

ANÁLISIS DE DATOS AGROPECUARIOS

IVÁN RAMÍREZ-MORALES / BERTHA MAZON-OLIVO



Análisis de Datos Agropecuarios

Iván Ramírez-Morales
Bertha Mazon-Olivo

Coordinadores



Primera edición en español, 2018

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa editorial de la UTMACH

Ediciones UTMACH

Gestión de proyectos editoriales universitarios

302 pag; 22X19cm - (Colección REDES 2017)

Título: Análisis de Datos Agropecuarios. / Iván Ramírez-Morales
/ Bertha Mazon-Olivo (Coordinadores)

ISBN: 978-9942-24-120-7

Publicación digital

Título del libro: Análisis de Datos Agropecuarios.

ISBN: 978-9942-24-120-7

Comentarios y sugerencias: editorial@utmachala.edu.ec

Diseño de portada: MZ Diseño Editorial

Diagramación: MZ Diseño Editorial

Diseño y comunicación digital: Jorge Maza Córdova, Ms.

© Editorial UTMACH, 2018

© Iván Ramírez / Bertha Mazón, por la coordinación

D.R. © UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA, 2018

Km. 5 1/2 Vía Machala Pasaje

www.utmachala.edu.ec

Machala - Ecuador

Advertencia: “Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, existente o por existir, sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos correspondientes”.



César Quezada Abad, Ph.D
Rector

Amarilis Borja Herrera, Ph.D
Vicerrectora Académica

Jhonny Pérez Rodríguez, Ph.D
Vicerrector Administrativo

COORDINACIÓN EDITORIAL

Tomás Fontaines-Ruiz, Ph.D
Director de investigación

Karina Lozano Zambrano, Ing.
Jefe Editor

Elida Rivero Rodríguez, Ph.D
Roberto Aguirre Fernández, Ph.D
Eduardo Tusa Jumbo, Msc.
Irán Rodríguez Delgado, Ms.
Sandy Soto Armijos, M.Sc.
Raquel Tinóco Egas, Msc.
Gissela León García, Mgs.
Sixto Chilinguina Villacis, Mgs.

Consejo Editorial

Jorge Maza Córdova, Ms.
Fernanda Tusa Jumbo, Ph.D
Karla Ibañez Bustos, Ing.

Comisión de apoyo editorial

Índice

Capítulo I

Ciencia de datos en el sector agropecuario 12
Iván Ramírez-Morales; Bertha Mazon-Olivo ;Alberto Pan

Capítulo II

Obtención de datos en sistemas agropecuarios 45
Salomón Barrezueta Unda; Diego Villaseñor Ortiz

Capítulo III

Internet de las cosas (IoT) 72
Dixys Hernández Rojas; Bertha Mazon-Olivo; Carlos Escudero

Capítulo IV

Matemáticas aplicadas al sector agropecuario 101
Bladimir Serrano; Carlos Loor; Eduardo Tusa

Capítulo V

Estadística básica con datos agropecuarios 127

Irán Rodríguez Delgado; Bill Serrano; Diego Villaseñor Ortiz

Capítulo VI

Estadística predictiva con datos agropecuarios 218

Bill Serrano; Irán Rodríguez Delgado

Capítulo VII

Inteligencia de negocios en el sector agropecuario 246

Bertha Mazon-Olivo; Alberto Pan; Raquel Tinoco-Egas

Capítulo VIII

Inteligencia Artificial aplicada a datos agropecuarios 278

Iván Ramírez-Morales; Eduardo Tusa; Daniel Rivero

Introducción

El análisis de datos es un proceso complejo que trata de encontrar patrones útiles y relaciones entre los datos a fin de obtener información sobre un problema específico y de esta manera tomar decisiones acertadas para su solución.

Las técnicas de análisis de datos que son exploradas en el presente libro son actualmente utilizadas en diversos sectores de la economía. En un inicio, fueron empleadas por las grandes empresas a fin de incrementar sus rendimientos financieros.

El libro se basa en la aplicación de la especialización inteligente, de este modo, gracias al trabajo colaborativo, se combina al sector agropecuario con las tecnologías, matemáticas, estadística y las ciencias computacionales, para la optimización de los procesos productivos.

La idea de descubrir la información oculta en las relaciones entre los datos, incentiva a encontrar aplicaciones para el sector agropecuario, por ejemplo los obtenidos de una producción avícola, o los datos que se generan durante los procesos de fermentación, los parámetros físicos y químicos del suelo, del agua y de las plantas, los datos de sensores, de espectrometría, entre otros.

En la actualidad, este sector se ha mantenido con su producción habitual sin un destacado repunte ni diferenciación, a pesar de existir herramientas científicas que han permitido desarrollar dispositivos tecnológicos y sus aplicaciones.

Este libro ha sido el resultado de la sistematización de las experiencias individuales de un equipo humano con objetivos comunes y una historia académica multidisciplinar, cuyos hallazgos de investigación han sido publicados en revistas científicas y conferencias de alto impacto. El área temática sobre la que se centra este texto es en técnicas de extracción, procesamiento y análisis de datos del ámbito agropecuario, se combinan para entregar al lector una obra de calidad y alto valor científico.

Así, el presente libro está concebido desde diferentes puntos de vista de profesionales agrónomos, informáticos, electrónicos, matemáticos, estadísticos y empresarios. Todos buscan un objetivo en común: “descubrir el conocimiento oculto en los datos que proporcione una ventaja competitiva”. Se aborda el ciclo completo del proceso de obtención de conocimiento a partir de datos crudos del sector agropecuario, con la finalidad de apoyar la toma de decisiones. Este ciclo involucra procesos de: selección de los datos (extracción, comunicación, almacenamiento), pre-procesamiento, transformación, aplicación de modelos y/o técnicas de análisis, presentación e interpretación de resultados. El enfoque temático del libro es el siguiente:

Capítulo 1: Ciencia de Datos en el sector Agropecuario.- En este capítulo se aborda una revisión desde los inicios del análisis de datos en el sector agropecuario hasta el progreso actual que se ha dado en esta área del conocimiento que se considera como la nueva revolución en la agricultura y la ganadería de precisión.

Capítulo 2: Obtención de datos en sistemas agropecuarios.- El enfoque del capítulo es la generación de datos crudos en los sistemas agropecuarios, aplicando métodos y técnicas básicas donde se registran información de: número de unidades producidas, cantidad de nutrientes, variables climáticas, muestreo y monitoreo de organismos vivos, entre otros.

Capítulo 3: Internet de las cosas (IoT).- Este capítulo aborda los sistemas de telemetría para obtención de datos y control de dispositivos, aplicando tecnologías como: redes de sensores inalámbricos (dispositivos electrónicos, sensores, actuadores y puertas de enlace), protocolos de comunicación, centros de procesamiento de datos (cloud computing) y aplicaciones IoT para el sector agropecuario.

Capítulo 4: Matemáticas aplicadas al sector agropecuario.- Este capítulo explica los procedimientos para la creación de modelos matemáticos determinísticos que representen procesos asociados al sector agropecuario, como una alternativa de solución en la ingeniería.

Capítulo 5: Estadística básica con datos agropecuarios.- El capítulo se enfoca en los atributos, escalas de medición de las variables, su influencia en la elección del procedimiento estadístico a desarrollar, así como, el papel de las medidas de resumen, estimación puntual y prueba de hipótesis en la investigación científica.

Capítulo 6: Estadística predictiva con datos agropecuarios.- El capítulo considera las principales técnicas de la estadística avanzada aplicada al sector agropecuario, con el propósito de establecer predicciones que permita tomar mejores decisiones.

Capítulo 7: Inteligencia de negocios en el sector agropecuario.- El capítulo comprende la obtención de conocimiento a partir de datos crudos con la finalidad de apoyar la toma de decisiones en empresas del sector agropecuario. Involucra procesos de extracción, transformación y almacenamiento de datos en nuevos almacenes (Data warehouse - Big Data), distribución y análisis de la información con técnicas: multi-dimensional OLAP y tableros de control (dashboards).

Capítulo 8: Inteligencia Artificial aplicada a datos agropecuarios.- El capítulo trata sobre las principales técnicas de machine learning aplicadas a los datos agropecuarios, entre éstas se destacan: las redes de neuronas artificiales, máquinas de soporte de vectores, vecinos más cercanos, análisis de componentes principales, entre otros.

03 Capítulo Internet de las cosas (IoT)

Dixys Hernández Rojas; Bertha Mazon-Olivo;
Carlos Escudero

El Internet de las Cosas (IoT) constituye un avance importante para la sociedad. Millones de usuarios, hombres y máquinas, participan a nivel mundial activamente en Internet tanto en su vida laboral como en la social y gracias a las tecnologías inalámbricas disponibles, han ampliado sus posibilidades de interacción en la red en cualquier lugar y momento. Por tanto, la tecnología sirve como herramienta de colaboración y toma de decisiones en un mundo en el que converge lo físico con lo digital.

Dixys Hernández Rojas: Ingeniero Electrónico y Máster en Electrónica por la U. Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. Docente e Investigador en algunas universidades de Cuba y Ecuador, Director / Ingeniero de proyectos en Grupo Artech en México y en Goliath Consulting LLC, Irvine, USA. Actualmente es Profesor Titular y Director del Grupo de Investigación AutoMathTIC de la UTMACH. Sus intereses de investigación son IoT, WSN y desarrollo de Sistemas Embebidos. Cursó su doctorado en Universidade da Coruña, España. Cuenta con varias publicaciones.

Bertha Mazon-Olivo: Ingeniera en Sistemas y Magíster en Informática Aplicada por la Escuela Politécnica de Chimborazo. Profesora Titular en la Universidad Técnica de Machala. Es estudiante del programa doctoral en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Universidade da Coruña, España. Sus líneas de investigación son: Internet de las Cosas, Ciencia de Datos y Desarrollo de Aplicaciones Informáticas. Cuenta con varias publicaciones indexadas.

Carlos Escudero: Máster de la Universidad de Vigo, España en 1991 y el Doctorado en Informática de la Universidad de La Coruña en 1998. Obtuvo dos becas para ser investigador antes y después de su doctorado en la Universidad Estatal de Ohio (1996 y 1998), durante 6 y 3 meses, respectivamente. Actualmente es Profesor Asociado (desde 2000) y Vicedecano del Gobierno de la Facultad de Informática de la Universidade da Coruña.

El IoT implica un escenario donde las “cosas”, típicamente dispositivos electrónicos inteligentes con sensores y actuadores distribuidos geográficamente, se encuentran identificados y conectados a Internet, que permiten el control y monitoreo remoto de situaciones críticas de un dominio de aplicación, incluso sin la interacción humana. Sin embargo, para poder detectar dichas situaciones es necesario comunicar, almacenar, analizar y procesar eficientemente la gran cantidad de información generada cada día. Una aplicación importante de IoT es la Agricultura Inteligente (Smart Agriculture) y se define como el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones en la gestión localizada de cultivos o parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo, para aplicar el tratamiento adecuado en el momento justo.

Este capítulo tiene el propósito de acercar al lector hasta el punto de recolección de datos agropecuarios provenientes principalmente de sensores, presentes hoy en día en sistemas IoT. El mismo tiene un nivel básico e introductorio donde se abordan los fundamentos de IoT de forma global, evolución y definiciones ya establecidas por la comunidad científica y de forma específica el IoT en Agricultura de precisión. También serán tratadas las tecnologías más usadas y disponibles actualmente en este dominio de aplicación de la AGP, para continuar con los aspectos teóricos y prácticos involucrados en IoT para AGP y terminar con un recorrido por las arquitecturas y plataformas IoT actuales.

Historia del internet de las cosas

El término Internet de las cosas es una extensión del ya conocido Internet, del cual hoy en día todos somos usuarios permanentes y lo conocemos como la gran autopista de la información, donde podemos encontrar prácticamente cualquier información que necesitamos gracias a la interconexión de millones de computadoras, bases de datos y usuarios alrededor de todo el mundo. Pero, ¿cuál fue su origen? ¿A quién le debemos este nombre?

Podríamos decir que la evolución del Internet que conocemos hoy en día comenzó en la década de los 70 a los 80, donde se crearon los primeros protocolos de comunicaciones que son la base de nuestro internet, por las principales universidades de Estado Unidos, como el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Universidad de California, Los Ángeles UCLA), que convirtieron en los 90 a la red militar y académica ARPANET en el Internet actual.

Pero mucho antes, Nikola Tesla (1926) y Alan Turing (1950) anticiparon la conectividad global, la miniaturización tecnológica y la necesidad de inteligencia en sensores y equipos de comunicación, incluso en 1874 científicos franceses lograron transmitir información meteorológica desde la cima del monte Mont Blanc hasta París, constituyendo los primeros experimentos de telemetría hasta ahora registrados.

Continuando con la historia, con la aparición del internet la década de los 90 tuvo una gran actividad de desarrollo tecnológico creando cada vez más aplicaciones pensadas para internet. Fue así que en 1990 John Romkey, en el evento Interop, mostró al mundo el primer objeto (thing) conectado a Internet, una tostadora que podía ser encendida o apagada remotamente.

Luego en 1999 fue creado el centro Auto-ID dentro del MIT, por sus fundadores Sanjay Sarma, David Brock y Kevin Ashton, que lograron enlazar en Internet objetos a través de tarjetas RFID . Pero no fue hasta que el director ejecutivo de Auto-ID, Kevin Ashton en este mismo año y luego David L. Brock en el 2001, que acuñaron el término Internet de las Cosas en la historia del Internet.

Definición de IoT

El concepto del Internet de las Cosas ha tenido múltiples definiciones desde 1999 hasta nuestros días, refiriéndose en sus inicios a solo cosas identificables vía RFID exclusivamente, añadiéndoles inteligencia y mayor ámbito.

Podemos decir que el Internet de las cosas actual sería el conjunto de objetos inteligentes, perfectamente auto-iden-

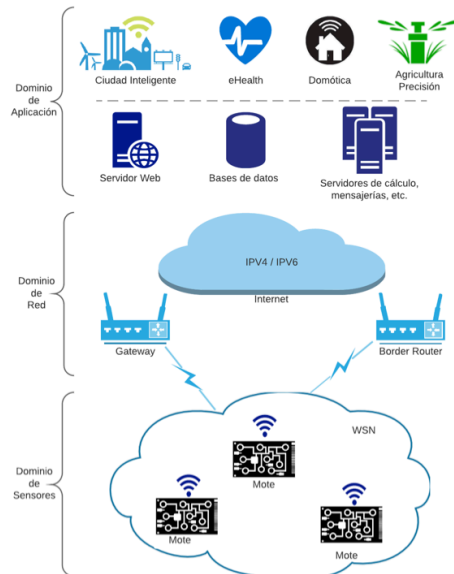
tificables, capaces de interactuar remotamente entre sí y con el resto de equipos conectados a través de Internet en tiempo real, incluso sin la interacción humana.

En el ámbito agropecuario, IoT lo se ve como el conjunto de sensores capaces de medir parámetros climáticos, suelo, agua, cultivos (tronco, fruto, clorofila, etc.) y otros, que envían la información a un servidor local o remoto (nube); proporcionando a los empresarios agropecuarios y clientes finales la posibilidad de monitorear su producción remotamente desde un terminal conectado a internet, sea este una PC, Tablet o smartphone.

Arquitectura IoT

Actualmente existen varias arquitecturas de IoT y para este capítulo se ha propuesto la arquitectura de la Imagen 3.1 que ha sido adaptada de (Campoverde, Hernandez-Rojas, & Mazon-Olivo, 2015) y consta de 3 capas: Dominio de Aplicación, Dominio de Red y Dominio de sensores.

Imagen 3.1. Arquitectura del Internet de las Cosas



Fuente: Adaptado de (Campoverde *et al.*, 2015)

Dominio de aplicación

En esta capa se encuentra la infraestructura de comunicación, almacenamiento y procesamiento de datos, así como las herramientas de análisis y presentación de la información al usuario. La infraestructura puede estar formada desde un servidor físico o virtualizado a un Centro de Procesamiento de Datos (CPD) complejo que involucra un conjunto de recursos físicos, lógicos y humanos para el control de los procesos y datos en el contexto de IoT. La virtualización de los recursos físicos y disponibilidad en internet se conoce como computación en la nube o Cloud Computing (Im, Kim, & Kim, 2013; Suciu *et al.*, 2015; Suciu, Halunga, Vulpe, & Suciu, 2013; Wang, Bi, & Xu, 2014). A continuación, se describen algunas de las principales funciones de esta capa:

- Recolección de datos crudos. El CPD se comunica con la capa Dominio de Red mediante el internet y usa un protocolo de comunicación para recolectar los datos crudos (Ali *et al.*, 2016; Gitzel, Turrin, & Maczey, 2015; Karkouch, Mousannif, Al Moatassime, & Noel, 2016). Existen varios protocolos de comunicación, por ejemplo: MQTT, CoAP, REST, XMPP, etc. (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015; Mijovic, Shehu, & Buratti, 2016). MQTT es muy popular por su bajo consumo de ancho de banda y bajo consumo de recursos.
- Pre-procesamiento y almacenamiento de datos. Consiste en la limpieza y transformación de datos para luego ser almacenados en sistemas gestores de bases de datos, y/o pasar a un sistema de cálculo o simplemente ser monitoreados y controlados en tiempo real (Cai, Xu, Jiang, & Vasilakos, 2016; Kambatla, Kollias, Kumar, & Grama, 2014; Moniruzzaman & Hossain, 2013; Wolfert, Ge, Verdouw, & Bogaardt, 2017).
- Monitoreo y control. Los datos de sensores de la WSN se presentan en un tablero de control (dashboard IoT) visual para que el usuario comprenda el estado actual de la zona o área que está vigilando. Un dashboard IoT además de monitorear sensores también puede controlar

actuadores de la WSN, por ejemplo, encender o apagar una bomba, abrir o cerrar una electroválvula.

- Aplicaciones o dominios IoT. Software con interfaz web o móvil que interactúa con el usuario y a su vez con los componentes IoT. Las aplicaciones IoT también se las conoce como Smart: ciudades inteligentes (Smart Cities), hogar y edificio inteligente (Smart Home and Building), cuidado y salud inteligente (Smart Healthcare), agricultura inteligente o Agricultura de Precisión (Smart Agriculture o Precision Agriculture), etc. (Botta, de Donato, Persico, & Pescapé, 2015; Shaikh, Zeadally, & Exposito, 2015; O Vermesan & Friess, 2014; Ovidiu Vermesan & Friess, 2015).
- Análisis de datos. Procesa los datos crudos obtenidos de la WSN y los combina con datos extraídos de los sistemas transaccionales para obtener información útil que ayude la toma de decisiones. La Estadística, Inteligencia de Negocios, Minería de Datos, Inteligencia Artificial, Machine Learning son algunas de las disciplinas aplicables para análisis de datos en el contexto de IoT.

El sistema que coordina y gestiona todos los componentes del dominio de aplicación de internet de las cosas se le conoce como Plataforma IoT.

Dominio de red

Comprende componentes de pre-procesamiento y comunicación entre la Red de Sensores Inalámbrica (WSN) y la plataforma IoT. Los componentes IoT de esta capa son:

- Gateway o Micro data center. Es un dispositivo con características de un mini computador que además de coordinar la comunicación con la WSN y con la plataforma IoT, se encarga de obtener los datos crudos de los dispositivos IoT o motes, luego realizar un pre-procesamiento y almacenamiento temporal y seguidamente enviarlos a la plataforma IoT mediante un protocolo de comunicación.

- Red de comunicación con la WSN. Comprende la tecnología que hace posible la comunicación entre un mote y un Gateway IoT. Ejemplos de tecnologías WSN son: Zigbee, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRa, Sigfox, etc., las cuales serán explicadas con más detalle en la sección de Tecnologías de Comunicación.
- Red de comunicación con la Plataforma IoT. Comprende la tecnología de comunicación del Gateway IoT con la plataforma IoT, normalmente es de LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network) o MAN (Metropolitan Area Network); Estas tecnologías pueden ser: Wi-Fi, Ethernet, Wi-Max, LoRa-WAN, etc.

Algunos autores como (Aazam & Huh, 2015; Ai, Peng, & Zhang, 2017; Khan, Parkinson, & Qin, 2017) hablan de computación en la niebla (Fog Computing) y computación en el borde (Edge Computing), a continuación se explican estos nuevos conceptos:

- Fog Computing. Extensión de cloud computing y sus servicios al borde de la red; es decir, consiste en descentralizar de la cloud, el almacenamiento de datos, el procesamiento, los servicios y las aplicaciones para llevarlo a un entorno localizado. Esta responsabilidad por lo general es delegada a un gateway IoT de tipo Micro Data Center, transmitiendo a la cloud sólo los mensajes y datos de contexto global.
- Edge Computing. La computación de este tipo va más allá de ser localizada a un Gateway o micro data center, cada dispositivo de la red desempeña la función de procesar los datos más cercanos y de decidir qué datos debe enviar al dispositivo de nivel superior (Gateway IoT o Cloud).

Dominio de sensores

En esta capa se ubican las redes de sensores inalámbricas (WSN) y los dispositivos (motes) IoT que integran transductores, sensores y actuadores. En las secciones subsiguientes se explican con más detalle.

Transductores, sensores y actuadores

En el argot de los sistemas embebidos y la telemetría existen tres términos que tienden a ser confundidos, estos son: transductores, sensores y actuadores dada la similitud y naturaleza que los envuelve. Según la definición de diccionarios, un transductor es un dispositivo que transfiere un tipo de energía en otra diferente. Ejemplos comunes tenemos a los micrófonos, capaces de transformar sonido en impulsos eléctricos y en el caso contrario a los altavoces o parlantes que convierten impulsos eléctricos en sonido. También tenemos a los focos de luz incandescentes que emiten luz cuando pasa corriente por un filamento. Otro ejemplo sería el motor que convierte energía eléctrica en energía mecánica o de movimiento. ¿Conoce algún otro ejemplo?

Por otro lado tenemos a los sensores, que según el diccionario es un dispositivo que puede detectar cambios de estímulos físicos y lo convierten en una señal que puede ser medida o guardada. Ejemplo de sensores los tenemos en el cuerpo humano, que logran detectar luz, sonidos, cambios químicos, presión y temperatura. ¿Puede identificarlos? ¿Cuál será la señal de salida de estos sensores?

Una acotación importante en este momento para distinguir los conceptos y términos anteriores sería que un sensor puede ser usado por sí solo para medir algo, pero un transductor necesita además del elemento de sensado un circuito eléctrico asociado. Es decir, un transductor contiene un sensor y la mayoría de los sensores deben ser transductores.

El actuador es un dispositivo que conmuta una señal eléctrica o mueve algo y utiliza energía para lograr un movimiento o conmutación. Por tanto podemos decir que un actuador es un tipo específico de transductor. De los ejemplos anteriores de transductores, cuáles serían actuadores?

Sensores

Los sensores típicamente convierten estímulos físicos en señales eléctricas analógicas o digitales y pueden ser clasi-

ficados de acuerdo al tipo de estímulo en: acústicos, eléctricos, magnéticos, ópticos, térmicos y mecánicos.

De acuerdo a la clasificación anterior, los tipos de sensores más comunes por la variable a medir son:

- Temperatura: Termistores, Termostatos, Termocuplas y RTD (Resistance Temperature Detectors)
- Sonido: Micrófonos e Hidrófonos
- Luz: LDR (Light Dependant Resistor), Fotodiodos, Fototransistores y Celdas solares
- Fuerza/Presión: Celdas extensiométricas (Strain Gauge), Interruptores de presión y celdas de carga
- Posición: Potenciómetros, LDVT (Linear Variable Differential Transformer), Reflectivos y Encoders
- Velocidad: Tacogeneradores y acelerómetros

Actuadores

Los actuadores son dispositivos capaces de conseguir el movimiento de algo por medio de una energía o simplemente conmutar una corriente o un voltaje para que otro dispositivo pueda generar una acción en su entorno de un proceso dado. En función de esta energía los actuadores pueden ser clasificados en neumáticos, hidráulicos y eléctricos y en función del movimiento conseguido pueden ser lineales o rotatorios.

Por medio de los actuadores, un sistema automatizado puede abrir o cerrar una esclusa, activar o desactivar una electroválvula para dejar pasar agua, encender o apagar una bomba de agua, controlar el ángulo y altura de boquillas o dispensadores. Abrir escotillas de sembradoras, ajustar la cantidad de fertilizantes, dosificar el alimento de animales y muchas más aplicaciones. ¿Puede mencionar otras aplicaciones agropecuarias donde un actuador ayuda a automatizar el proceso?

En el Cuadro 3.1, muestra algunos de los sensores y actuadores comerciales más usados en Agricultura de Precisión,

donde cada fila del cuadro responde a un tipo de sensor específico y las columnas a) y b) representan ejemplos o modelos representativos con la idea que constituya a su vez una guía inicial en la búsqueda del sensor idóneo para proyectos agropecuarios.

En la fila de sensores de temperatura tenemos en a) el sensor MCP9700A que es un sensor de temperatura, cuyo voltaje de salida es proporcional a la temperatura en un rango de -40°C (100 mV) hasta 125°C (1.75 V) con una sensibilidad de $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Este sensor puede ser usado para conocer la temperatura ambiental. En b) tenemos un PT -1000, que es un sensor de temperatura para el suelo principalmente, con un rango de -50 a 300°C . El mismo constituye un sensor resistivo, donde la resistencia de salida varía entre 920 y 1200 ohms aproximadamente y a 0°C la resistencia es de 1 Kohm.

Cuadro 3.1: Transductores comerciales agrupados según la variable a medir

Tipos de Sensores	a)	b)
Temperatura		
Humedad del suelo		
Humedad ambiental		

Tipos de Sensores

Radiación

a)



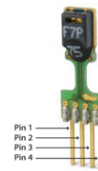
b)



Dendrómetros



Sensores combina-
dos



Actuadores para
riego: electroválvu-
las



Actuadores electro-
magnéticos



Actuadores de
movimiento



En los sensores de humedad del suelo, en a) se muestra un sensor Watermark of Irrrometer, con un rango de medición de 0 a 200 cb, donde el valor de resistencia de salida es proporcional a la tensión de agua en la tierra. En b) se muestra un Tensiómetro de Irrrometer, que permite medir y leer directamente la humedad del suelo. Este sensor no es afectado por la salinidad del suelo, por ende no necesita calibraciones adicionales.

En la fila de sensores de humedad ambiental, tenemos en a) al sensor 808H5V5 cuyo voltaje de salida es proporcional a la humedad relativa en la atmósfera y el valor se entrega en porcentaje de humedad relativa (0 a 100 %RH). En b) se muestra un sensor de humedad condensada, Leaf Wetness Sensor (LWS). Aquí el voltaje de salida es inversamente proporcional a la humedad condensada en el sensor.

Otro parámetro importante en agricultura es la radiación solar, los sensores de este tipo se muestra en a) un sensor resistivo de luminosidad (LDR), donde la resistencia de salida es proporcional a la intensidad de luz que incide sobre la celda. En b) se encuentra el sensor SQ-110, utilizado para medir radiaciones solares y el voltaje de salida es proporcional a la intensidad de la luz, en el rango visible del espectro (410 a 655 nm).

Los dendrómetros son unos sensores interesantes que permiten medir el diámetro del tronco de una planta o del fruto para conseguir un seguimiento efectivo del cultivo. En a) tenemos al sensor resistivo Ecomatik DC2, con un rango de 0 a 20 Kohm, que mide el diámetro del tronco de una planta (Trunk Diameter Dendrometer). En b) se muestra al Fruit Diameter dendrometer (Ecomatik DF), presenta el mismo rango de resistencia de salida que el de tronco, pero se lo utiliza principalmente para medir el diámetro de los frutos.

En el Cuadro 3.1 también se ha incluido una fila para transductores que combinan más de un sensor como es el caso de a) que puede ser utilizado para una estación meteorológica, incluye un pluviómetro, anemómetro y dirección del viento. El anemómetro brinda una salida digital cuya fre-

cuencia es proporcional a la velocidad del viento. La dirección del viento (Wind vane) brinda una salida resistiva, donde la resistencia es proporcional a un ángulo, es decir brinda 16 posiciones que indicaría la dirección actual del viento. El pluviómetro, brinda una salida digital que se activa un interruptor cuando el nivel del agua ha llenado el recipiente del sensor (0.28 mm) aproximadamente. En b) en cambio tenemos al sensor SHT75 de Sensirion que es un sensor digital de humedad y temperatura, con un rango de -40°C a $+123.8^{\circ}\text{C}$ y la humedad de 0 a 100 %RH. La salida de este sensor es una palabra digital en formato I²C¹.

Las tres últimas filas del Cuadro 3.1 contienen algunos actuadores usados en diversas aplicaciones, siendo una de ellas la agricultura de precisión. Siendo el control de riego una problemática de automatización en este dominio de aplicación. En esta fila en a) se muestra una típica electroválvula, utilizada principalmente para controlar el paso del agua a las zonas de riego y en b) se muestra la imagen de un interruptor de presión para riego.

Luego se ha incluido una fila de actuadores electromagnéticos que generalmente constituyen un paso intermedio de los actuadores de fuerza final, como son los contactores y relés mostrados en a) y b) respectivamente. Estos actuadores permiten a su vez accionar motores o bombas de agua, mostrado en a) y vástagos lineales como CAHB-20/21 mostrado en b) de la última fila.

Wireless Sensor Network

Según la arquitectura IoT, analizada anteriormente en el epígrafe Arquitectura IOT, la base de esta arquitectura está formada por los transductores, sensores y actuadores que interactúan con el proceso según el dominio de aplicación analizado en el epígrafe anterior. Estos transductores nece-

¹ I²C: Inter-Integrated Circuit. Es un bus de datos serial que permite interconectar circuitos integrados y partes de un circuito electrónico donde cada uno dispone de una dirección específica.

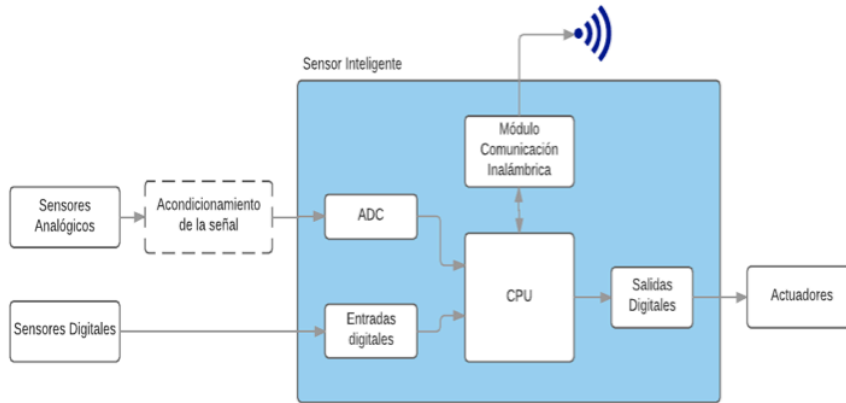
sitan de circuitos adicionales que permitan convertir las señales analógicas medidas en digital y a su vez poder transmitir las hacia el servidor, para que un usuario en cualquier parte del mundo pueda observar. Estos circuitos han evolucionado junto con los avances de la electrónica y las telecomunicaciones. Actualmente los transductores son conectados a dispositivos pequeños, típicamente alimentados por baterías, con ciertas limitaciones de recursos, pero con la suficiente capacidad de procesar esa señal y transmitirla o recibir comandos remotos para los actuadores. Estos dispositivos son denominados “Transductores inteligentes” (smart sensors o smart transducers) y en el argot IoT son llamados también “motes”.

En la mayoría de las aplicaciones IoT, existen muchos motes interconectados en una red, es decir una red de sensores. Actualmente el medio de comunicación más usado es el inalámbrico, por lo que estas redes reciben el nombre de Redes de Sensores Inalámbricos o inglés Wireless Sensors Network (WSN). En este epígrafe vamos a introducirnos en las WSN para conocer los principales smart transducers comerciales disponibles en el mercado, que pueden ser usados en proyectos agropecuarios. También revisaremos las principales tecnologías inalámbricas usadas en las WSN actuales.

Smart Transducers

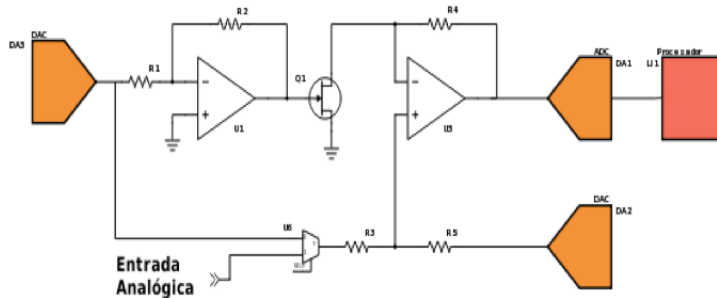
En la Imagen 3.2 se muestra el esquema general de un smart transducer. Donde podemos observar que a través de las entradas y salidas analógicas y digitales del procesador se conectan los sensores y actuadores. En un mote el procesador debe tener la capacidad de realizar un procesamiento primario de la información y encapsular el dato dentro del protocolo de comunicación que usa la WSN para comunicarse con el servidor o la cloud.

Imagen 3.2. Diagrama general de un Transductor Inteligente



El módulo de comunicaciones muchas veces (tendencia actual) aparece integrado junto con el procesador y el bloque de acondicionamiento de la señal es opcional en dependencia del sensor y la variable a medir. Este bloque es necesario porque hay que ajustar los niveles de la señal de salida del sensor con la entrada analógica del mote, ya que estas entradas analógicas pertenecen a un convertidor análogo - digital (ADC) encargado de digitalizar la variable medida para su posterior procesamiento y transmisión. Estos ADC por lo general tienen un rango de 0 a 5VDC de entrada y las salidas de los sensores manejan rangos de mV a su salida. Por tanto esta señal analógica debe ser ajustada al rango de entrada del ADC para conseguir la mayor precisión posible. El acondicionamiento de las señales analógicas se caracteriza por el uso de amplificadores operacionales con configuraciones básicas, diferenciales o incluso con amplificadores de ganancia programable inteligentes como se muestra en la Imagen 3.3.

Imagen 3.3. Amplificador de ganancia programable.



Fuente: Adaptado de (Rodríguez Arias & Hernández Rojas, 1999)

En el Cuadro 3.2 se muestran algunos de los smart sensors Open Hardware² disponibles comercialmente.

Cuadro 3.2: Smart sensors comerciales

Smart sensor	Imagen	Características
Arduino ³		<ul style="list-style-type: none"> -Microcontroller: ATmega32u4 -Operating Voltage: 5V -Input Voltage: 7-12V -Digital I/O Pins: 20 -PWM Channels:7 -Analog Input Channels:12 -SRAM: 2.5 KB (ATmega32u4) -La configuración de conectores y señales se han convertido en un estándar. Decenas de shield o tarjetas con aplicaciones específicas han adoptado este estándar y se denominan Arduino compatible.

² Open Hardware: Hardware libre, significa que los diagramas de los circuitos y sus especificaciones son de acceso público y pueden ser replicados sin costos ni regalías.

³ <https://www.arduino.cc/>

Smart sensor

Raspberry Pi⁴



Imagen

Características

- Quad Core 1.2GHz Broad-com BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- 40-pin extended GPIO
- 4 USB 2 ports
- 4 Pole stereo output and composite video port
- Full size HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A

Beaglebone⁵



- Processor: AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8
- 512MB DDR3 RAM
- 4GB 8-bit eMMC on-board flash storage
- 3D graphics accelerator
- NEON floating-point accelerator
- 2x PRU 32-bit microcontrollers
- Connectivity USB client for power & communication, USB host
- Ethernet, HDMI
- 2x 46 pin headers
- Software Compatibility: Debian, Android, Ubuntu, Cloud9 IDE on Node.js w/ BoneScript library

⁴ <https://www.raspberrypi.org/>

⁵ <https://beagleboard.org/black>

Smart sensor

Raspberry Pi⁴

Imagen



Características

- Microcontroller: ATmega1281
- Frequency: 14.74 MHz
- SRAM: 8 kB
- EEPROM: 4 kB
- FLASH: 128 kB
- SD card: 2 GB
- Weight: 20 g
- Temperature range: [-10 °C, +65 °C]
- 7 analog inputs, 8 digital I/O
- 2 UARTs, 1 I2C, 1 SPI, 1 USB
- Battery voltage: 3.3-4.2 V
- USB charging: 5 V - 480 mA
- Solar panel load: 6-12 V - 330 mA

Tecnologías de comunicación

Como hemos mencionado anteriormente la arquitectura IoT está basada en redes WSN donde sensores inteligentes intercambian información entre ellos y son capaces de enviar datos de telemetría hacia el servidor gracias a los módulos de comunicación inalámbricas que poseen, muchas veces integradas con el procesador en un solo chip. Entre las tecnologías inalámbricas más usadas tenemos a: Zigbee, BLE, Lora, Sigfox las cuales son detalladas en el Cuadro 3.3.

⁶ <http://www.libelium.com/products/waspmote/hardware/>

Tecnología

Wi-fi⁷

Zigbee⁸

Logotipo



Características

- Wi-Fi: Wireless Fidelity
- Estándar inicial IEEE 802.11, seguidos por 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, 802.11sd, 802.11ah (Wifi-Halow)
- Frecuencias: 2.4GHZ, 5.4GHz, 60Ghz, 900 MHz.
- Modos de conexión:
 - infraestructura: dispositivo con un punto de acceso a red (Access Point), ad-hoc: red virtual entre dispositivos sin el uso de un AP físico, wifi-direct: conexión entre dispositivos que negocian cuál de ellos actuará como AP, simulando una red Wifi.

- Estándar IEEE 802.15.4
- Bajo consumo
- Frecuencias: 868 MHz en Europa, 915 MHz en USA y 2.4 GHz en todo el mundo
- Puede formar redes tipo estrella, árbol y malla
- La red está formada por un coordinador, routers y dispositivos finales.
- Aplicaciones: Domótica, Energía Inteligente, Ciudades inteligentes, entre otros.
- Especificaciones: Zigbee PRO, Zigbee RF4CE y Zigbee IP

⁷ <http://www.wi-fi.org/>

⁸ <http://www.zigbee.org/>

Tecnología

Bluetooth Low Energy⁹

Logotipo



Características

- Bajo consumo
- Permite crear redes de área personal (PAN)
- Frecuencia: 2.4GHz
- Utiliza Frequency Hopping para evitar interferencias con otras tecnologías que usan la misma banda de frecuencia.
- Estándar IEEE 802.15
- la última especificación es la 5.0
- Ha sido integrado en los teléfonos inteligentes.
- Velocidad de transferencia de 1 Mhz
- Redes tipo estrella.

LoRa¹⁰



- Lora: Long range (largo alcance)
- Plataforma inalámbrica de bajo consumo
- Frecuencias: 868 MHz en Europa y 915 MHz en USA
- Protocolos: Lora y LoRaWan
- Velocidad baja: decenas de Kbps
- Grandes distancias de cobertura (algunos kilómetros)

⁹ <https://www.bluetooth.com/>

¹⁰ <https://www.lora-alliance.org/>

Tecnología

LTE

Logotipo



Características

- LTE: Long Term Evolution (Evolución a largo plazo)
- Estándar creado por el 3GPP¹¹
- Versión actual es LTE Advanced Pro
- Velocidades de transmisión de 3Gps, latencias de 2ms
- Tecnología IP de extremo a extremo
- Red formada por nodos eNB como estaciones bases que dispone de funcionalidad de control embebidas, evitan el uso de controladores de red (RNC)
- Enfocada a aplicaciones IoT
- Conocida como 4.5G

Gateway y border routers

En los epígrafes anteriores se ha dado una introducción importante al dominio de los sensores (ver Imagen 3.1), es decir los principales sensores inteligentes comerciales y tecnologías de comunicación inalámbricas predominantes en las WSN actuales. Por tanto ya podemos subir al próximo dominio de red, encargado de garantizar que los datos provenientes de los sensores lleguen a un servidor o cloud computing que soporte la aplicación específica de IoT.

Es necesario recordar que en Internet el protocolo aún predominante es el IPV4, con su limitante en cantidad de direcciones IP disponibles. El IoT por concepto requiere que cada dispositivo disponga de una dirección IP única, es aquí donde se requiere la implementación de IPV6 a nivel de nodo sensor, para que los millones de dispositivos IoT puedan garantizar el requerimiento mencionando. Por tanto

¹¹ <http://www.3gpp.org/>

podemos intuir un pequeño problema de compatibilidad de dispositivos IoT IPV6 sobre redes IPV4 predominantes en internet, siendo éste uno de los grandes retos encargado a este dominio de IoT.

En este dominio de red, tenemos como actores principales a los Gateway y Border routers que de una u otra manera dan solución y soporte a este dominio. Los border routers como su nombre lo indica son ruteadores que permiten conectar una red con otra, en este caso la WSN con Internet. Estos ruteadores se encuentran en el borde de la WSN, es decir el punto de conexión de comunicación extremo de la WSN y a ello se debe su nombre por encontrarse en el “borde” de la red.

Los gateways (pasarelas en español, aunque este es un anglicismo técnico completamente aceptado) permiten la conexión y comunicación entre dispositivos de una misma red o diferentes redes, traduciendo el protocolo de una red al nuevo protocolo que usan en la otra que deseamos conectarnos.

En cambio IoT necesita de un nuevo tipo de gateway que combine funciones del gateway y border router convencional y que brinde además seguridad, conectividad estable, translación de protocolos, filtrado y procesamiento del dato, capacidad de almacenamiento y análisis y gestión de acceso de los motes.

Los gateway IoT actuales están basados en Windows o Linux y pueden ser implementados en diferentes plataformas de hardware, desde un teléfono inteligente, una Raspberry Pi o en plataformas propietarias más robustas como es el caso de Meshlium¹², un gateway IoT que permite conectar motes de Libelium con diferentes plataformas de cloud como se muestra en la Imagen 3.4.

¹² <http://www.libelium.com/products/meshlium/>

Imagen 3.4. Meshlium, un gateway IoT de Libelium.



Cloud computing y plataformas lot

Cloud computing

Concepto de cloud computing

Se conoce como Cloud computing o simplemente la cloud, como el acceso ubicuo a la red bajo demanda a un conjunto de recursos informáticos configurables como: redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios (NIST, 2013). También las podemos definir como el conjunto de aplicaciones y servicios que se encuentran ejecutándose en una red distribuida de recursos virtualizados con acceso utilizando protocolos de internet y estándares de red (Pizzolli *et al.*, 2016; Sosinsky, 2011).

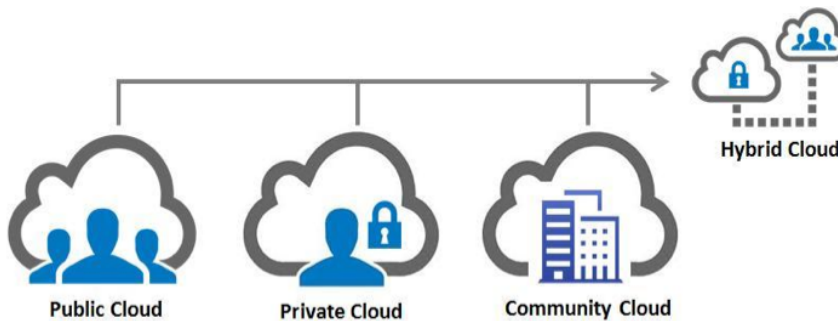
Modelos de despliegue de cloud computing

En la Imagen 3.5 se muestra un esquema de los tipos de modelos de despliegue de una cloud:

- Nube pública. Libre acceso desde cualquier parte del mundo con posibles restricciones.

- Nube privada. Se implementa dentro de las instalaciones de una empresa (on-premise) y es de su uso exclusivo
- Nube híbrida. Combinación de una nube pública y privada al mismo tiempo.
- Nube Comunidad. Para una organización de propósito común.

Imagen 3.5. Modelos de despliegue de Cloud Computing



Modelo de servicio de cloud computing

En el Cuadro 3.4 Se presenta los modelos de servicios de cloud computing.

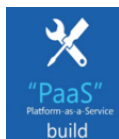
Cuadro 3.4: Modelos de servicio de cloud computing

Tipo de Servicio



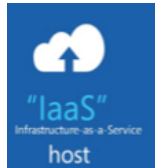
Descripción del servicio

SaaS (software como servicio), infraestructura, plataforma y software de aplicación listo para su uso, en donde todo aspecto de la nube es abstracto para el usuario. Ejemplos: Google Drive, OneDrive, Dropbox, etc.



PaaS (plataforma como servicio). Infraestructura y plataforma predefinidas a partir de las cuales el usuario puede implementar su aplicación mediante herramientas especificadas por el proveedor del servicio. Ejemplos: Microsoft Azure, Google Cloud Platform, Ecuahosting.

Tipo de Servicio



Descripción del servicio

IaaS (infraestructura como servicio). Provee un entorno de virtualización de recursos físicos para que el usuario sea el encargado de definir una infraestructura que se ajuste a sus necesidades, los servicios IaaS más populares son: OpenStack¹³ y CloudStack¹⁴ como alternativas de cloud IaaS open source; alternativas de pago son: IBM Cloud¹⁵, Amazon Web Services¹⁶, Microsoft Azure¹⁷, Google Cloud Platform¹⁸, entre otras.

Plataformas IoT

Las plataformas IoT son sistemas computacionales de proveedores externos o desarrollados a medida, los cuales han sido creados para recibir datos de sensores, almacenarlos en sus sistemas de bases de datos y ofrecer servicios adicionales de procesamiento, análisis de datos, monitoreo de la WSN y control de actuadores. Las plataformas más destacadas actualmente son:

- Thingspeak: <https://thingspeak.com/>
- IBM Bluemix: <http://www.ibm.com/cloud-computing/bluemix/>
- Amazon: <http://aws.amazon.com/es/iot/>
- Carriots: <https://www.carriots.com/>
- Adafruit IO: <https://io.adafruit.com/>
- Thingworx: <http://www.thingworx.com/>
- Temboo: <https://temboo.com/>
- Thethings: <https://thethings.io/>
- IoTMach: <http://iotmach.utmachala.edu.ec/>

¹³ <https://www.openstack.org/>

¹⁴ <https://cloudstack.apache.org/>

¹⁵ <https://www.ibm.com/cloud-computing/>

¹⁶ <https://aws.amazon.com/es/>

¹⁷ <https://azure.microsoft.com/es-es/>

¹⁸ <https://cloud.google.com/>

IoT Mach es una plataforma IoT creada por docentes y estudiantes del grupo de investigación AutoMathTIC de la Unidad Académica de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala, que además de monitorear y controlar redes WSN a través de dashboards creados dinámicamente dispone de herramientas con inteligencia de negocios dedicadas a la agricultura, planeamiento y control de riego entre otras funcionalidades.

Este capítulo ha hecho un recorrido por los aspectos más importantes del IoT que permiten al lector iniciar sus primeros pasos en la automatización ya sea de agricultura como de cualquier aplicación. Los conceptos, estructuras y plataformas indicadas en este capítulo podrán ser utilizadas en nuevos dominios IoT, a diferencia de los sensores que siempre estarán relacionados con las variables a medir del dominio en cuestión. IoT es un campo nuevo de investigación, pero con un crecimiento acelerado, para un estudio más profundo y actualización continua se recomienda seguir la bibliografía recomendada.

Referencias Bibliográficas

- Aazam, M., & Huh, E. N. (2015). Fog computing micro datacenter based dynamic resource estimation and pricing model for IoT. In *Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA* (Vol. 2015-April, pp. 687-694). <http://doi.org/10.1109/AINA.2015.254>
- Ai, Y., Peng, M., & Zhang, K. (2017). Edge cloud computing technologies for internet of things: A primer. *Digital Communications and Networks*. <http://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.07.001>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, PP(99)*, 1-1. <http://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Ali, M. I., Ono, N., Kaysar, M., Shamszaman, Z. U., Pham, T.-L., Gao, F., ... Mileo, A. (2016). Real-time data analytics and event detection for IoT-enabled communication systems. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, 42*. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.websem.2016.07.001>
- Botta, A., de Donato, W., Persico, V., & Pescapé, A. (2015). Integration of Cloud Computing and Internet of Things: A Survey. *Future Generation Computer Systems, 56*, 684-700. <http://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.021>
- Cai, H., Xu, B., Jiang, L., & Vasilakos, A. (2016). IoT-based Big Data Storage Systems in Cloud Computing: Perspectives and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal, PP(99)*, 1. <http://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2619369>
- Campoverde, A., Hernandez-Rojas, D., & Mazon-Olivo, B. (2015). Cloud computing con herramientas open-source para Internet de las cosas. *Maskana, 6*, 173-182. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23826>
- Gitzel, R., Turrin, S., & Maczey, S. (2015). A Data Quality Dashboard for Reliability Data, 90-97. <http://doi.org/10.1109/CBI.2015.24>
- Im, J., Kim, S., & Kim, D. (2013). IoT mashup as a service: Cloud-based mashup service for the internet of things. *Proceedings - IEEE*

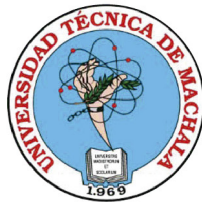
- 10th International Conference on Services Computing, SCC 2013, 462-469. <http://doi.org/10.1109/SCC.2013.68>
- Kambatla, K., Kollias, G., Kumar, V., & Grama, A. (2014). Trends in big data analytics. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 74(7), 2561-2573. <http://doi.org/10.1016/j.jpdc.2014.01.003>
- Karkouch, A., Mousannif, H., Al Moatassime, H., & Noel, T. (2016). Data quality in internet of things: A state-of-the-art survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 73, 57-81. <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.08.002>
- Khan, S., Parkinson, S., & Qin, Y. (2017). Fog computing security: a review of current applications and security solutions. *Journal of Cloud Computing*, 6(1), 19. <http://doi.org/10.1186/s13677-017-0090-3>
- Mijovic, S., Shehu, E., & Buratti, C. (2016). Comparing Application Layer Protocols for the Internet of Things via Experimentation. In *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)*. Bologna, Italy: IEEE. <http://doi.org/10.1109/RTSI.2016.7740559>
- Moniruzzaman, A., & Hossain, S. (2013). Nosql database: New era of databases for big data analytics-classification, characteristics and comparison. *International Journal of Database Theory and Application*, 6(4), 1-14. Retrieved from http://www.sersc.org/journals/IJDTA/vol6_no4/1.pdf
- NIST. (2013). NIST Cloud Computing Standards Roadmap. *National Institute of Standard and Technology. Special Publication 500-291 V2*, 1-102. <http://doi.org/10.6028/NIST.SP.500-291r2>
- Pizzolli, D., Cossu, G., Santoro, D., Capra, L., Dupont, C., Charalampos, D., ... Cascata, D. (2016). Cloud4IoT : a heterogeneous , distributed and autonomic cloud platform for the IoT, 476-479. <http://doi.org/10.1109/CloudCom.2016.80>
- Rodríguez Arias, S., & Hernández Rojas, D. (1999). Amplificador de rango dinámico programable con auto-diagnóstico en tiempo real.

- Shaikh, F. K., Zeadally, S., & Exposito, E. (2015). Enabling Technologies for Green Internet of Things. *IEEE Systems Journal*, *PP(99)*, 1-12. <http://doi.org/10.1109/JSYST.2015.2415194>
- Sosinsky, B. (2011). *Cloud Computing Bible*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- Suciu, G., Halunga, S., Vulpe, A., & Suciu, V. (2013). Generic platform for IoT and cloud computing interoperability study. ISSCS 2013 - *International Symposium on Signals, Circuits and Systems*. <http://doi.org/10.1109/ISSCS.2013.6651222>
- Suciu, G., Suciu, V., Martian, A., Craciunescu, R., Vulpe, A., Marcu, I., ... Fratu, O. (2015). Big Data, Internet of Things and Cloud Convergence ??? An Architecture for Secure E-Health Applications. *Journal of Medical Systems*, *39(11)*. <http://doi.org/10.1007/s10916-015-0327-y>
- Vermesan, O., & Friess, P. (2014). *Internet of Things Applications - From Research and Innovation to Market Deployment*. River Publishers. Retrieved from <https://books.google.com.br/books?id=kW-2doAEACAAJ>
- Vermesan, O., & Friess, P. (2015). *Building the Hyperconnected Society*. River Publishers. <http://doi.org/978-87-93237-99-5>
- Wang, C., Bi, Z., & Xu, L. Da. (2014). IoT and cloud computing in automation of assembly modeling systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *10(2)*, 1426-1434. <http://doi.org/10.1109/TII.2014.2300346>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, *153*, 69-80. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

Análisis de Datos Agropecuarios
Edición digital 2017- 2018.
www.utmachala.edu.ec

Redes

Redes es la materialización del diálogo académico y propositivo entre investigadores de la UTMACH y de otras universidades iberoamericanas, que busca ofrecer respuestas glocalizadas a los requerimientos sociales y científicos. Los diversos textos de esta colección, tienen un espíritu crítico, constructivo y colaborativo. Ellos plasman alternativas novedosas para resignificar la pertinencia de nuestra investigación. Desde las ciencias experimentales hasta las artes y humanidades, Redes sintetiza policromías conceptuales que nos recuerdan, de forma empeñosa, la complejidad de los objetos construidos y la creatividad de sus autores para tratar temas de acalorada actualidad y de demanda creciente; por ello, cada interrogante y respuesta que se encierra en estas líneas, forman una trama que, sin lugar a dudas, inervará su sistema cognitivo, convirtiéndolo en un nodo de esta urdimbre de saberes.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

Editorial UTMACH

Km. 5 1/2 Vía Machala Pasaje

www.investigacion.utmachala.edu.ec / www.utmachala.edu.ec

ISBN: 978-9942-24-120-7



9 789942 241207