

Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura

IoT paradigm: from its concept towards its application in agriculture

PÉREZ, Manuel R. [1](#); MENDOZA, Miguel A. [2](#) & SUAREZ, Marco J. [3](#)

Recibido: 09/02/2019 • Aprobado: 18/05/2019 • Publicado 03/06/2019

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Concepto de IoT y sus implicaciones](#)
- [4. Arquitectura](#)
- [5. Tecnología: redes y dispositivos usados en IoT](#)
- [6. IoT en la agricultura](#)
- [7. Discusión](#)
- [Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

Este documento presenta el resultado de una investigación de carácter documental, centrada en el paradigma del internet de las cosas o por su sigla en inglés IoT, abordando conceptos, definiciones, arquitecturas, tecnologías de redes, dispositivos y proyectos que lo aplican en favor de la agricultura. El método se fundamenta en el análisis sistemático del área, con el fin de constituir el estado de arte, útil para iniciativas investigativas encaminadas a promover proyectos de innovación y transferencia tecnológica.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Agricultura inteligente, IdC, Internet de las cosas

ABSTRACT:

This document presents the result of a research based on a documentary review, centered in the internet of things (IoT) paradigm, addressing concepts, definitions, architectures, network technologies, devices and projects that in favor of farming. The method is based on the systematic analysis of the area, in order to constitute the state of art, useful for research initiatives aimed at promoting innovation and technology transfer projects.

Keywords: Precision agriculture, Smart farming, IoT, Internet of Things

1. Introducción

La presente investigación se centra en el paradigma del internet de las cosas o por sus siglas en inglés IoT (*Internet of Things*), evaluando sus conceptos e implicaciones, arquitectura, tecnología usada para las implementaciones realizadas y los casos de uso en la agricultura. La investigación del paradigma IoT se realiza debido a su auge tecnológico y la masificación que se está viviendo en este momento, es la base para conectar cosas por medio de sensores, actuadores y otras tecnologías inteligentes, permitiendo la comunicación entre personas a objeto y de objeto a objeto (Uckelmann, Harrison, & Michahelles, 2011).

El trabajo parte de la identificación de la relevancia del paradigma IoT en el presente y futuro, a partir del enriquecimiento de las condiciones de cada persona y su entorno, para luego dar los conceptos del mismo, posteriormente, se identifica una serie de aproximaciones investigativas, centradas en la arquitectura, siendo importante explicar las tecnologías que se abarcan a nivel de redes, dispositivos y tecnología aplicada, y finalmente se realiza un seguimiento a los casos de uso de IoT aplicados en la agricultura.

El método empleado para el desarrollo de este trabajo es de inspección científica, indagando en bases de datos dentro de marco temporal vigente y con combinaciones lógicas entre temas específicos para el objeto de estudio, cobrando relevancia en cuanto a la constitución de una base científica y de conocimiento actual en favor del paradigma IoT aplicado a la agricultura, que sustente la generación de procesos de investigación aplicada, centrados en soluciones particulares.

2. Metodología

Para la localización de los documentos bibliográficos se usaron varias bases de datos documentales como Scopus y Science Direct. Para el caso de Scopus se realizaron búsquedas por medio de la combinación de una serie de términos clave en los que se centra el artículo, con una ventana de observación de siete años, resultados que se presentan en la tabla 1, mientras que en IEEE Xplore el método de filtrado se realizó directamente sobre la combinación de IoT, *Agriculture*, *Sensor* y *Control*, en el año 2018, con un total de 17 referencias y para algunos temas particulares del artículo.

Tabla 1
Criterios de búsqueda en bases de datos científicas.

Combinación de áreas de conocimiento	Rango	Área del conocimiento	Resultado de la búsqueda
<i>IoT + Sensor</i>	2012 – 2018	Ingeniería y la Computación	3485
<i>IoT + Agriculture</i>	2012 – 2018	Ingeniería y la Computación	459
<i>IoT + Agriculture + Sensor</i>	2012 – 2018	Ingeniería y la Computación	279

<i>IoT + Agriculture + Sensor + Control</i>	2012 - 2018	Ingeniería y la Computación	110
---	-------------	-----------------------------	------------

Una vez recopilados los diferentes documentos, se surtió un proceso de filtrado y sistematización de su información, lo que permite estructurar el presente escrito.

3. Concepto de IoT y sus implicaciones

El término Internet de las Cosas o IoT por sus siglas en inglés fue empleado por primera vez por Kevin Ashton en 1999 en el contexto de la gestión de la cadena de suministro (K. Ashton, 2002), teniendo como objetivo principal la promoción de información de sentido computacional sin ayuda o intervención humana, recopilando información del ambiente e interactuando con el mundo físico (actuando, mandando y controlando).

IoT es considerado como la conexión en red de objetos físicos o dispositivos en una red abierta y llena de objetos inteligentes que tiene la capacidad de auto gestionarse, compartir información, datos y recursos, reaccionar y actuar frente a situaciones y cambios en el medio ambiente (Hegde, 2010). Se compone de seis elementos: objetos o cosas, contexto, ruta de comunicación, servicio, relaciones y temporalidad; de esta forma, IoT busca conectar algún lugar, comunicar alguna red, recolectar algún dato, servir a algún objeto, procesar alguna información, e integrar cosas (Kaur, 2016). Una definición centrada en la transmisión de datos muestra a IoT como una red que interconecta objetos físicos ordinarios con las direcciones identificables para proporcionar servicios inteligentes (Ma, 2011).

IoT genera información de sentido computacional sin ayuda o intervención humana y los sensores son el instrumento para tal fin, constituyendo el sistema nervioso central de ciudades y villas inteligentes, con redes interconectadas y el manejo de grandes volúmenes de información (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013).

Durante los últimos años se ha masificado el uso de la tecnología en aplicaciones centradas en la vida humana que mediante el uso del IoT se ha extendido a distintos ámbitos como; el hogar, el transporte, la comunidad y a nivel nacional en; monitoreo remoto, redes inteligentes, infraestructura y defensa (Gubbi et al., 2013). Una interesante abstracción es propuesta por el McKinsey Global Institute (Manyika et al., 2015), que permite evidenciar los contextos de aplicación IoT y sus implicaciones, centrándose en temas como: la interoperabilidad entre los sistemas IoT, el mejor aprovechamiento de los datos IoT recopilados que no se usan y los que se usan no se explotan completamente, la salud humana: los dispositivos que se pueden vestir, implantar, inyectar, ingerir y de medición de signos vitales no vestibles para administrar la salud humana y el mantenimiento predictivo: condiciones basadas en mantenimiento para automóviles y mantenimiento mejorado del equipo en lugares de trabajo, promueve condiciones más seguras de los lugares y los dispositivos.

Según (Manyika et al., 2015), se hace posible tasar el impacto económico de IoT por año antes de 2025 en la agricultura, que se enmarca en un uso dentro de las fábricas como "mejora del campo de la agricultura" con un valor aproximado de 1 trillón de dólares y hasta un 60% de reducción de pérdidas.

4. Arquitectura

Teniendo en cuenta la masificación de IoT, es importante considerar aspectos de diseño para establecer estandarizaciones de las arquitecturas para IoT (Sanchez et al., 2014), ellas son:

Experimentación realista con el fin de romper con el esquema clásico del laboratorio.

Escala para experimentar con el mundo real.

Heterogeneidad, ya que el futuro del IoT consiste en gran variedad de dispositivos integrados con otras plataformas de infraestructura y aprovisionamiento de servicios. Los dispositivos IoT son diversos, compuestos por nodos heterogéneos (sensores, actuadores, QR y *tags* NFC, y teléfonos móviles basados en plataforma de sensado).

Móvil, ya que los dispositivos deben interactuar con otros en escenarios de la vida real, además que deben ser transparentes para los usuarios.

Soporte al usuario y participación del usuario final, lo que es la búsqueda de la reducción de costos para llegar al usuario final y la habilitación de la segmentación de servicios y aplicaciones para ciudades inteligentes.

Confiabilidad, para garantizar un funcionamiento ligero e ininterrumpido.

A continuación se tiene la tabla 2 en donde se hace un resumen de las principales arquitecturas encontradas en los diferentes trabajos investigados.

Tabla 2
Principales arquitecturas en el paradigma IoT. Fuente: Propia.

Arquitectura	Descripción	Fuente
Cuatro capas	Capa de sensor, capa de concentrador y red, capa de administración de servicio y por último, capa de aplicación.	(Hegde, 2010) (Chen & Jin, 2012)
Cinco capas ITU	Capa de sensado, la capa de acceso, la capa de red, la capa de mediación y las capas de aplicación.	(Chen & Jin, 2012)
Alertas con Raspberry PI y Modem NBN.	Solución IoT basada en alerta de luz proyectada y sonido por medio de un tarjeta Raspberry Pi (Tarjeta de desarrollo), un modem NBN, una fuente de alimentación de la red y una batería de respaldo.	(Gill, Phennel, Lane, & Phung, 2016)
Tres capas	Capas para dispositivos, transmisión y lógica para el control, siendo tales capas: las redes de sensores inalámbricas, la red de transmisión y, el monitoreo de datos y central de análisis.	(Honghui et al., 2017)
ICN (<i>Information-Centric Networking</i>)	Tiene como componente clave el concentrador que actúa como un elemento de comunicación intermediario entre los clientes y los dispositivos IoT. Promueve comunicación a un dispositivo IoT en dos categorías: 1) información que es dinámicamente generada por la recepción de controles primitivos; 2) información	(Suarez et al., 2016)

	disponible en el dispositivo.	
IoT – Bigdata – Data Mining	Aplican dos técnicas llamadas <i>Canonical Polyadic Decomposition</i> (CPD) y <i>Tensor-Train Network</i> (TT) para optimizar el agrupamiento de datos en sistemas IoT, logrando una alta tasa de compresión para muestras heterogéneas y así el ahorro significativo de espacio de memoria, lo que hace posible el agrupamiento de grandes volúmenes de datos con dispositivos de gama baja.	(Zhang, Yang, Chen, & Li, 2017)
Tres capas común	Una capa de aplicación (agregar datos, guardarlos, analizarlos y monitorearlos), una capa de red (administración de red y procesamiento de datos) y la capa de percepción (redes de sensores y actuadores), se hace uso de esta arquitectura para promover una solución de recolección de datos, análisis y transmisión para el desarrollo de una base de seguridad y monitoreo de dispositivos para agricultura.	(Kodali, Soratkal, & Boppana, 2017), (Lin & Yu, 2013) y (Wu, Liu, Li, & Wang, 2014)
IoT Nube	Con técnicas de procesamiento y minería de datos, han tomado singular relevancia las plataformas en la nube como; software como un Servicio (<i>SaaS</i>), Plataforma como un Servicio (<i>PaaS</i>) e Infraestructura como un Servicio (<i>IaaS</i>) todas con siglas en inglés, que proporcionan herramientas para las diferentes aplicaciones IoT.	(Kataoka, Uchihira, & Ikawa, 2016)
IoT, WSN y Machine Learning	Usa una arquitectura de red inalámbrica WSN (<i>Wireless Sensor Network</i>) usando dispositivos Xbee que según (XBee.cl, 2018) “son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para interconexión y comunicación entre dispositivos utilizando el protocolo IEEE 802.15.4 y Zigbee”, entre tanto, en un servidor se analizan las entradas de datos con reglas pre establecidas para emitir alertas tempranas por medio de mensajes.	(Patil & Thorat, 2016)
Nodo de sensores	Se agrupan tipos de nodos como de lectura de gases (contaminantes de aire, CO ₂ , O ₂ y NO ₂) y de condiciones ambientales (temperatura, humedad y aceleración), los datos de los nodos son transmitidos por medio de ZigBee a una estación base para ser procesados y así crear un árbol de decisión y clasificaciones de los datos como traducciones para el usuario, el producto de este estudio es una matriz difusa para predecir condiciones basadas en el conocimiento del sistema.	(Edwards-Murphy, Magno, Whelan, O’Halloran, & Popovici, 2016)
EPC (<i>Electronic Product Code</i>)	Soporta radiofrecuencia y es una iniciativa para innovar y desarrollar estándares impulsados por la industria, algunos componentes desarrollados en ella incluyen: soporte extendido de datos estáticos, integración a datos dinámicos, compatibilidad con dispositivos que no son IP, integración de una interface de actuador, integración opcional de agentes de software y servicios de descubrimiento ampliados y federados.	(Uckelmann et al., 2011)

La formalización de las arquitecturas IoT pretende romper con los esquemas académicos o de pruebas en el que se venía desarrollando sus bases, teniendo en cuenta que IoT en este momento es transversal a las tecnologías y con ello a la vida humana. Según lo mencionado en la sección 3 de este artículo; “Concepto de IoT y sus Implicaciones”, se puede dimensionar el gran impacto a futuro, por lo que es importante estandarizar y modelar arquitecturas a escalas globales de información, teniendo en cuenta que la interconexión se realiza entre diferentes tipos de dispositivos para permitir dar una transparencia ante el usuario y poder gestionar la inmensa demanda actual y futura de datos provenientes de sistemas inteligentes. Describas las arquitecturas anteriormente se puede ver una tendencia hacia arquitecturas de 3 capas en donde se distinguen como; capa de dispositivos sensoriales inalámbricos, capa de transmisión inalámbrica y la capa de captura, pre procesamiento y almacenamiento de datos. Las arquitecturas en IoT también están tomando las últimas tendencias de software como SaaS, PaaS y IaaS para poder escalar todos los servicios y hacer más fácil su uso a usuarios finales.

5. Tecnología: redes y dispositivos usados en IoT.

Las redes en IoT por lo general son inalámbricas debido a la conveniencia de su despliegue, en donde las tecnologías usadas son 3G, 4G, Bluetooth y ZigBee (Kuo & Li, 2016) (Kodali et al., 2017). En (Sruthi & Rajkumar, 2016) se evidencia una medición de rangos y potencia para las tecnologías WiFi, Bluetooth y ZigBee, visualizados en la tabla 3, lo que permite inferir una cobertura suficiente para dar tratamiento a diversos casos de aplicación.

Tabla 3
Tecnologías inalámbricas que proveen conectividad entre objetos, adaptado de (Sruthi & Rajkumar, 2016)

Tecnología	Rango [metros]	Potencia
WiFi	50-100	Alta
Bluetooth	10	Baja
ZigBee	10-100	Muy baja

Para definir si una red de sensores WSN (National Instruments, 2016) debe estar completamente integrada con la Internet, se hace necesario conocer los tipos de enfoques de integraciones que pueden utilizarse (Alcaraz, Najera, Lopez, & Roman, 2010); estos enfoques son: a) basado en pila: en donde el nivel de integración depende de las similitudes entre sus pilas de red, un WSN puede ser completamente independiente de la Internet y ser capaz de intercambiar información con un concentrador o en inglés (*Gateway*) o compartir el protocolo TCP/IP, y b) basado en la topología: en donde el nivel de integración depende de la ubicación real de los nodos que proporcionan acceso a Internet, los cuales pueden ubicarse en el borde de la red del WSN o acceso a la Internet por medio de saltos

por los canales de un Access Point. Las posibilidades tecnológicas en IoT son variadas, tal como se evidencia en la tabla 4.

Actualmente el avance tecnológico se proyecta sobre diferentes aproximaciones para las redes de comunicación al servicio de IoT, como LPWA (*Low Power Wide Area*) (Sinha, Wei, & Hwang, 2017) que posee dos vertientes: NB-IoT (Narrow Band) y LoRa (*Long Range*). En trabajos como (Zulkifli & Noor, 2017) se emplean redes de sensores WMSN (*Wireless Sensor Mesh Network*) con la tecnología RFID y el protocolo Zigbee, de modo que la red de comunicaciones sea heterogénea (cableado existente y redes inalámbricas), adicionando módulos de sensores de bajo costo con baterías y redes inteligentes para el monitoreo y control aplicado a la agricultura, lo que da la base de infraestructura para sistemas automatizados.

WMSN tiene el potencial de mejorar la productividad y eficiencia, además de reducir los efectos no deseados en los procesos y el medio ambiente. En las redes de sensores WMSN predominan los dispositivos compatibles con Zigbee, que operan con topologías en estrella, malla y *cluster* o red en árbol, para las que se destacan las funciones de sensado de datos, coordinación de la comunicación y eventualmente el trazado de rutas.

En (Chen & Jin, 2012) se emplean sistemas de hardware libre para la obtención de los datos provenientes del sensado y su transmisión vía ZigBee. Los dispositivos ZigBee hacen que se facilite la implementación de la arquitectura del IoT, permitiendo el envío de los datos, para ser recolectados por concentradores, con el fin de ser transferidos a la nube y así garantizar su disposición en operaciones como monitoreo de sistemas, seguimiento de procesos o variables, procesamiento de datos o diseño de *Warehouse's* para aplicaciones de inteligencia de negocios.

Tabla 4
Principales esfuerzos de estandarización IoT,
adaptado de (Ludena & Ahrary, 2016).

Estándar	Objetivo	Rango Alcance (m)	Tasa de Trasmisión (Kbps)
ZigBee (Ergen, 2004)	Basado en el estándar IEEE 802.15, diseñado para ofrecer un bajo costo, baja tasa de trasmisión, larga duración de batería bajo una red fiable	10-100	~ 10 ²
GRIFS (European Commission, 2008)	Proyecto de acción de apoyo fundado por la UE para maximizar la interoperabilidad de la RFID	~ 1	~ 10 ²
EPCglobal (GS1, 2018)	Integración de la tecnología RFID en el marco del código electrónico de productos (EPC)	~ 1	~ 10 ²
6LoWPAN (Olsson, 2014)	Integración de dispositivos de baja potencia IEEE 802.15.4 en las redes IPv6	10-100	~ 10 ²
Wireless Hart (Song et al., 2008)	Desarrollado como un estándar inalámbrico interoperable de varios proveedores; WirelessHART fue definido para los requisitos de las redes de dispositivos de campo en la industria de procesos	10-100	~ 10 ²

En cuanto a los dispositivos usados en IoT, (Valdivieso Caraguay, Benito Peral, Barona López, & García Villalba, 2014) se prevé una evolución del paradigma con el desarrollo de dispositivos que por sí solos almacenen, procesen y envíen la información dentro de una red, que son compuestos principalmente por sensores y actuadores "RFID, Bluetooth *Devices*, Wireless Sensor Networks (WSN), *Embedded System*, and *Near Field Communication* (NFC)".

En la siguiente tabla se pueden observar algunos dispositivos usados en diferentes trabajos:

Tabla 5
Principales dispositivos usados en IoT. Fuente: Propia.

Dispositivo(s)	Descripción	Uso	Referencia
Concentrador, Rapsberry PI.	Concentrador auto configurable para IoT	Ambientes del hogar	(Kang & Choo, 2017)
Sensores, Arduino.	Empleó de WSN para diseñar una red de sensores	Nodos de lectura de gases, O2 y CO, y densidad de polvo	(Fuertes et al., 2016)
Redes WSN, Sensores, Arduino UNO.	Semillero basado en IoT	Medición de variables de temperatura de ambiente y del aire, humedad del aire y del suelo y humedad del suelo.	(Kalathas, Bandekas, Kosmidis, & Kanakaris, 2016)
Redes WSN, Sensores, Rapsberry PI B+	Ambiente IoT para monitoreo	Monitoreo de la calidad del agua	(Science & Studies, 2016)
Concentrador, Sensores, Rapsberry PI 1 Model B+	Control de la red de nodos de sensores de temperatura, humedad e iluminación	Monitorear y controlar las condiciones ambientales para mejorar el crecimiento de las hojas de las plantas en un invernadero	(Liao et al., 2017)
Rapsberry Pi 2 modelo B, cámara y lector de huella.	Nodo remoto de enrolamiento	Enrolamiento con una aplicación de captura por medio de imágenes para la cara y la huella	(D. Shah & Haradi, 2016)

PIC24F16KA102, sensores.	Fabricación propia de tarjetas electrónicas o interfaces	Plataforma de sensado de edificios inteligentes	(J. Shah & Mishra, 2016)
Sensores en tierra y bajo tierra	Uso de sensores TWSN (<i>Terrestrial Wireless Sensor Networks</i>) y WUSN (<i>Wireless Underground Sensor Networks</i>)	Redes inalámbricas para agricultura con nodos de sensores	(T Ojha, Misra, & Raghuwanshi, 2015)

La diversidad de IoT promueve comunicaciones con esquemas orientados y no orientados a la conexión, de forma que para la comunicación M2M máquina a máquina o en inglés (*Machine to Machine*), la acción de transferencia se basa en mensajes (Bangera, Chauhan, Godambe, & Mishra, 2016). Las tecnologías que habilitan la comunicación M2M en (Distefano, Merlino, & Puliafito, 2015) proponen un paradigma útil para el sensado con datos hacia la nube con M2M "...de acuerdo con una aproximación RESTful (Haupt, Leymann, & Pautasso, 2015) centralizada, donde las aplicaciones pueden definir recursos que pueden utilizarse para intercambiar información entre aplicaciones", adicionalmente se habilita una tecnología SWE (*Sensor Web Enablement*), que los autores definen como "Conjunto de estándares para lograr la abstracción y la interoperabilidad en redes de sensores, ampliamente utilizado en la implementación de la detección de servicios Web, así como para abordar los problemas de abstracción en las redes de sensores virtuales". Las implementaciones tecnológicas con M2M permiten de una forma natural integrarse a plataformas de procesamiento de Bigdata como se explica en (Ray, 2017); un ejemplo de lo anterior se evidencia en (Suciu, Vulpe, Fratu, & Suciu, 2015) en donde se usan varios sensores para el uso de sistemas Cloud IoT y procesamiento de Bigdata para la predicción de enfermedades y alertas tempranas para la viticultura, así como en (González-Amarillo, Cárdenas-García, & Mendoza-Moreno, 2018) donde se da tratamiento a un esquema M2M para determinar los consumos personalizados y optimizados de agua en unidades sanitarias de uso doméstico.

Por lo anterior, es destacable distinguir tres tipos de dispositivos que se pueden clasificar dentro de la arquitectura más característica en IoT que es la de tres capas:

- La capa de sensado se puede distinguir sensores capaces de captar las distintas variables físicas y traducirlas a datos como por ejemplo; TMP100 para temperatura ambiente, DHT para temperatura y humedad de aire, SHT10 para temperatura y humedad del suelo, y otros dispositivos como tags RFID.
- La capa de red inalámbrica dentro de la que se destacan tecnologías como WSN (Wireless Sensor Network), Bluetooth, WiFi, ZigBee, NFC (*Near Field Communication*), infrarojos y algunas otras emergentes como; Wireless Hart (Industria de Procesos), LPWA (*Low Power Wide Area*), NB-IoT (Banda estrecha), LoRa (Largo alcance) y WMSN (*Wireless Sensor Mesh Network*).
- La capa de procesamiento de datos tiene algunas tecnologías destacadas como; Raspberry PI (Ordenador de Placa Reducida), Arduino (Plataforma de Hardware Libre) y Microcontroladores. Cabe resaltar que con la integración de estas tecnologías también se han creado nuevos protocolos de mensajerías como son MQTT especial para habilitar la comunicación M2M.

6. IoT en la agricultura

El uso de IoT en la agricultura se describe en (Berlanga & García-Peñalvo, 2010) como una tecnología destinada a organizar la gran variedad de sensores para formar redes, a través de los cuales se puede recolectar información de tierras aptas para la agricultura y análisis en tiempo real de los resultados transmitidos a los agricultores para que puedan tomar las decisiones más adecuadas. Algunos desafíos de aplicar IoT en la agricultura son (T Ojha et al., 2015): bajo mantenimiento, escalabilidad, soluciones requeridas con bajo costo, explotación de tierras pequeñas e irregulares, fácil operación y tolerancia a fallos.

A nivel tecnológico, la aplicación de IoT en agricultura encuentra un gran aliado por parte de la computación en la nube para el tratamiento de datos en los siguientes usos descritos en (Kiran R. Badua, 2015): uso eficiente de los insumos como fertilizantes y pesticidas, reducción de costos, control de ganado, agricultura de interiores, invernaderos y establos, piscicultura, monitoreo del almacenamiento en tanques de agua, tanques de combustible, silos, asignación de recursos a demanda sin límite, mantenimiento y actualizaciones realizadas en *Back-end*, fácil y rápido desarrollo incluyendo la colaboración con otros sistemas en la nube. Algunas ventajas del uso de IoT con redes WSN en agricultura (Tamoghna Ojha, Misra, & Raghuwanshi, 2017): alta escalabilidad, bajo costo, largo tiempo de vida, sistemas reconfigurables, tolerancia a fallos, seguridad de información, gestión de tierras de cultivo, calidad de servicio (QoS) y administración dinámica.

En la siguiente tabla se listan algunos trabajos encontrados dentro del paradigma IoT con respecto a la agricultura:

Tabla 6
Principales dispositivos usados en IoT. Fuente: Propia.

Nombre del trabajo	Descripción	Referencia
Seedbed based on IoT: A case study	Sensado y adquisición de los datos de las variables de temperatura y humedad tanto de aire como del suelo, para aplicar un control automático, manteniendo un punto de equilibrio adecuado para el desarrollo de las semillas de tomate en una plataforma que permite simular las condiciones ideales del cultivo. Uso de hardware libre que reduce el costo de implementación.	(Kalathas et al., 2016)
IoT Sensor Network Based Approach for Agricultural Field Monitoring and Control	Red de sensores basada en un marco de trabajo IoT para el monitoreo y control en el campo de la agricultura. Uso de tecnologías <i>Thinkspeak</i> (Plataforma IoT para recoger y almacenar datos de sensores en la nube), con uso de protocolo MQTT.	(Jaishetty & Patil, 2016)
A Private IoT Cloud Platform for Precision Agriculture and Ecological Monitoring	Diseño e implementación de una plataforma IoT <i>Cloud</i> privada para la agricultura de precisión y el monitoreo ecológico, se usa agricultura de precisión enfocándose en el monitoreo remoto e IoT.	(Bajceta, Sekulić, Krstajic, Đukanović, & Popovic, 2016)
Smart Agriculture Monitoring and Data Acquisition System	Diseño inteligente para el monitoreo y adquisición de datos en agricultura que usa hardware libre. Realizan una implementación de nodos de comunicación que son compuestos por sensores de iluminación, temperatura y humedad tanto en el aire como en el suelo; usa Raspberry PI que tiene su propio módulo WiFi para la recepción de los	(Vyas et al., 2016)

	datos provenientes de los nodos ZigBee.	
An IoT Framework for Smart Irrigation	Administración remota de un sistema inteligente de riego para cultivos, usando hardware libre, describe el uso de nodos de adquisición y transmisión de datos, mediante nodos nombrados como "Nodos IoT", uso de API's para exportar información, visualización y análisis en tiempo real.	(Harti, Rachh, & Patil, 2016)
Field Monitoring and Automation Using IOT in Agriculture Domain	Sistema IoT para realizar monitoreo y automatización con redes de comunicación WiFi y en la nube, teniendo en cuenta variables como humedad, temperatura y luz, propone soluciones de transmisión de datos con tecnologías MQTT y Thinkspeak.	(Mohanraj, Ashokumar, & Naren, 2016)
B+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring	Almacenamiento en la nube es importante, por lo cual en trabajos como se plantean soluciones para aplicaciones en el agro, en el primer caso a nivel de estaciones locales de sensores y un dispositivo final, que transmiten a una estación base y desde allí, por medio de protocolos de comunicación 3G o GSM a la nube.	(Edwards-Murphy et al., 2016)
Sensing-cloud: Leveraging the benefits for agricultural applications	Para el segundo caso para estaciones locales basadas en nodos concentradores WSN que recogen los datos de los sensores.	(Tamoghna Ojha et al., 2017)
Adapting an industrial automation protocol to remote monitoring of mobile agricultural machinery : a combine harvester with IoT	Sistemas de telemetría para la adaptación de un protocolo de automatización industrial para el monitoreo remoto de maquinaria agrícola móvil, fundamentalmente una cosechadora con IoT.	(Oksanen, Linkolehto, & Seilonen, 2016)
Adapting an industrial automation protocol to remote monitoring of mobile agricultural machinery : a combine harvester with IoT	Procesos de automatización a sistemas de apoyo agrícola con un estudio de caso para un servicio de asesoramiento de enfermedades en cultivos.	(Sarangi, Umadikar, & Kar, 2016)
A novel cloud computing based smart farming system for early detection of borer insects in tomatoes	Arquitectura IoT aplicada en el cultivo de tomate se puede observar en un método de detección y eliminación de insectos, basado en procesamiento de imágenes y un robot que se usa como sensor y actuador.	(Rupanagudi, Ranjani, Nagaraj, Bhat, & Thippeswamy, 2015)
Vegetable Intelligent Monitoring System Database Design Based on the Internet of Things	Base de datos relacional, basándose en la arquitectura IoT para el monitoreo de cultivos de vegetales.	(Lin & Yu, 2013)

Dada la importancia del suministro de alimentos para el mundo, se requieren soluciones tecnológicas que impacten positivamente la producción (Alcantara, 2009). Como se puede observar en el estado de arte, IoT es una forma de extender la tecnología a cualquier parte de la vida y se han desarrollado soluciones para mejorar los procesos productivos de alimentos, controlando plagas, controlando las condiciones ambientales, monitoreando los cultivos para generar alertas y crear soluciones completas que integran la tecnología al agro.

7. Discusión

Las arquitecturas IoT presentan como ventaja significativa la facilidad de integración tecnológica gracias a la diversidad de dispositivos que se pueden usar como; sensores, transmisores, actuadores, placas computacionales de código abierto, concentradores entre muchos otros. Por otro lado tecnologías MQTT y Thinkspeak facilitan los protocolos de comunicación y de implementación a los usuarios haciendo IoT cada vez más transparente.

Tal como la investigación documental lo ha develado, la agricultura es un campo de aplicación extremadamente susceptible a la aplicación de sistemas basados en el paradigma IoT, su diversidad y complejidad radican en la cantidad de variables incidentes, la granularidad del rango de aplicación tecnológica para cada cultivo, las características particulares de cada planta, las técnicas del proceso de plantación, cultivo y cosecha, el soporte a procesos de embalaje y transporte, y desde luego, la disposición de los alimentos hacia el usuario final. En todo ello, diversas aproximaciones investigativas han dado cuenta de la incursión de sendos sistemas IoT, con dispositivos específicos y variados esquemas de implementación tecnológica; todo ello se convierte en combustible para promover la dinámica investigativa para nuevas y mejores aplicaciones sobre este amplio campo.

Referencias bibliográficas

Alcantara, M. (2009). Importancia De Las Tic Para La Educación. *Revista Digital Innovación y Experiencias Educativas*, 15, 1–20.

Alcaraz, C., Najera, P., Lopez, J., & Roman, R. (2010). Wireless Sensor Networks and the Internet of Things: Do We Need a Complete Integration?

Bajceta, M., Sekulić, P., Krstajic, B., Đukanović, S., & Popovic, T. (2016). A Private IoT Cloud Platform for Precision Agriculture and Ecological Monitoring. *3th IcETRAN*, (June). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/303940620_A_Private_IoT_Cloud_Platform_for_Precision_Agriculture_and_Ecological_Monitoring

Bangera, T., Chauhan, A., Godambe, R., & Mishra, M. (2016). IOT Based Smart Village, *32(6)*, 301–305.

Berlanga, A. J., & García-Peñalvo, F. J. (2010). Proceedings of the 5th International Conference on ELearning, 502.

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-48768-6>

- Chen, X.-Y., & Jin, Z.-G. (2012). Research on Key Technology and Applications for Internet of Things. *Physics Procedia*, 33, 561–566. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.05.104>
- Distefano, S., Merlino, G., & Puliafito, A. (2015). A utility paradigm for IoT: The sensing Cloud. *Pervasive and Mobile Computing*, 20, 127–144. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.09.006>
- Edwards-Murphy, F., Magno, M., Whelan, P. M., O'Halloran, J., & Popovici, E. M. (2016). B+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.008>
- Fuertes, W., Carrera, D., Villacis, C., Toulkeridis, T., Galarraga, F., Torres, E., & Aules, H. (2016). Distributed system as internet of things for a new low-cost, air pollution wireless monitoring on real time. In *Proceedings - 2015 IEEE/ACM 19th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, DS-RT 2015* (pp. 58–67). <https://doi.org/10.1109/DS-RT.2015.28>
- Gill, A. Q., Phennel, N., Lane, D., & Phung, V. L. (2016). IoT-enabled emergency information supply chain architecture for elderly people: The Australian context. *Information Systems*, 58, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.is.2016.02.004>
- González-Amarillo, C., Cárdenas-García, C., & Mendoza-Moreno, M. (2018). M2M system for efficient water consumption in sanitary services, based on intelligent environment. *DYNA*, 85, 311–318. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v85n204.68264>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Harti, U., Rachh, R., & Patil, N. S. (2016). An IoT Framework for Smart Irrigation, 36–40.
- Haupt, F., Leymann, F., & Pautasso, C. (2015). A Conversation Based Approach for Modeling REST APIs. *Proceedings - 12th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture, WICSA 2015*, 165–174. <https://doi.org/10.1109/WICSA.2015.20>
- Hegde, S. G. (2010). Study of IoT: Understanding IoT Architecture , Applications , Issues and Challenges, 477–482.
- Honghui, W., Xianguo, T., Yan, L., Qi, L., Donglin, N., Lingyu, M., & Jiabin, Y. (2017). Research of the Hardware Architecture of the Geohazards Monitoring and Early Warning System Based on the Iot. *Procedia Computer Science*, 107(Icict), 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.03.065>
- Jaishetty, S. A., & Patil, R. (2016). Iot Sensor Network Based Approach for Agricultural Field Monitoring and Control, 2319–2322.
- K. Ashton. (2002). That "Internet of Things" Things. *RFID Journal*, 4986.
- Kalathas, J., Bandekas, D. V, Kosmidis, A., & Kanakaris, V. (2016). Seedbed based on IoT: A case study. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 9(2), 1–6. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84976906512&partnerID=40&md5=2901bf5040d6e05cacf69f7e2d2fcb0c>
- Kang, B., & Choo, H. (2017). An experimental study of a reliable IoT gateway. *ICT Express*. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.04.002>
- Kataoka, R., Uchihira, N., & Ikawa, Y. (2016). The evolutionary process of IT concept words: A case study on bigdata. In *2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)* (pp. 1983–1992). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2016.7806717>
- Kaur, K. (2016). The idea of Smart villages based on Internet of Things (IoT), 165–168.
- Kiran R. Badua, D. C. N. P. (2015). Internet of Things (Iot) and Cloud Computing for Agriculture in India. *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, 2(12), 27–30.
- Kodali, R. K., Soratkal, S., & Boppana, L. (2017). IOT based control of Appliances. *Proceeding - IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2016*. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2016.7813918>
- Kuo, Y., & Li, C. (2016). Design of long range low power sensor node for the last mile of IoT, 15–16. <https://doi.org/10.1109/ICCE-TW.2016.7520961>
- Liao, M., Chen, S., Chou, C., Chen, H., Yeh, S., Chang, Y., & Jiang, J. (2017). On precisely relating the growth of Phalaenopsis leaves to greenhouse environmental factors by using an IoT-based monitoring system, 136, 125–139.
- Lin, N., & Yu, H. L. (2013). Vegetable Intelligent Monitoring System Database Design Based on the Internet of Things. *Advanced Materials Research*, 655–657, 1423–1426. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.655-657.1423>
- Ludena, R. D. A., & Ahrary, A. (2016). New Approaches in Intelligent Image Analysis, 108. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32192-9>
- Ma, H. (2011). Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges, 26, 919–924. <https://doi.org/10.1007/s11390-011-1189-5>
- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype. *McKinsey Global Institute*, (June), 144. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05029-4_7
- Mohanraj, I., Ashokumar, K., & Naren, J. (2016). Field Monitoring and Automation Using IOT in Agriculture Domain. *Procedia Computer Science*, 93(September), 931–939. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.275>
- National Instruments. (2016). What Is a Wireless Sensor Network? Retrieved April 10, 2018, from <http://www.ni.com/white-paper/7142/en/>
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66–84. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2017). Sensing-cloud: Leveraging the benefits for agricultural applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135, 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.026>
- Oksanen, T., Linkolehto, R., & Seilonen, I. (2016). Adapting an industrial automation protocol to remote monitoring of mobile agricultural machinery: a combine harvester with IoT.
- Patil, S. S., & Thorat, S. A. (2016). Early detection of grapes diseases using machine learning and IoT. In *Proceedings - 2016 2nd International Conference on Cognitive Computing and Information Processing, CCIP 2016*. <https://doi.org/10.1109/CCIP.2016.7802887>
- Ray, P. P. (2017). A Survey of IoT Cloud Platforms. *Future Computing and Informatics Journal*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.02.001>
- Rupanagudi, S. R., Ranjani, B. S., Nagaraj, P., Bhat, V. G., & Thippeswamy, G. (2015). A novel cloud computing based smart farming system for early detection of borer insects in tomatoes. *Proceedings - 2015 International Conference on Communication, Information and Computing Technology, ICCICT 2015*. <https://doi.org/10.1109/ICCICT.2015.7045722>
- Sanchez, L., Muñoz, L., Galache, J. A., Sotres, P., Santana, J. R., Gutierrez, V., ... Pfisterer, D. (2014). SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed. *Computer Networks*, 61, 217–238. <https://doi.org/10.1016/j.bjnp.2013.12.020>
- Saranghi, S., Umadikar, J., & Kar, S. (2016). Automation of Agriculture Support Systems using Wisekar: Case study of a crop-disease advisory service. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.009>
- Science, C., & Studies, M. (2016). Design of Low Cost System for Real Time Monitoring of Water Quality Parameters in IOT Environment, 4(5), 12–15.
- Shah, D., & Haradi, V. (2016). IoT Based Biometrics Implementation on Raspberry Pi. *Procedia Computer Science*, 79, 328–336.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.043>

Shah, J., & Mishra, B. (2016). Customized IoT Enabled Wireless Sensing and Monitoring Platform for Smart Buildings. *Procedia Technology*, 23, 256–263. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.025>

Sinha, R. S., Wei, Y., & Hwang, S.-H. (2017). A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.03.004>

Sruthi, M., & Rajkumar, R. (2016). A study on development issues over IOT platforms , protocols and operating system. *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 4–7.

Suarez, J., Quevedo, J., Vidal, I., Corujo, D., Garcia-Reinoso, J., & Aguiar, R. L. (2016). A secure IoT management architecture based on Information-Centric Networking. *Journal of Network and Computer Applications*, 63, 190–204. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.01.016>

Suciu, G., Vulpe, A., Fratu, O., & Suciu, V. (2015). M2M remote telemetry and cloud IoT big data processing in viticulture. *IWCMC 2015 - 11th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, 1117–1121. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2015.7289239>

Uckelmann, D., Harrison, M., & Michahelles, F. (2011). *Architecting the Internet of Things* (1st ed.). Springer Publishing Company, Incorporated.

Valdivieso Caraguay, Á. L., Benito Peral, A., Barona López, L. I., & García Villalba, L. J. (2014). SDN: Evolution and opportunities in the development IoT applications. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/735142>

Vyas, D., Borole, A., Singh, S., Vlsi, M. E., System, E., & Pg-cdac, G. T. U. (2016). Smart Agriculture Monitoring and Data Acquisition System, 1823–1826.

Wu, G. H., Liu, F., Li, J. X., & Wang, W. (2014). Environmental Monitoring System Designing: A Internet of Things Approach. *Applied Mechanics and Materials*, 644–650, 3342–3345. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.644-650.3342>

Zhang, Q., Yang, L. T., Chen, Z., & Li, P. (2017). High-order Possibilistic c-Means Algorithms Based on Tensor Decompositions for Big Data in IoT. *Information Fusion*, 39, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.04.002>

Zulkifli, C. Z., & Noor, N. N. (2017). Wireless sensor network and internet of things (IoT) solution in agriculture. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 25(1).

1. Investigador del Grupo TelemaTICs, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ingeniero Electrónico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia. manuelricardo.perez@uptc.edu.co

2. Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Doctorado en Ciencias de la Electrónica, Universidad del Cauca, Popayán. Ingeniero de Sistemas y Computación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. miguel.mendoza@uptc.edu.co

3. Docente de la Facultad Seccional Sogamoso, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Universidad Autónoma Popular del Estado de Puebla, Puebla, México. Ingeniero de Sistemas, Universidad de Boyacá, Tunja, Colombia. marco.suarez@uptc.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 40 (Nº 18) Año 2019

[\[Índice\]](#)

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]