, un grupo de estudiantes de la Universidad Cooperativa de Colombia han desarrollado un análisis de aplicabilidad de IoT para el control remoto de un sistema de riego [48]. El esquema propuesto determinó la viabilidad de la arquitectura de 3 capas, se enfatiza en el uso de PLC, router para transmisión en red, sensores de suelo y aplicación móvil en Android. Finalmente, el estudio condujo a concluir que el desarrollo es imprescindible para la región, pero no se realizó implementación física del proyecto [48].

Por otra parte, en la Universidad de Córdoba se desarrolló un sistema IoT para el monitoreo de cultivos protegidos, más conocidos como invernaderos. El estudio condujo a la detección de una metodología para realizar una arquitectura capaz de obtener parámetros de desarrollo y crecimiento del cultivo [20]. El monitoreo, consecuentemente, permite transferir los datos obtenidos de dispositivos sensores por medio de un servidor web y visualizarlos finalmente por medio de un aplicativo web. Los resultados son mostrados mediante gráficas y generan alertas en tiempo real para detectar fallas en el cultivo. El desarrollo únicamente determinó la implementación de la capa de procesamiento de información, pero dejó abierta la posibilidad de conexión de actuadores para su empalme con el sistema de control [20].

Otra aplicación hallada fue una arquitectura propuesta para agricultura de precisión, que incluye tecnologías IoT. Este estudio estableció que la propuesta debe ser entendida desde 3 vistas: vista de negocio, vista funcional y vista de implementación [14]. La vista de negocio explica las capas de la tecnología IoT, distinguiéndose así la capa de captura, la capa de almacenamiento, la capa de procesamiento y la capa de consulta. La vista funcional organiza las capas de manera que se puedan interconectar. Finalmente, la vista de implementación menciona los dispositivos hardware y software utilizados [14]. Esta arquitectura fundamentó su implementación en tecnologías de uso libre, con lo cual se estableció el empleo de la tarjeta Arduino, el servidor web con un api de desarrollo llamada Spark, la cual hace uso de minería de datos y big data. La consulta de datos se hace a través de una aplicación web donde se visualizan gráficas de las variables monitoreadas. El resultado final solo mostró la funcionalidad de la estructura de procesamiento de la información, verificando la transferencia de datos en los servidores. Así mismo, detalló la validez de la arquitectura propuesta para el envío de información, sin embargo, no señaló la implementación física de la arquitectura propuesta [14].

Otro ejemplo de desarrollo se detectó en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El trabajo realizado mostró un prototipo de monitoreo de cultivos agrícolas mediante el uso de una red LoRa [23]. Allí se estableció que es posible la implementación de nodos sensores para transmitir datos en radios superiores a 8Km de distancia. Tal afirmación surge del estudio previo de la tecnología LoRa, que identificó su aplicabilidad en tareas en zonas rurales, donde es muy probable no tener acceso a redes de gran alcance para transferir datos [23]. Dada la posibilidad de uso en grandes extensiones y la visible problemática de conexión en red en el campo, el prototipo fue diseñado para adquirir datos de sensores y enviarlos a un servidor central mediante la comunicación en nodos de transmisión de datos. Finalmente, la información fue obtenida en una aplicación web, la cual se muestra mediante algunas gráficas. La implementación utilizó tarjeta Arduino, módulo LoRa, conexión de diferentes sensores y la ali-

mentación de energía se hizo mediante el uso de baterías recargables. Los nodos de transmisión de datos se probaron en la ciudad de Bogotá, Cundinamarca y el prototipo completo en Sibaté, Cundinamarca [23].

Para terminar, el último proyecto detectado en la búsqueda correspondió a un sistema de riego basado en IoT. Este desarrollo fue realizado en el departamento del Huila y propuesto por miembros de la Universidad Sur Colombiana [24]. La arquitectura propuesta consiste en la implementación de tarjeta Arduino, nodos sensores con tarjetas Xbee y sensores para la toma de datos. El sistema utilizó un panel para ser autónomo y una batería que se recarga según sus necesidades. Para obtener la información centralizada, se hizo uso de Raspberry Pi como servidor central de datos. La información finalmente es enviada a un servidor web y se muestra en aplicativo web y móvil [24].

TRABAJOS FUTUROS

El presente artículo permitió establecer el estado actual de las aplicaciones agrícolas que hacen uso de las tecnologías IoT, e identificar los criterios elementales que estas dan para determinar la viabilidad de la implementación de los nuevos desarrollos en el sector rural enfocados en las tecnologías emergentes de la era digital. En consecuencia, se pudo encontrar que las tecnologías de IoT adaptadas al contexto agrícola son base esencial para transformar el trabajo del agricultor y permiten generar un impacto positivo y un cambio social, cultural y económico que, en conjunto, son la base del progreso de una sociedad.

Por tanto, se espera que este trabajo y trabajos similares sean sustento para que investigaciones futuras continúen con la labor de descubrir y establecer cuáles tecnologías son las más adecuadas para su implementación en el sector agropecuario. Lo anterior con el fin de propiciar una migración tecnológica enmarcada en la cuarta revolución industrial que responda a las necesidades reales de los agricultores.

4. CONCLUSIONES

El internet de las cosas se ha posicionado en las últimas dos décadas como una salida factible a diferentes necesidades del sector agrícola, producto de la constante evolución industrial. En el marco de la industria 4.0, es menester encontrar la convergencia entre nuevas tecnologías y su aplicación en el campo.

Por ello, la implementación de nuevas tecnologías en el sector agrícola debe obedecer al cambio cultural de la población rural, entendiendo que, en la actualidad, la población joven está migrando a la ciudad y el campo está envejeciendo. Por tanto, la transformación digital del campo es un insumo adecuado para minimizar el éxodo de personas jóvenes y fundamenta así un cambio de paradigma para que el trabajo del campo sea más atractivo para las nuevas generaciones, lo cual impacta no solo la producción del campo, sino a la población que por distintos motivos ya no se encuentra en el sector rural.

En cuanto al presente documento, se descubre que la aplicación en el sector agricultor es conveniente en términos de facilitar aquellas tareas que pueden ser muy dispendiosas, y que, de manera artesanal o manual, pueden tornarse dificultosas. Debido a lo anterior, es clave analizar cuáles tecnologías de internet de las cosas IoT son más adecuadas para la transformación del campo, sin temor a intervenir de forma negativa.

Gracias a la búsqueda realizada en el documento, se pudo evidenciar que la aplicación de tecnologías IoT se define claramente con una arquitectura basada en 3 capas: capa de percepción (captura), capa de red (transporte) y capa de aplicación (implementación). Cada una cumple un papel importante en la implementación real de los desarrollos IoT de manera diferenciada y no pueden obviarse en la implementación de un prototipo real de esta tecnología.

Se encontró que la gran mayoría de proyectos en agricultura hacen uso de sistemas embebidos de bajo costo y de fácil acceso y programación, como lo son Arduino y Raspberry Pi. Estos elementos son utilizados

para la captura de datos y se implementan de manera usual con sensores que, de igual forma, son de fácil manejo e implementación. Se logró identificar que la capa de percepción en muchas aplicaciones monitorea variables de fácil captura, como lo son la temperatura y la humedad. Estas variables físicas permiten obtener información relevante para el análisis de los suelos agrícolas y son monitoreadas en tiempo real en la mayoría de los casos.

En el caso de la capa de red, es evidente que las tecnologías que suelen implementarse para los proyectos de IoT en el campo son la geolocalización GPS y los módulos de tecnología LoRa. El primero por la importancia que suministra en los proyectos de análisis de suelos y producción, dado que la ubicación específica de patrones permite obtener mapeos de rendimiento e incluso predecir comportamientos de los suelos agrícolas para mejorar la producción. En el caso de los módulos LoRa, su fácil implementación y su costo asociado los han catalogado como una de las tecnologías de transmisión de datos que se puede utilizar en regiones donde se tienen radios de largo alcance y donde no se tiene acceso a una red de datos como WiFi o ethernet. Así mismo, el protocolo de red de mayor uso es Zigbee, y el que con mayor recurrencia es utilizado en la implementación de proyectos de IoT en el sector rural.

Por otra parte, es preciso establecer si los dispositivos de aplicación de las diferentes tecnologías de instrumentación, medición y de transmisión de información responden a las obligaciones que surgen en el campo, de tal forma que cuando sea necesario aplicar una tecnología IoT, no se deba recurrir a instrumentos de difícil acceso, de mayor costo asociado o que requieran de otros dispositivos para lograr su funcionamiento en conjunto. Por este motivo, es indispensable definir el nivel de robustez de los dispositivos en términos físicos, de tal manera que respondan adecuadamente a los cambios ambientales propios del sector rural. Además, la elección de herramientas de uso libre como alternativa para la implementación de nuevos modelos tecnológicos en el campo es una de las mejores posibilidades que han surgido en torno a la aplicación del internet de las cosas IoT.

Por tanto, la aplicación de este tipo de tarjetas, sensores, protocolos y dispositivos son insumo fundamental para que la investigación en agricultura, que incluye monitoreo de variables, control de sistemas de riego, automatización de procesos de cultivo, mapeo de datos de cosechas, ubicaciones en sitio específico y gestión en general de la agricultura, sea un modelo creciente, un ejemplo de desarrollo y progreso y, sobre todo, un avance en la apropiación del conocimiento en doble vía, tanto por parte de la población rural, como por la comunidad académica.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), "El estado mundial de la agricultura y la alimentación". 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i7658s.pdf>
- [2] J. M. Talavera et al., "Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 142, pp. 283-297, 2017. doi: 10.1016/j.compag.2017.09.015
- [3] A. Medela, B. Cendón, L. González, R. Crespo, and I. Nevares, "IoT multiplatform networking to monitor and control wineries and vineyards", in *Future Network & Mobile Summit*, Lisboa, 2013, pp. 1-10.
- [4] F. Bing, "The research of IOT of agriculture based on three layers architecture", in *Proceedings of 2016 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things*, CCIOT 2016, 2017.

- [5] C. Cambra, S. Sendra, J. Lloret, and L. Garcia, "An IoT service-oriented system for agriculture monitoring", in *IEEE International Conference on Communications*, 2017. doi: 10.1109/ICC.2017.7996640
- [6] A. Suprem, N. Mahalik, and K. Kim, "A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector", *Computer Standards and Interfaces*. 2013, pp. 255-364. doi: 10.1016/j.csi.2012.09.002
- [7] G. Palacios Frisancho, "Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de cultivos nativos utilizando Internet del Todo y redes Fog", tesis, Universidad Nacional del Altiplano, 2017.
- [8] M. Aazam, and E.-N. Huh, "Fog computing: The cloud-iot/ioe middleware paradigm", *IEEE Potentials*, vol. 35, no. 3, pp. 40-44, 2016. doi: 10.1109/MPOT.2015.2456213
- [9] M. Quiñones-Cuenca, V. González-Jaramillo, R. Torres, and M. Jumbo, "Monitoring System of Environmental Variables Using a Wireless Sensor Network and Platforms of Internet of Things", *Enfoque UTE*, 2017, 329-343. doi: 10.29019/enfoqueute.v8n1.139
- [10] F. A. O. CEPAL, *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2017-2018*. Santiago de Chile: CEPAL, FAO, IICA, Santiago Chile, Chile, 2017.
- [11] A. M. Campoverde Marca, H. Rojas, D. Leonardo, y B. E. Mazón Olivo, "Cloud Computing para el internet de las cosas. Caso de estudio orientado a la agricultura de precisión", en *I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH*, Machala, 2015, pp. 47-53.
- [12] L. B. Peña, "Proyecto de Indagación", Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Fac. Psicol. [en línea], 2010.
- [13] J. S. Martínez López, "Guía de apuntes básicos para el docente de la materia Técnicas de Investigación", Universidad Mesoamericana, Oaxaca, 2002.
- [14] E. A. Quieroga Montoya, S. F. Jaramillo Colorado, W. Y. Campo Muñoz, y G. E. Chanchí Golondrino, "Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT", *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. 24, 2017. doi: 10.17013/risti.24.39-56
- [15] Ó. Orozco Sarasti, y G. Llano Ramírez, "Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 15, no. 28, pp. 103-124, 2016. doi: 10.22395/rium.v15n28a6
- [16] S. M. F. Silveira Massruhá, y M. A. de Andrade Leite, "Agricultura digital", *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, vol. 2, no. 1, pp. 72-88, 2016. Disponible en: <http://codaf.tupa.unesp.br:8082/index.php/recodaf/article/view/18/42>
- [17] C. Riera, "Cambio tecnológico en Córdoba: la categoría 'regante' y la emergencia de una nueva identidad agraria", *Revista del Museo de Antropología*, vol. 9, no. 2, pp. 113-126, 2016. doi: 10.31048/1852.4826.v9.n2.13286
- [18] L. K. Carpio Santos, "El uso de la tecnología en la agricultura", *ProSciences*, vol. 2, no. 14, pp. 25-32, 2018. doi: 10.29018/issn.2588-1000vol2iss14.2018pp25-32
- [19] J. E. García López, J. Chavez Chavez, y K. Jurado Sánchez, "Modelado de una red de sensores y actuadores inalámbrica para aplicaciones en agricultura de precisión", en *2017 IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference (MHTC)*, 2017, pp. 109-116. doi: 10.1109/MHTC.2017.7926210

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

- [20] J. E. Gómez, S. Castaño, T. Mercado, A. Fernandez, y J. Garcia, "Sistema de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos", *Ingeniería e Innovación*, vol. 5, no. 1, 2018. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/1101>
- [21] S. Santini, G. Ghezan, y M. Bontempo, "Uso de las TIC por parte de Agricultores Familiares en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires", 2017.
- [22] A. González, G. Amarillo, M. Amarillo, y F. Sarmiento, "Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión", *Publicaciones e Investigación*, vol. 10, pp. 23-37, 2016. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1930>
- [23] J. C. Triana Useche, y R. S. Rodríguez Leguizamo, "Prototipo de Solución IoT con Tecnología Lora en Monitoreo de Cultivos Agrícolas", tesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [24] A. J. Anaya-Isaza, D. H. Peluffo-Ordoñez, J. I. Rios, J. A. Castro-Silva, D. A. Carvajal Ruiz, y L. H. Espinosa Llanos, "Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT)", en Conferencias Internacionales FICA, 2016.
- [25] D. J. Mena Amado, "Sistema IoT para el Monitoreo y Control de Fuentes de Luz Artificial Aplicado a la Agricultura de Precisión.", tesis Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.
- [26] V. A. Berrío Meneses, J. Mosquera Téllez, D. F. Álzate Velásquez, "Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión", *@limentch, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 13, no. 1, pp. 28-40, 2017. doi: 10.24054/16927125.v1.n1.2015.1647
- [27] K. A. Patil, and N. R. Kale, "A model for smart agriculture using IoT", in Proceedings-International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication, IC-GTSPICC 2016, 2017.
- [28] T. Popović, N. Latinović, A. Pešić, Ž. Zečević, B. Krstajić, and S. Djukanović, "Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 140, pp. 255-265, 2017. doi: 10.1016/j.compag.2017.06.008
- [29] K. O. Flores, I. M. Butaslac, J. E. M. Gonzales, S. M. G. Dumlao, and R. S. J. Reyes, "Precision agriculture monitoring system using wireless sensor network and Raspberry Pi local server", in IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON, 2017. doi: 10.1109/TENCON.2016.7848600
- [30] Z. Nakutis et al., "Remote Agriculture Automation Using Wireless Link and IoT Gateway Infrastructure", in Proceedings-International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA, 2016. doi: 10.1109/DEXA.2015.37
- [31] G. Mercado et al., "Aplicaciones de Internet de las Cosas SIPIA6-Red de Sensores Inalámbricos con IPv6", en XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 2013. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/e040/208f5205ff6adc66dd6010114b5c7542f81b.pdf>
- [32] F. X. Armas Quintá, R. C. Lois González, y X. C. Macía Arce, "Los Servicios Avanzados de Internet: Nuevas oportunidades para el desarrollo de los territorios rurales", *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, vol. 38, no. 2, pp. 271-287, 2018. doi: 10.5209/AGUC.62480

- [33] J. S. Rueda, y J. M. Talavera Portocarrero, "Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora", *Rev. Colomb. Comput.*, vol. 18, no. 2, pp. 58–74, 2017. doi: 10.29375/25392115.3218
- [34] C. Contreras, J. A. Molina, P. Osma, y D. Zambrano, "Construcción de un sistema de adquisición y transmisión remota de la calidad del agua basado en el Internet de las cosas (IoT) para la acuicultura", en *Innovation in Education and Inclusion: Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 2018.
- [35] E. Fernando Rojas, L. Poveda, N. Grimblatt, "Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2016" Naciones Unidas, CEPAL, 2016.
- [36] S. M. Arciniegas Aguirre, D. R. Mafla Rivadeneira, L. R. Guerra Torrealba, L. D. Narváez Erazo, F. I. Rivas-Echeverría, y D. M. Rivero Albarran, "Metodología para el almacenamiento y visualización de datos masivos en invernadero basado en el Internet de las Cosas", *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. E15, pp. 1–12, 2018. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/87fbbc93f144b58865c4bfd01ecfd1d0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- [37] A. Cravero, D. Lagos, and R. Espinosa, "Big Data/ IoT Use in Wine Production: A Systematic Mapping Study", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 5, pp. 1476–1484, 2018. doi: 10.1109/TLA.2018.8408444
- [38] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, and C. Kittas, "Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges", *Biosystems Engineering*, vol. 164, pp. 31–48, 2017. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007
- [39] L. Riliskis, J. Hong, and P. Levis, "Ravel: Programming IoT Applications As Distributed Models, Views, and Controllers", in *International Workshop on Internet of Things towards Applications*, 2015, pp. 1–6. doi: 10.1145/2820975.2820977
- [40] V. Vijay Hari Ram, H. Vishal, S. Dhanalakshmi, y P. Meenakshi Vidya, "Regulation of water in agriculture field using Internet Of Things", in *Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development*, TIAR, Chennai, India, 2015. doi: 10.1109/TIAR.2015.7358541
- [41] A. Rahman, and M. Suryanegara, "The development of IoT LoRa: A performance evaluation on LoS and Non-LoS environment at 915 MHz ISM frequency", in *Proceedings–International Conference on Signals and Systems, ICSigSys*, Sanur Indonesia, 2017, pp. 163–167. doi: 10.1109/IC-SIGSYS.2017.7967033
- [42] D. F. González Botero, "Planteamiento de un modelo de predicción de heladas en cultivos de Rosa en la Sabana de Bogotá", Universidad Militar Nueva Granada, 2018. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17682/GonzalezBoteroDavidFelipe2018.pdf;jsessionid=E80C4CB51B1ABED-6C8E9AF028E89031F?sequence=1>
- [43] A. Cama-Pinto, F. Montoya Gil, J. Gómez-López, A. García Cruz, y F. Manzano Agugliaro, "Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero", *DYNA*, vol. 81, no. 184, pp. 164–170, 2014. doi: 10.15446/dyna.v81n184.37034
- [44] T. Cao-Hoang, and C. N. Duy, "Environment monitoring system for agricultural application based on wireless sensor network", in *7th International Conference on Information Science and Technology, ICIST 2017–Proceedings*, 2017. doi: 10.1109/ICIST.2017.7926499

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

- [45] A. Acosta, y A. Aguilar, "Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros", en 13th LACCEI Annual International Conference: "Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing? Santo Domingo, Dominican Republic, 2015, pp. 1-9.
- [46] I. Bennis, H. Fouchal, O. Zytoune, y D. Aboutajdine, "Monitoring drip irrigation system using wireless sensor networks", Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2015, pp. 1297-1302. doi: 10.15439/2015F299
- [47] K. Foughali, K. Fathallah, and A. Frihida, "Using Cloud IOT for disease prevention in precision agriculture", *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 575-582, 2018. doi: 10.1016/j.procs.2018.04.106
- [48] J. S. Alfaro Rocha, A. S. Corbacho Torregroza, y J. E. Prada Hernández "Análisis del internet de las cosas (IOT) y su aplicabilidad en el control remoto del sistema de riego de la finca La Josefa ubicada en Macondo zona bananera del departamento del Magdalena.", Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, 2018.