



Aplicación de los sensores IOT en la agroindustria: estudio taxonómico del modelo GMAAS según el procesamiento de datos

Application of IOT sensors in agribusiness: taxonomic study of the GMAAS model according to data processing

Aplicação de sensores IOT no agronegócio: estudo taxonômico do modelo GMAAS de acordo com o processamento de dados

John German Vera Luzuriaga ^I

John.vera@esPOCH.edu.ec

<http://orcid.org/0000-0002-6621-5368>

Santiago Alejandro Lopez Ortiz ^{II}

sa_lopez@esPOCH.edu.ec

<http://orcid.org/0000-0002-6314-6299>

Alex Andrés Vaca Valle ^{III}

vacaalex1998@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6352-4309>

Mario David Borja Mera ^{IV}

Dxnt18@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3888-744X>

Correspondencia: John.vera@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de enero de 2023 * **Aceptado:** 12 de febrero de 2023 * **Publicado:** 03 de marzo de 2023

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Resumen

La industria 4.0 es un nuevo paradigma que ha tomado terreno dentro de la agroindustria donde se ha observado una creciente aparición de trabajos científicos sobre la utilización de aplicaciones IoT. Un nuevo modelo basado en IoT es el GMaaS el cual requiere del uso de sensores que midan variables físicas ambientales. El objetivo del artículo es encontrar una taxonomía que tenga un buen criterio y permita determinar características generales del tipo de sensores que el modelo GMaaS requiere. Se realizó una revisión bibliográfica sobre las IoT en la agroindustria para determinar modelos taxonómicos y mediante criterios de selección se optó por usar una taxonomía basada en la frecuencia de muestreo y procesamiento de los datos. Se estudiaron dos casos donde el modelo GMaaS fue utilizado y extrajimos la información relevante sobre los sensores y mediante la descripción se determinó el grupo taxonómico de cada uno. Los resultados que se obtuvieron permitieron concluir que los sensores usados en GMaaS suelen ser del tipo de rango de muestra invariante.

Palabras Clave: Agroindustria; Industria 4.0; Modelo de invernadero (GmaaS); Sensores IoT.

Abstract

Industry 4.0 is a new paradigm that has gained ground within agribusiness, where a growing appearance of scientific papers on the use of IoT applications has been observed. A new model based on IoT is the GMaaS which requires the use of sensors that measure physical environmental variables. The objective of the article is to find a taxonomy that has a good criterion and allows to determine general characteristics of the type of sensors that the GMaaS model requires. A bibliographic review on IoT in agribusiness was carried out to determine taxonomic models and, based on selection criteria, it was decided to use a taxonomy based on the sampling frequency and data processing. Two cases were studied where the GMaaS model was used and we extracted the relevant information about the sensors and through the description the taxonomic group of each one was determined. The results obtained allowed us to conclude that the sensors used in GMaaS are usually of the invariant sample range type.

Keywords: Agroindustry; Industry 4.0; Greenhouse model (GmaaS); IoT sensors.

Resumo

A Indústria 4.0 é um novo paradigma que vem ganhando espaço dentro do agronegócio, onde se observa um crescente surgimento de trabalhos científicos sobre o uso de aplicações IoT. Um novo modelo baseado em IoT é o GMaaS que requer o uso de sensores que medem variáveis ambientais físicas. O objetivo do artigo é encontrar uma taxonomia que tenha um bom critério e permita determinar características gerais do tipo de sensores que o modelo GMaaS requer. Uma revisão bibliográfica sobre IoT no agronegócio foi realizada para determinar modelos taxonômicos e, com base em critérios de seleção, decidiu-se usar uma taxonomia baseada na frequência de amostragem e processamento de dados. Foram estudados dois casos onde foi utilizado o modelo GMaaS e extraímos as informações relevantes sobre os sensores e através da descrição foi determinado o grupo taxonômico de cada um. Os resultados obtidos permitem concluir que os sensores utilizados no GMaaS são geralmente do tipo faixa de amostragem invariante.

Palavras-chave: Agroindústria; Indústria 4.0; Modelo de estufa (GmaaS); sensores IoT.

Introducción

La Industria de cuarta generación, también llamada Industria 4.0, apareció en los países desarrollados en la segunda década de los 2000 como una respuesta de política industrial a una nueva etapa de la revolución de las tecnologías de la información y las comunicaciones (Bai et al., 2020)[3]. La Industria 4.0 va más allá del cambio tecnológico, es un cambio en el pensamiento y la estructura de la economía que sin duda afectará las relaciones sociales en todo el mundo (Ustundag et al., 2018)[39]. El ritmo de implementación de la Industria 4.0 en todo el mundo difiere del de las industrias emergentes (Marcon et al., 2017)[24] y la migración a la industria inteligente se lleva a cabo dentro de las capacidades de la infraestructura y las instalaciones tecnológicas existentes (Frank et al., 2019)[9]. La industria 4.0 y la fabricación inteligente son parte de la transformación de los negocios y las tecnologías de fabricación e información para crear sistemas innovadores (Rosin et al., 2020)[31], la cual ha influido en el cambio de paradigmas sociales mediante la inserción de algunos casos al hogar, por ejemplo, para obtener casas inteligentes o productos personales (Devezas & Sarygulov, 2017)[7]. En este tipo de industria, además de la introducción de nuevos elementos, se hace hincapié en la

integración o adición de tecnología y componentes existentes (Prause, 2019)[27], proponiendo medidas conjuntas para coordinar varios elementos económicos con el objetivo de crear un entorno (Gröger, 2018)[14].

Un nuevo concepto tecnológico que ha ganado terreno en la industria 4.0 es la internet de las cosas (IoT) (Chen et al., 2017)[6]. El internet de las cosas (IoT) describe una visión donde las “cosas” son considerados como objetos que están interconectadas para recibir y transmitir datos a través del internet, lo que les permite realizar tareas y comunicarse entre sí para compartir información (Al-fuqaha et al., 2015)[1]. La primera consecuencia directa del Internet de las Cosas (IoT), es la generación de grandes cantidades de datos (Faheem et al., 2018)[10] lo que además conlleva a que cada objeto físico o virtual conectado al IoT puede tener un doble digital en la nube, que podría generar actualizaciones periódicas (Cañas et al., 2021)[5]. En segundo lugar, esto promueve la inserción de instrumentos que permitan obtener datos del ambiente para poder monitorear el comportamiento, es decir la inserción de sensores (Xu et al., 2021)[41]. La industria 4.0 se ha incorporado en varios procesos industriales con distintos campos de trabajo y esto ha generado un sinnúmero de nuevos sistemas de obtención de datos (Korze, 2019)[15].

El sector agrícola es un ejemplo de este cambio tecnológico. Por ejemplo, la agricultura inteligente (Liu y Tao, 2016) representa la integración de nuevas tecnologías en la agricultura, contribuyendo a la llamada “tercera revolución verde”. Como resultado, la agricultura de precisión es omnipresente e integrada en los sistemas de soporte de decisiones computarizados para la gestión agrícola. Un buen ejemplo es AgroDSS, un conjunto de herramientas de soporte de decisiones basado en la nube para la integración con la gestión agrícola existente en sistemas de información que permiten a los agricultores cargar sus datos, usar múltiples métodos de análisis de datos y recuperar la producción (Rupnik et al., 2019). El sistema agrícola de producción en invernadero es un proceso físico, químico y biológico complejo que ocurre simultáneamente, responde a factores ambientales en diferentes momentos y condiciones, y tiene muchas funciones que interactúan. Por lo tanto, se requiere una comprensión más profunda de la dinámica de todos estos diferentes procesos en el sistema de invernadero. La dinámica de los invernaderos ha sido ampliamente estudiada en la literatura, donde se pueden utilizar modelos climáticos de invernadero, modelos de crecimiento de cultivos y modelos de riego (Ramírez et al., 2015)[28]. Es así como Muñoz et al. (2022) [25] propone y pone sobre la mesa un modelo basado en IoT para implementar bajo el contexto de un servicio de invernadero que permita

obtener información relevante sobre varios parámetros físicos, este sistema pretende usar tecnologías de IoT para crear un modelo de invernadero como un servicio (GmaaS, por sus siglas en inglés “Greenhouse Model as a Service”). Por lo que es necesario la implementación de sensores de medición ya que la información sobre los fenómenos físicos es capturada, transmitida, recopilada, analizada y utilizada en el mundo digital por sensores y en el mundo físico por actuadores que generan acciones en el entorno (Javaid et al., 2020) [16]. Esta arquitectura para usar en modelos de *greenhouse* fue propuesto por primera vez en el trabajo de Torres et al. (2019)[38] como un servicio en el paradigma de las IoT, donde se implementa un ambiente de programación específico dentro del marco de un sistema de toma de decisiones (DDS) para las compañías o agricultores, la metodología de esta tecnología se puede observar en la figura 2, donde se destaca la arquitectura con la que los usuarios pueden interactuar y como los datos son procesados luego de su detección, se puede observar que la intervención de sensores se encuentra en la fase *Open weather* y través de protocolos de transferencia de datos (Https) éstos son enviados a un algoritmo que realiza el preprocesamiento de la información para luego ser presentado al usuario a través de una interfaz (frontend).

En el presente trabajo, en primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica de trabajos científicos relacionados a las aplicaciones de industria 4.0 en la agroindustria a través de las aplicaciones IoT con el fin de determinar si existe aceptación de estos sistemas dentro de este campo de la ingeniería. Además, se comparara dos trabajos donde se aplique el modelo GmaaS para determinar qué tipo de sensores IoT han sido usados durante la ejecución del sistema GmaaS para realizar una descripción de los mismos mediante una metodología basada en los datos que los sensores procesan, para determinar cuáles son las características relevantes de estos sensores.

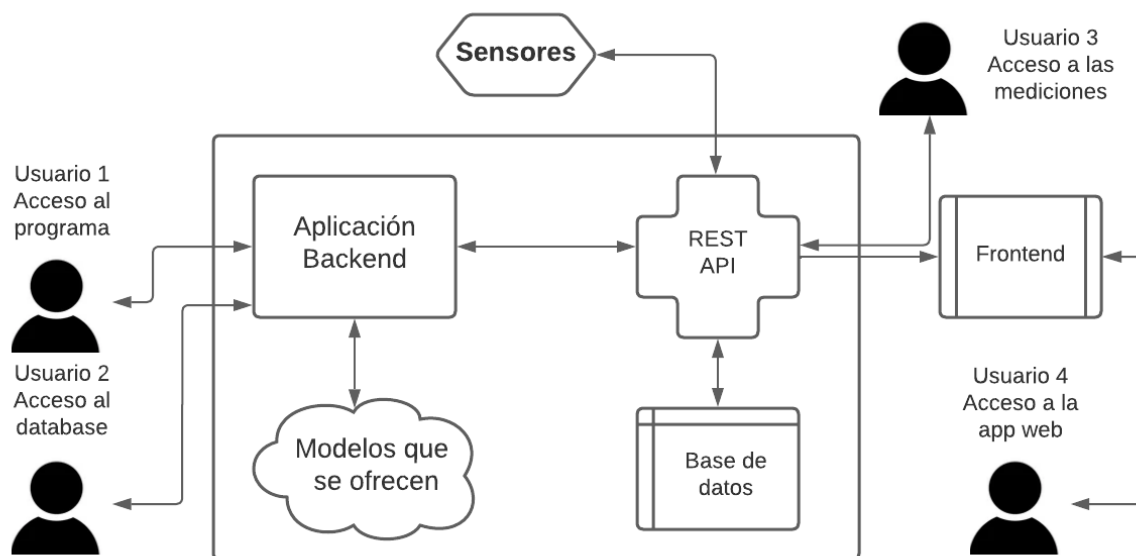


Figura 1. Arquitectura del sistema GmaaS

Fuente: Torres et al., 2019[38]

Elaborado por: Autores del artículo

Metodología

La integración de IoT posibilita nuevas formas de gestión de las "partes móviles" de la empresa, ya que se puede monitorear y controlar en tiempo real el estado de vehículos, personas, equipos y productos (Masood & Sonntag[20]). Los sensores y actuadores pueden integrarse en objetos IoT para poder responder de manera autónoma a situaciones en diferentes escenarios de acuerdo con ciertas reglas (Manyika, 2013). Por tanto, podemos imaginar el potencial del IoT a través de las diversas aplicaciones y departamentos de la industria que se pueden desarrollar (Ghobakhloo, 2020) [13]. Esto ha permitido que las tecnologías IoT se integren mejor a la industria agrícola con el paso de los años, por esta razón se procedió a realizar una revisión de artículos científicos. En el trabajo de Talavera et al. (2017) [35] se hizo una revisión similar utilizando bibliotecas digitales y motores de búsqueda de las principales bases de datos de artículos científicos durante la fase de búsqueda, luego los resultados se compilaron a mano mediante un criterio de contenido científico y relevancia, al final obtuvo datos favorables sobre trabajos científicos relacionados a las aplicaciones IoT en los campos de agroindustria y ambiente.

Por otro lado, dos casos de estudio de la revisión bibliográfica fueron tomados para realizar un estudio de los sensores IoT utilizados en estos trabajos para obtener una descripción taxonómica. Esto implica que sea necesario partir de un marco metodológico que permita extraer una o varias características de los sensores IoT. En la actualidad, se pueden encontrar varios trabajos con propuestas taxonómicas para las IoT donde cada una toma algún aspecto del sensor como referencia. Por ejemplo, en el trabajo de (Rosza et al., 2016)[32] se realiza una taxonomía según el tipo de medida que provee el sensor y por otro lado en un trabajo presentado por (Taivalsaari & Mikkonen, 2018)[36] la taxonomía se realiza según la arquitectura de software, en la Tabla 1 se puede observar una comparación de las distintas taxonomías encontradas.

Tabla 1. Algunas taxonomías propuestas por varios actores para las aplicaciones IoT

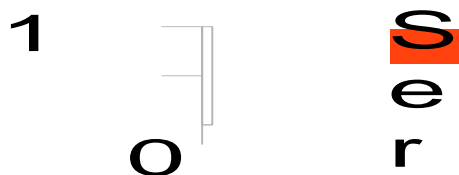
No	Autores	Año	Criterio taxonómico	Grupo	No de Subgrupos
1	Mukrimah Nawir, Amiza Amir, Naimah Yaakob, Ong Bi Lynn.	2016	Ataques cibernéticos dentro de las redes IoT para asistir a los desarrolladores (Nawir et al., 2016). [26]	Propiedad del dispositivo	2
				Localización	2
				Estrategia	2
				Nivel de acceso	2
				Basado en protocolo	2
				Nivel de daño de la información	5
				<i>Host-based</i>	3
Pila de comunicación	5				
2	Vitor Rosza, Marta Denisczicz, Moisés Dutra, Parisa	2017	Identificación y categorización de los principales sensores	Movimiento	6
				Posición	5
				Ambiental	12

	Ghodos, Catarina Da Silva, Nader Moayeri, Frédérique Biennier, Nicolas Figay.		usados en el modelo para ordenarlos según el tipo de medida que recibe (Rosza et al., 2017).[32]	Medida de masa <hr/> Biosensor	14 4
				Administración de almacenamiento	 3
3	Sachin Babar, Parikshit Mahalle, Antonietta Stango, Neeli Prasad, Ramjee Prasad	201 0	Analizando los problemas de seguridad y privacidad de las IoT (Babar et al., 2010)[2]	Administración de identidad <hr/> Amenaza de comunicación <hr/> Amenaza física <hr/> Unión dinámica <hr/> Seguridad integrada	4 3 2 3 4
					Sin subgrupo s
4	Antero Taivalaari y Tommi Mikkonen	201 8	Según las opciones de arquitectura de software que poseen los dispositivos IoT utilizados en el sistema (Taivalaari & Mikkonen, 2018)[36]	Tiempo de ejecución del lenguaje <hr/> Full OS <hr/> App OS <hr/> Servidor OS	Sin subgrupo s Sin subgrupo s Sin subgrupo s

			Contenedor OS	subgrupos	
5	Paul Rosero, Vivian López, Diego Peluffo	2022	Basándose en una clasificación de como un sensor realiza el muestreo de datos y el procesamiento de los datos (Rosero et al., 2022)[30]	Protocolo de comunicación	2
			Digital	2	
			Análogo	2	

Para la industria 4.0 la información que ingresa para poder tomar decisiones es fundamental, esto incluye cómo se manejan los datos del ambiente (Fettermann et al., 2018)[11], además las clasificaciones taxonómicas permiten la organización de áreas de conocimiento para mejorar el acceso y la comprensión de la información (Gröger, 2018)[14]. Por otro lado, como se vio en la sección anterior, los datos del ambiente son importantes para los modelos de aplicaciones IoT aplicados a la agroindustria puesto que la interacción con el ambiente es fundamental para el estudio de la agricultura, esto implica la necesidad de describir las IoT a través de los sensores . Según la tabla 1, se puede observar que solo las taxonomías 1, 4 y 6 parten de un criterio taxonómico basado en los sensores. Para seguir con la selección de la mejor taxonomía partimos del criterio de la frecuencia de los datos del ambiente cuando se trata de sistemas agrícolas, esto influye en la frecuencia del muestreo. Además, si observamos la figura 2 encontramos que algunas taxonomías tienen una gran cantidad de grupos lo cual vuelve más compleja la selección de un tipo.

Figura 2. Distribución de subgrupos que contienen las taxonomías

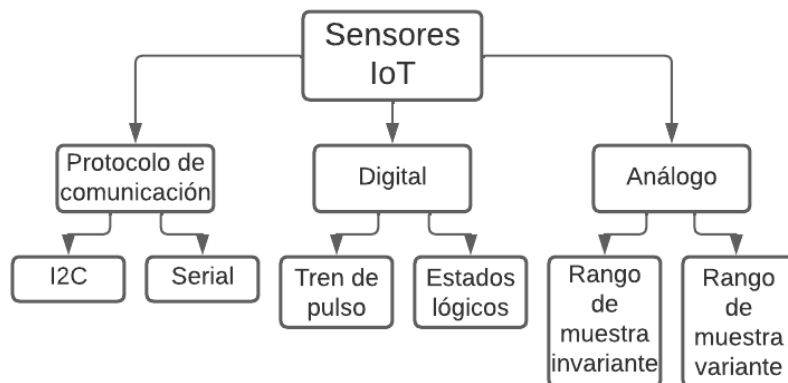


Fuente: Autores del artículo

Elaborado Por: Autores del artículo

En la figura 2 se puede observar que la clasificación de Rosero et al. [30] Es muy simple como para describir en su totalidad los sensores IoT, por otro lado Rosza et al.[32] Tiene una complejidad excesiva en su taxonomía para los fines de este artículo. Para este trabajo, la taxonomía más útil para analizar y describir las aplicaciones IoT usadas en la agroindustria es la que tiene un criterio basada en el preprocesamiento de datos y frecuencia de muestreo, es decir la taxonomía 6 (Tabla 1), además, debido a que no tiene una complejidad excesiva (Figura 2) ya que el orden taxonómico que tiene (número de subgrupos) permite identificar las características más importantes de los sensores y esto es beneficiosos cuando nos referimos a aplicaciones IoT en la agroindustria. Utilizando la taxonomía 6 podemos obtener características importantes de la aplicación ya que están bien diferenciadas entre sí, además se puede realizar un proceso inverso, es decir determinar las características de los sensores dentro de un modelo para luego clasificarlos dentro de la taxonomía, en el presente artículo realizamos este proceso para dos casos de estudio donde se puede observar que el modelo utilizado fue el GMaaS.

Figura 3. Taxonomía de los sensores IoT considerando las características del procesamiento de los datos



Fuente: Rosero et al., 2022[30]

Elaborado por: Autores del artículo

En la figura 3 se aprecia un diagrama taxonómico con los grupos y subgrupos que se utilizarán en el presente artículo para describir las aplicaciones IoT.

Sensores y preprocesamiento de datos

El creciente uso de la electrónica en la industria brinda oportunidades para el desarrollo de varios tipos de sensores (Chen et al., 2017). De hecho, nuevas tendencias tecnológicas como el Internet de las Cosas (IoT) han ampliado el campo de investigación mediante sensores. Así, en las primeras etapas del desarrollo del sensor, MacRuairi et al. (2008) [21] propuso una taxonomía de los requisitos de los sensores para hacer coincidir ciertos sensores con escenas reales. Posteriormente, Fowler et al. (2009) [12] presentó un estudio relacionado con los materiales utilizados para la fabricación de sensores. Según Fowler (2009) [12] los sensores presentan desafíos y oportunidades en el entorno de las IoT junto, además asevera que cada sensor presenta un conjunto de soluciones, lo que le permitió comparar y describir brevemente los problemas que aborda cada categoría taxonómica. El alcance de la tecnología IoT llega incluso a abordar temas de aprendizaje automático, por ejemplo Morrison et al. (2018)[23] presentan un estudio pionero de sistemas de adquisición y análisis de datos de sensores. En esta área de investigación, Tiboni et al. (2019)[37] describieron sensores y actuadores en un exoesqueleto utilizando una canalización de aprendizaje automático. Toda esta información receptada por los sensores forman

un volumen amplio de datos del cual se requiere extraer patrones por parte del sector industrial, entonces es necesario que estos datos sean preprocesados para que se puedan analizar.

El trabajo más relevante en el área de preprocesamiento de datos comienza con Yang et al. (2014)[42] el cual proporciona trabajos relacionados sobre métodos de filtrado de datos utilizando optimización de períodos de muestreo no uniformes para redes de sensores inalámbricos (WSN). Luego, Deepshukha et al. (Bhat et al., 2015)[4] desarrolló un filtro FIR digital de baja potencia en FPGA para la reducción de ruido en WSN. Por su parte, Safaei et al. (2022)[33] demostró un nuevo método que integra el análisis de series temporales, la entropía y la clasificación aleatoria de bosques. Para el sesgado de datos se introdujo la detección de sesgo para datos no uniformes producidos en algunos sensores ya que operan bajo condiciones discontinuas espaciales como por ejemplo como las causadas por el sombreado en los sistemas fotovoltaicos.

Tabla 2. Características de cada subgrupo de la taxonomía

Sensores IoT								
Protocolo de comunicación		Digital			Análogo			
I2C	Serial	Tren de pulso	Estados lógicos		Rango de muestra invariante	Rango de muestra variante		
Estos sensores fueron diseñados para recolectar señales continuamente para detectar cambios en propiedades clave	Debido a su aplicación, estos sensores funcionan varias veces al día. No tienen una frecuencia de muestreo fija, ya que se enfocan en la misma	Cuando los transductores detectan un cambio en una cantidad física como la temperatura, la humedad o la distancia, cambian la frecuencia de ráfaga	Usa solo dos valores lógicos, vs. O 5 vs detectando amplitudes físicas independientes de sus variaciones, y 0v si no se puede detectar	dos 3.3 vs 5 vs	El sensor usa dos pines para enviar mensajes otro para recibirlos, protocolo agrega componentes inalámbricos como Bluetooth	Tienen un nuevo conector y enchufe llamado Qwiic, el cual permite conectar solo dos pines. Uno es a la	un de de	

cantidad de muestras por activación [6] la amplitud dispositivos IoT del reloj y el otro es la línea de transmisión.

Rosero et al. [30] remarca en su trabajo que se ha profundizado en el preprocesamiento de datos en dispositivos IoT, pero la mayoría de los métodos implementados para escenarios específicos no requieren la selección de criterios de filtrado, lo que causa que la detección de valores atípicos sea una tarea difícil si los datos son corrompidos por causas externas. Finalmente, gracias a la bibliografía consultada se puede detectar que el filtrado de datos tiene problemas por resolver, los cuales están más enfocados en el proceso de recolección de datos y la frecuencia de muestreo según cómo trabaja cada sensor, por eso una descripción mediante la taxonomía propuesta en la metodología de este trabajo parece factible para determinar características importantes sobre el sensor IoT (Tabla 2). Los sensores IoT requieren de procesadores para realizar las mediciones, cálculos y transformación de los datos para enviar información lo cual aumenta la precisión de la medición. El avance de estas tecnologías con la implementación mejor tecnología ha influido en el desarrollo de las aplicaciones IoT, según demuestra la figura 4 y la figura 5.

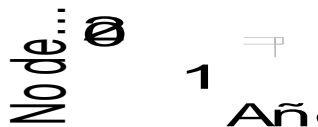


Figura 4. Publicaciones de artículos científicos en IoT aplicados a la agroindustria y ambiente

Fuente: Autores del artículo

Elaborado por: Autores del artículo

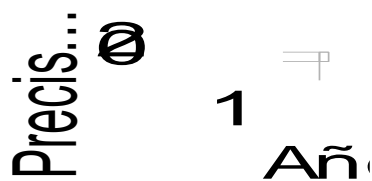


Figura 5. Publicaciones de artículos científicos en IoT aplicados a la agroindustria y ambiente

Fuente: Autores de artículo

Elaborado por: Autores del artículo

Para la construcción de la figura 4 se tomo como base la revisión bibliográfica sobre sensores IoT realizada por Talavera et al. (2017)[35], por otro lado la figura 5 es un compendio de la evolución de las termocuplas en entre los años 2006 y 2016, el cual es un instrumento de temperatura que suelen usar los sensores para medir y extraer datos del ambiente. Los datos de sensibilidad fueron recolectados con la lista de calibración de tolerancias según IEC 584 y luego revisando en que año apareció la tecnología. Podemos observar que la precisión del instrumento de medición de temperatura con los años ha ido descendiendo gracias al avance tecnológico lo que de cierta forma favorece a las aplicaciones IoT en la agroindustria, esto debido a que en este campo de la ingeniería la medición de la temperatura es una variable física importante.

Descripción de una aplicación IoT basado en GMaaS

La arquitectura de un sistema basado en GMaaS tiene tres capas importantes, que son: productores de contexto, el *backend* y el *fronten*. La primera capa del sistema genera toda la información de contexto. Para generar esta información los dispositivos físicos deben poder recopilar información del entorno, estos equipos consisten en un conjunto de microcontroladores y software para actualizar dispositivos, es decir los sensores se ocupan de recopilar la información. La segunda capa extrae los datos de la anterior capa realizando y es el que realiza el procesamiento de datos, opera las bases de datos y servicios REST. Por último, la tercera es la

que tendrá interacción con el usuario bajo el paradigma de la digitalización de la agricultura propuesta por Sanchez et al. (2018)[34] en su trabajo sobre una arquitectura abierta de datos para el control óptimo del crecimiento de cultivos. En el siguiente diagrama podemos apreciar mejor las tres capas descritas.

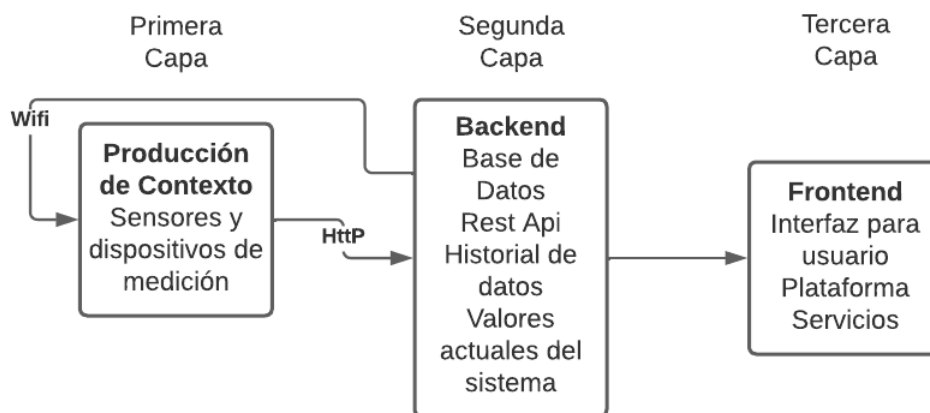


Figura 5. Diagrama de las capas en un IoT basado en GMaaS

Fuente: Torres et al., 2019[38]

Elaborado por: Autores del artículo

Con la arquitectura establecida en un modelo GMaaS tiene el objetivo de ofrecer algunos servicios con distintos fines, entre los cuales tenemos: datos históricos, datos en tiempo real, pronóstico del tiempo y modelos. Los modelos son el servicio central de las nuevas plataformas GMaaS y están basados en los modelos DSS para obtener pronósticos sobre las condiciones climáticas interiores, la producción de cultivos o las necesidades de riego, entre otros. Los modelos se implementan en código M utilizando Matlab y se integran como servicios en el entorno Matlab Production Server, donde los modelos de invernadero están disponibles para estimar el clima interior, la producción de cultivos y los valores de riego (Duan et al., 2015)[8].

Tabla 3. Servicios prestados por un sistema GMaaS

Service	Método	Parámetros de entrada
	HTTP	

Registro de una nueva estación IoT	POST	estación id, estación type, atributos, tipo, valor, metadato (...)
Historial de datos	GET	sensor id, estación id, fecha inicial, fecha final
Valores del sistema	GET	sensor id, estación id
Pronóstico de tiempo	GET	lat, lon, lang, clave, horas
Modelo climático	POST	[[temp interna, rel. hum. interna, temp del suelo], [pronóstico de temperatura exterior], [pronóstico de velocidad del viento exterior], [pronóstico de radiación exterior], [pronóstico de humedad exterior]]
Modelo de producción	POST	[ID sensor, ID estación, fecha de inicio, fecha actual]
Modelo de irrigación	POST	[ID sensor, ID estación, fecha de inicio, fecha actual, lat, long]

Con los datos de la tabla 3 nos centraremos en analizar los modelos que existen como servicios en el sistema, según Torres et al. (2019)[38] en modelo climático las variables de respuesta es la temperatura, humedad relativa y la radiación solar, en el modelo climático tenemos el peso de frutos secos, el peso de frutos secos maduros, el peso total de frutos y el índice de área foliar, por último el modelo de irrigación devuelve el tiempo de irrigación, volumen de irrigación y requerimientos de nitrógeno.

Estudio de casos de sistemas IoT con GMaaS

En esta etapa búsqueda bibliográfica se define un protocolo para aceptar o rechazar un artículo científico lo cual incluye algunas etapas, las cuales son: preguntas de la revisión bibliográfica, estrategias de búsqueda, criterios de selección, métodos de extracción y síntesis de datos. En el estudio de Talavera et al. (2017)[35] consideran dos preguntas para realizar la revisión bibliográfica y son:

1. ¿Cuáles son las soluciones técnicas más importantes para el IoT en la agricultura, la industria y el medio ambiente?

2. ¿Qué infraestructuras y tecnologías son las principales soluciones utilizando IoT en los sectores agroindustrial y ambiental?

La aplicación de las tecnologías IOT se debe de beneficiar a corto o medio plazo según aplicado en el campo empresarial que se desea implementar. El desarrollo de la industria 4.0 ha generado un avance en el desarrollo de las tecnologías iot, la compañía *BOSH software innovation* es uno de los principales promotores en estas tecnologías mencionada que ayudan a transformar las actividades de la industria normal tradicional en servicios de la industria 4.0 (Laukotka et al., 2020)[18]. El avance de las TICS ayuda de una forma descomunal a la industria 4.0 puede ayudar a reducir el costo salarial o la productividad por empleado, los costes energéticos, la inversión del capital y el tamaño medio de la empresa (Xiong & Wang, 2022)[40].

En el trabajo de (Rodriguez, 2022)[29] se estudia una arquitectura IoT inteligente para el sector agrario e industrial que ayuda a solucionar los problemas de interoperabilidad a través de sensores con una accesibilidad cerrada, entre las que destaca herramientas de predicción climatológica en el interior de un invernadero, crecimiento de cultivo y necesidades futuras de riego para la toma de decisiones, que lleva el nombre de GmaaS, por sus siglas en inglés *Greenhause models as a service*. El impacto de la creación de esta arquitectura se refleja en el reconocimiento por parte de la empresa MathWorks como “Casos prácticos de éxito” (Mathworks, 2021)[22].

En estudio de Muñoz et al. (2022)[25] Se presenta un caso de estudio llamado el modelo de recolección Tomgro y cita a Jones et al. (1999) [17] para mayor información sobre las ecuaciones y una descripción más específica de las características , las cuales son:

El número de nódulos depende de la tasa de nodulación, que depende de la temperatura del invernadero. Los cálculos de LAI incluyen temperatura media diaria, coeficientes empíricos y densidad de plantas. La cantidad total de materia seca depende de la tasa de crecimiento del cultivo. El crecimiento se calcula principalmente en función de la tasa fotosintética menos la respiración del cultivo y se calcula utilizando función de distribución seca sobre las raíces en función del número de nudos. Los cálculos de la tasa fotosintética se basan en la temperatura del invernadero, la radiación fotosintéticamente activa (PAR), el CO₂ y el LAI. Por otro lado, el término de respiración se derivó de la temperatura del invernadero y la materia seca total. La materia seca de la fruta incluye los fenómenos de división de la fruta y la transición de las fases de crecimiento vegetativo a reproductivo. Además, se considera el efecto de la temperatura media

del invernadero sobre la distribución entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. Finalmente, la materia seca es de frutos maduros inmediatamente proporcionó fruta madura premio. Entonces se calcula usando una función efecto de la temperatura en la maduración de frutos, este cálculo se activa cuando se alcanza un cierto número de nodos. En resumen, el patrón de crecimiento de los cultivos de tomate teniendo en cuenta la radiación PAR, la temperatura del invernadero y el suministro de CO₂, proporciona la masa seca total, el índice de área foliar, la materia seca de la fruta, la materia seca de la fruta madura y el número de nódulos (Jones et al., 1999)[17].

Los autores de este trabajo remarcan que se puede optar por dos opciones de servicio usando el marco de GMaaS, uno a través de matlab en formato JSON y otro a través de un servicio web. En ambos casos, los modelos se ejecutan a través de los mismos datos de entrada, por lo cual los sensores usados son los mismos, entre los que tenemos: el nivel de CO₂, la temperatura y la radiación PAR, teniendo en cuenta que existen dos valores de suministro preestablecidos para el CO₂, lo que permite a los usuarios observar el impacto que tiene el suministro de CO₂ en el cultivo. Los datos receptados por los sensores de temperatura y radiación fueron graficados en relación con el tiempo, los resultados se presentan en la Tabla 4.

Según el modelo es necesario que exista una recolección de datos constante entre variables físicas que difieren entre sí, puesto que las tres variables están relacionadas a través de un modelo predictivo, lo que requiere de una retroalimentación constante por parte del sensor y el *backend* del sistema GMaaS. Al observar las características del caso de estudio y los requerimientos que deben tener los datos para el análisis se puede aseverar que se trata de un sensor de rango de muestra invariante, utilizando la taxonomía propuesta en la metodología del presente trabajo. Otro punto clave que permite determinar la naturaleza de los sensores usados en el modelo es el comportamiento en que se presentan los datos, puesto que existe una comunicación y recepción de datos continua entonces las gráficas de tiempo vs variable aparecerán de manera suavizada lo cual coincide con el comportamiento de la figura (Tabla 4).

En otro estudio presentado por Berenguel et al. (2020) propone una solución basada en la nube a los problemas del cultivo de plantas de invernadero a través de sistemas IoT, ofreciendo servicios de: datos históricos, valores actuales, pronóstico del tiempo, modelo climático, modelo de producción de tomate y modelo de riego.

El modelo climático de invernadero usado está basado en una combinación de modelo único para estimar las condiciones climáticas interiores en cuanto a temperatura, radiación global, dióxido

de carbono y humedad relativa, lo cual requiere instalar la facilidad de intercambio de información entre los distintos componentes para disminuir el número de ecuaciones a resolver (Sanchez et al., 2018)[34]. Con este fin, es necesario implementar sensores que tengan comunicación continua entre sí y que facilite la toma de datos continua. Además, se conecta con el modelo de producción el cual permite a los usuarios comprender lo que sucede en el invernadero desde el momento en que se inicia una operación hasta el momento en que se solicita un servicio. El modelo de producción encapsulado en GMaaS tiene un servicio API REST que se invoca mediante el protocolo HTTP.

Este modelo es proporcionado por los servicios y modelos antes mencionados para la información del historial de datos y los valores actuales del sensor. La respuesta del modelo devuelve cinco variables al usuario en formato JSON: tiempo, peso seco de la fruta, peso seco total, peso seco de la fruta madura y LAI. Luego en la fase de modelo de irrigación se describe cómo funciona el modelo de riego de invernaderos interiores, que es uno de los servicios que brinda el sistema GMaaS. El usuario comprende las futuras necesidades de agua del invernadero y recomienda instrucciones de riego para las próximas 48 horas. El modelo se invoca utilizando los datos de entrada que se muestran en la Tabla 3. Las principales variables de estado requeridas por este modelo son sensor de ID, ubicación de ID, fecha de inicio de actividad, fecha actual, latitud y longitud. Entonces se puede inferir que los principales datos requeridos para los dos modelos generados en el sistema GmaaS de la arquitectura estudiada son la temperatura, humedad relativa y radiación solar. La complejidad de los datos que reciben los sensores en un sistema IoT deben tener interconectividad entre ellos para dar parámetros de respuesta que permita al usuario tomar decisiones, lo cuál requiere de parámetros de entrada que dependen de que modelo se analice dentro del sistema. Por lo cual hacemos una comparación de las variables que existen en los tres modelos que componen GMaaS.

Figura 6. Parametros de entrada y salida en el modelo GMaaS del primer caso



Fuente: Autores del artículo

Elaborado por: Autores del artículo



Figura 7. Parametros de entrada y salida en el modelo GMaaS del segundo caso

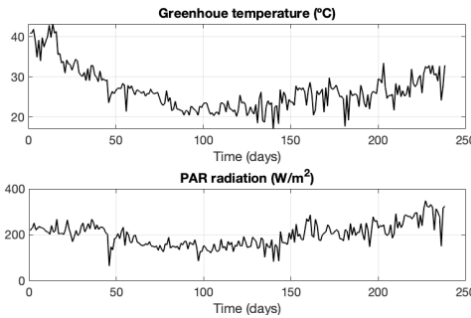
Fuente: Autores del artículo

Elaborado por: Autores del artículo

En la Figura 5 y Figura 6 observamos una comparativa de las variables que intervienen en cada modelo del sistema GMaaS de los dos casos de estudio. En primer lugar debemos remarcar que el primer sistema no cuenta con un servicio de modelo de irrigación, ya que el segundo fue presentado un año después cuando ya se tenía un mejor conocimiento sobre los sistemas de agricultura digital. Los modelos climáticos y de producción si pueden compararse, lo que indica una mayoría de variables de entrada en los modelos climáticos que en los modelos de producción, esto coincide con las teorías de meteorología y climatología, donde los sistemas tienen una alta

complejidad multivariante. (Lopez et al., 2021)[19]. De hecho en el mismo trabajo de Muñoz (2020)[25] se observan dos ejemplos de estudio y presenta los resultados procesados a través de imágenes de valores climáticos a través del tiempo, citamos una de esas imágenes en la Tabla 4. Con toda la información revisada en los trabajos presentados y como se recibieron antes del procesamiento, podemos utilizar la taxonomía propuesta en la metodología. De acuerdo con el modelo, se requiere una recopilación continua de datos entre variables climáticas que se miden en distintas unidades físicas, a pesar de que las tres variables principales están relacionadas a través de modelos predictivos con el fin de ejecutar acciones de respuesta. Tales condiciones implican que los sensores tengan una retroalimentación continua de los sensores y sistema interno, es decir con los modelos, para que pueda haber un ajuste de datos con los modelos, esto permite una mejor toma de decisiones (DDS). Mirando las características del caso de estudio y los requisitos para el análisis de datos, se puede clasificar a este sensor del tipo *rango de muestra invariable*, incluso podemos observar el tipo de gráficos generados en la Tabla 4 y coincide con el comportamiento de este tipo de sensores.

Tabla 4. Casos de estudio que utilizaron el modelo GMaaS

Nombre del Estudio	Año	Sensor	Variables	Respuesta	Imágenes generadas
Una nueva plataforma basada en IoT para la producción de cultivos de invernadero	2019	De tiempo real	Temperatura Radiación PAR CO2	Índice de área floreal Peso de frutos Peso de frutos maduros	 <p>The figure contains two line graphs. The top graph is titled 'Greenhouse temperature (°C)' and shows a fluctuating line that starts at approximately 40°C at day 0 and generally trends downwards to around 20°C by day 250. The bottom graph is titled 'PAR radiation (W/m²)' and shows a fluctuating line that starts at approximately 200 W/m² at day 0 and remains relatively stable between 100 and 300 W/m² throughout the 250-day period.</p>

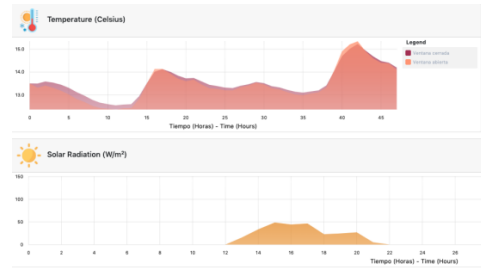
Modelos de invernadero como servicio (GMaaS) para simulación y control

De Temperatura y Humedad relativa Radiación solar

2022

Peso de frutos secos

Peso de frutos secos maduros



Conclusiones

En este artículo de revisión bibliográfica se analizó cómo la industria 4.0 ha tomado fuerza en los procesos de la agroindustria a través de aplicaciones IoT en los sistemas agrícolas, para lo cual se han implementado sensores de medición de variables físicas. Uno de los nuevos modelos bajo este paradigma que ha influido en la agroindustria es el de *Greenhouse Model as a Service*, el cual realiza una automatización de los procesos de un invernadero para la toma de decisiones de los agricultores. Se determinó cual es la mejor taxonomía que permita determinar características importantes de las aplicaciones IoT usados en requiere el modelo GMaaS, para lo cual se usaron criterios de complejidad taxonómica, la utilidad de los datos con respecto al ambiente y que tipos de variables, lo que concluyó en la elección de la taxonomía con criterio basado en el procesamiento de los datos y la frecuencia de muestreo.

Se analizo dos casos de estudio que utilizan el modelo GMaaS para crear la arquitectura de su sistema IoT, obtenido como resultado una comparación de las variables de entrada donde los sensores de meteorología tienen más complejidad que de producción, para poder ajustar a modelos predictivos o de patrones de comportamiento. Se puede concluir que los sensores más utilizados en los modelos GMaaS tienen su propia retroalimentación para que pueda haber un ajuste de datos con los modelos, esto permite una mejor toma de decisiones aquellos del tipo de *rango de muestra invariante*, ya que la arquitectura de estos requiere de una recepción constante de datos en el tiempo y la interconectividad de los resultados en los modelos.

Los sensores IoT son herramientas que permiten la interconexión e intercambio de información en tiempo real, en el caso del modelo GMaaS se ha implementado en mejorar la operabilidad de los invernaderos, por lo que la implementación de este modelo en los invernaderos de localidades que se dedican a la agricultura y floricultura sería un gran avance industrial. Es recomendable

implementar las tecnologías IoT en los invernaderos de vegetales y flores que requieren de un constante monitoreo bajo invernadero, como por ejemplo en los cultivares de tomate ubicados en Chugllin, cantón Chambo y los cultivos de flores ubicados en el barrio Jesús del Gran poder del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua.

Referencias

1. 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*, 17(4), 2347-2376.
2. Babar, S., Mahalle, P., Stango, A., Prasad, N., & Prasad, R. (2010). Proposed security model and threat taxonomy for the Internet of Things (IoT). In *Recent Trends in Network Security and Applications: Third International Conference, CNSA 2010, Chennai, India, July 23-25, 2010. Proceedings 3* (pp. 420-429). Springer Berlin Heidelberg.
3. Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776.
4. Bhat, D.; Kaur, A.; Singh, S. Wireless sensor network specific low power FIR filter design and implementation on FPGA. In *Proceedings of the 2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, India, 11–13 March 2015; pp. 1534–1536.
5. Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing industry 4.0 principles. *Computers & industrial engineering*, 158, 107379.
6. Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2017). Smart factory of industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. *Ieee Access*, 6, 6505-6519.

7. Devezas, T., & Sarygulov, A. (2017). Industry 4.0. Basel: Springer. (15) Devezas, T., & Sarygulov, A. (2017). Industry 4.0. Basel: Springer.
8. Duan, Y., Fu, G., Zhou, N., Sun, X., Narendra, N. C., & Hu, B. (2015, June). Everything as a service (XaaS) on the cloud: origins, current and future trends. In 2015 IEEE 8th International Conference on Cloud Computing (pp. 621-628). IEEE.
9. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
10. Faheem, M., Shah, S. B. H., Butt, R. A., Raza, B., Anwar, M., Ashraf, M. W., ... & Gungor, V. C. (2018). Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: Opportunities and challenges. *Computer Science Review*, 30, 1-30.
11. Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D. D., & Tortorella, G. L. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management?. *Journal of industrial and Production Engineering*, 35(4), 255-268.
12. Fowler, K. R. (2009, February). The future of sensors and sensor networks survey results projecting the next 5 years. In 2009 IEEE Sensors Applications Symposium (pp. 1-6). IEEE.
13. Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
14. Gröger, C. (2018). Building an Industry 4.0 analytics platform: practical challenges, approaches and future research directions. *Datenbank-Spektrum*, 18(1), 5-14.
15. Korze, S. Z. (2019). From Industry 4.0 to Tourism 4.0. *Innovative issues and approaches in social sciences*, 12(3), 29-52.
16. Javaid, M., Haleem, A., Vaishya, R., Bahl, S., Suman, R., & Vaish, A. (2020). Industry 4.0 technologies and their

- applications in fighting COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4), 419-422.
17. Jones, J., Kening, A., and Vallejos, C. (1999). Reduced state-variable tomato growth model. *Transactions of ASAE*, 42(1), 255–265.
18. Laukotka, F., Hanna, M., & Krause, D. (2021). Digital twins of product families in aviation based on an MBSE-assisted approach. *Procedia CIRP*, 100, 684-689.
19. López, I. Z., & del Arco, E. C. (2021). *Meteorología y climatología*. Universidad Nacional de Educación a Distancia–UNED.
20. Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261.
21. MacRuairi, R.; Keane, M.T.; Coleman, G. A Wireless Sensor Network Application Requirements Taxonomy. In *Proceedings of the 2008 Second International Conference on Sensor Technologies and Applications*
22. Mathworks (2021) Universidad de Almería develops and Deploys Greenhouse Models as a service to Maximize Crop Production – MATLAB simulink. Available at: <https://es.mathworks.com/company/user-stories/universidad-de-almeria-develops-and-deploy-greenhouse-models-as-a-service-to-maximize-crop-production.html>
23. Morrison, W.; Guerdan, L.; Kanugo, J.; Trull, T.; Shang, Y. TigerAware: An Innovative Mobile Survey and Sensor Data Collection and Analytics System. In *Proceedings of the 2018 IEEE Third International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC)*
24. Marcon, P., Zezulka, F., Vesely, I., Szabo, Z., Roubal, Z., Sajdl, O., ... & Dohnal, P. (2017, May). Communication technology for industry 4.0. In *2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS)* (pp. 1694-1697). IEEE.

25. Muñoz, M. Berenguel, M., Rodríguez, F., Torres, M., Guzmán, J. L. & Molina, J. A. (2020). A new IoT-based platform for greenhouse crop production. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(9), 6325-6334.
26. Nawir, M., Amir, A., Yaakob, N., & Lynn, O. B. (2016, August). Internet of Things (IoT): Taxonomy of security attacks. In *2016 3rd international conference on electronic design (ICED)* (pp. 321-326). IEEE.
27. Prause, M. (2019). Challenges of industry 4.0 technology adoption for SMEs: the case of Japan. *Sustainability*, 11(20), 5807.
28. Ramírez, A., Berenguel, M., Guzmán, J. L., & Rodríguez, F. (2015). Modeling and control of greenhouse crop growth (p. 250). Basel, Switzerland:: Springer International Publishing.
29. Rodriguez, M. M. (2022). IoT aplicado al sector agroindustrial, uso de modelos como servicio y arquitectura cloud. *V Jornadas de Doctorado en Informática*, 131, 118.
30. Rosero, P. D., López, V. F., & Peluffo, D. H. (2022). A New Data-Preprocessing-Related Taxonomy of Sensors for IoT Applications. *Information*, 13(5), 241.
31. Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644-1661.
32. Rosza, V., Deniszczwicz, M., Dutra, M. L., Ghodous, P., da Silva, C. F., Moayeri, N., ... & Figay, N. (2016, October). An Application Domain-Based Taxonomy for IoT Sensors. In *ISPE te* (pp. 249-258).
33. Safaei, M., Driss, M., Boulila, W., Sundararajan, E. A., & Safaei, M. (2022). Global outliers detection in wireless sensor networks: A novel approach integrating time-series analysis, entropy, and random forest-based classification. *Software: Practice and Experience*, 52(1), 277-295.
34. Sánchez, J. & Rodríguez, F., Berenguel, M., & Muñoz, M. (2018, July). Farms, Fogs and Clouds: Data open-

- architecture for optimal crop growth control for IoF2020 project. In Proceedings of the European Conference on Agricultural Engineering, Wageningen, The Netherlands (pp. 8-12).
35. Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., ... & Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 283-297.
36. Taivalasaari, A., & Mikkonen, T. (2018). A taxonomy of IoT client architectures. *IEEE software*, 35(3), 83-88.
37. Tiboni, M., Aggogeri, F., Pellegrini, N., & Perani, C. A. (2019). Smart modular architecture for supervision and monitoring of a 4.0 production plant. *International Journal of Automation Technology*, 13(2), 310-318.
38. Torres, M, Guzmán, J. L., Sánchez, J. A., Rodríguez, F., & Muñoz, M. (2019). Greenhouse models as a service (GMaaS) for simulation and control. *IFAC-PapersOnLine*, 52(30), 190-195.
39. Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. by Springer Nature.
40. Xiong, M., & Wang, H. (2022). Digital twin applications in aviation industry: A review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121(9-10), 5677-5692.
41. Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535.
42. Yang, B., Zhu, C., & Wang, Z. (2014). Distributed Sampled-Data Filtering over Sensor Networks with Markovian Switching Topologies. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.