

Foto: María Cristina Capurro

EL INTERNET DE LAS COSAS: su uso en la experimentación y el sector agronómico

Ing Agr. Msc. PhD. María Cristina Capurro¹,
Lic. Soporte TI Eduardo Martins²,
Téc. Soporte TI Akira Saito²,
Ing. Agr. Msc. Dr. Claudio García³,
Ing. Agr. Dr. Rafael Grasso⁴,
Ing. Agr. MSc. PhD Álvaro Roel⁵,
Ing. Agr. Mag. Adrián Cal⁶,
Téc. Soporte TI Ariel Cesan²

¹Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente;
Sistema Agrícola Ganadero - INIA

²Tecnologías de la información - INIA

³Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente - INIA

⁴Sistema Vegetal Intensivo - INIA

⁵Sistema Arroz Ganadería - INIA

⁶Área de Sistemas de Información y Transformación
Digital (GRAS) - INIA

Uno de los desafíos de los sistemas agropecuarios es la producción de alimentos de forma sostenible. La agricultura inteligente o “smart farming” ofrece un camino hacia la sostenibilidad a través del uso de la tecnología. Comprende el uso de tecnologías de información y comunicación (TIC) para la gestión agrícola, el internet de las cosas (IoT), la robótica, análisis de “big data”, computación en la nube y la inteligencia artificial (IA).

QUÉ ES EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

Existen múltiples definiciones de lo que es el IoT, es un concepto amplio. El término “Internet of things” se le atribuye a Kevin Ashton, cofundador y director ejecutivo de Auto-ID Center, un grupo de investigación en identificación por radiofrecuencia (RFID) y tecnologías de sensoramiento emergentes del Instituto de

tecnologías de Massachusetts (MIT). Ashton lo utilizó por primera vez en una presentación en 1999, para describir un sistema en el que internet está conectado al mundo físico a través de sensores (<https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>). El término describe una red de entidades conectadas a través de cualquier forma de sensor, permitiendo a estas entidades o “constituyentes internet-conectados”, ser

Arquitectura de un sistema IoT



Figura 1 - Diagrama de la arquitectura de un sistema de internet de las cosas (IoT).

localizados, identificados e incluso manipular sobre ellos, a través de internet. El objetivo de esta tecnología en la agricultura es proporcionar herramientas para la toma de decisiones de manera objetiva y la automatización de procesos, buscando mejorar la productividad, calidad y rentabilidad.

Un sistema IoT está formado por distintos componentes o niveles. Existen varios modelos de arquitectura de un sistema IoT, pero en términos generales se pueden identificar cinco componentes (Friha *et al.*; 2021) como se observa en la Figura 1.

DIGITALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA Y USOS DEL IOT EN EL SECTOR AGRONÓMICO

El uso de sensores IoT ya es parte de nuestra vida cotidiana y suele estar asociada a la palabra

"Smart". Puede ser tan simple como tener un sensor de temperatura dentro de tu casa que permita ver la temperatura en tiempo real desde el celular. Actualmente, incluso sensores antiguos pueden ser digitalizados y conectados a un sistema IoT. Por ejemplo, los caudalímetros analógicos en un proyecto llamado SIEP (<https://www.siepwater.com/>) fueron intervenidos por la empresa Wildeye (<https://www.mywildeye.com/>) y los datos pueden verse on-line. La plataforma permite guardar, visualizar datos y emite reportes semanales sobre la cantidad de agua utilizada en el predio.

Su uso en el sector agronómico tiene como principal objetivo permitir y facilitar la toma de decisiones más informadas, objetivas y precisas para la gestión de sus operaciones. Los dispositivos IoT pueden recopilar datos de cualquier tipo de sensoramiento, como humedad del suelo, temperatura del aire y canopia, niveles de agua

y altura de planta, imágenes y reflectancia, variables climáticas como velocidad del viento, radiación solar y cualquier otro elemento que pueda ser medido. Los sistemas IoT no solo permiten el envío de datos para ser visualizados y analizados, sino que también permiten actuar sobre las cosas (por ejemplo, prender y apagar un bombeo de agua usando una aplicación de celular) en sistemas más complejos.

Además, pueden tomar datos de otras fuentes, por ejemplo, datos de clima de un sitio web y combinarlos con datos de sensores *in situ*, para diseñar herramientas con información local. Por ejemplo, en un sistema de riego de precisión, las válvulas solenoides de riego podrían operarse automáticamente según las necesidades hídricas reales de los cultivos medidas con sensores *in situ* y combinadas con datos de clima locales tomados de un sitio web de confianza. Estos sistemas podrían utilizarse para ayudar a los agricultores a determinar cuándo y cuánto regar, hacer predicciones de necesidades de agua, detección de niveles o pérdidas de agua y presión del sistema, etc. y permitirían enviar reportes de estado y alarmas en caso encontrar fallas en el sistema.

Los sistemas IoT tienen múltiples aplicaciones, permiten detección de movimiento y rastreo de animales, cercado virtual del ganado, porteras automáticas, aplicación de herbicidas y detección de malezas, detección y predicción de ataque de plagas y enfermedades, monitoreo de variables climáticas, etc. Algunas de las aplicaciones IoT para la agricultura se pueden ver en la Figura 2. Y más en detalle en Friha *et al.*, 2021 y Chamara *et al.*, 2022.

La digitalización y automatización de la agricultura ha transformado las formas de producción. La digitalización permite análisis de datos, automatizar

Su uso en el sector agronómico tiene como principal objetivo facilitar la toma de decisiones y hacerla de forma más informada y objetiva para la gestión de las operaciones y automatización de procesos.

procesos de producción y desarrollar aplicaciones haciendo uso de la inteligencia artificial (IA) o *machine learning*. La IA se refiere al software y a los algoritmos usados para procesar y analizar datos y tomar decisiones en tiempo real. Estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la eficiencia del sector agrícola al mismo tiempo que disminuir costos, aumentar rendimientos y mejorar la calidad de vida de los operadores (USDA, 2023).

Los sistemas IoT son considerados sistemas de “big data” porque son grandes generadores de datos en volumen, velocidad y de una gran heterogeneidad (múltiples tipos de sensores y a distintas cosas, distintos tipos de datos), por lo que se asocian con la incorporación de análisis de grandes datos e IA para modelar relaciones entre los parámetros medidos, buscar correlaciones, tendencias, predicciones y entrenar modelos de IA. Luego, estos modelos podrían usarse para controlar actuadores para aplicación sitio-específica del riego o herbicidas, por ejemplo (Chamara *et al.*, 2022).

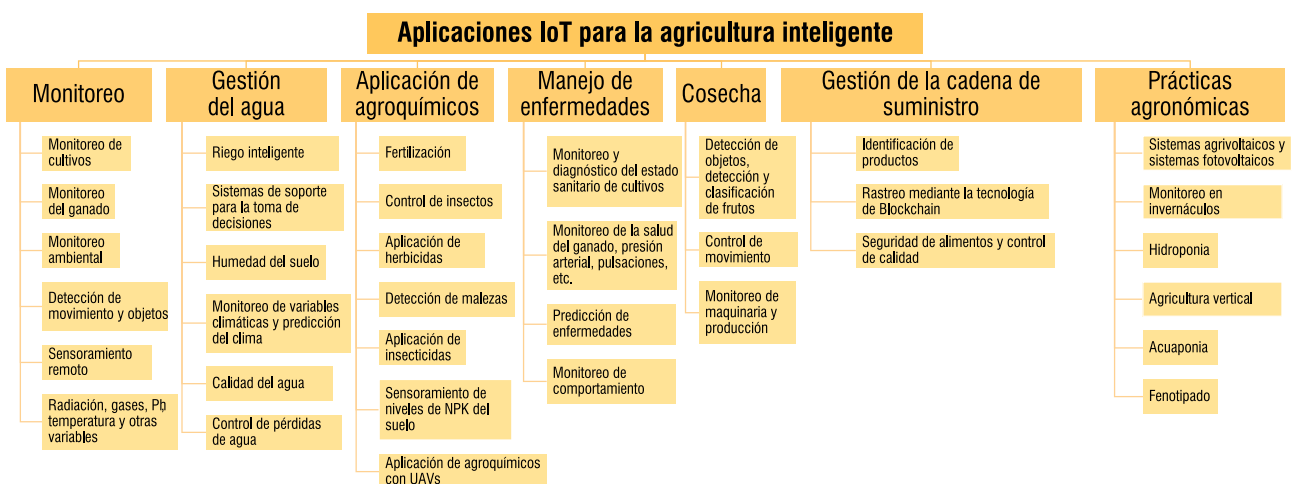


Figura 2 - Clasificación de aplicaciones IoT para la agricultura inteligente, adaptado de Friha *et al.* (2021).

INTEGRACIÓN DEL IOT Y EL “HAZLO TÚ MISMO” (DIY: “DO IT YOURSELF”)

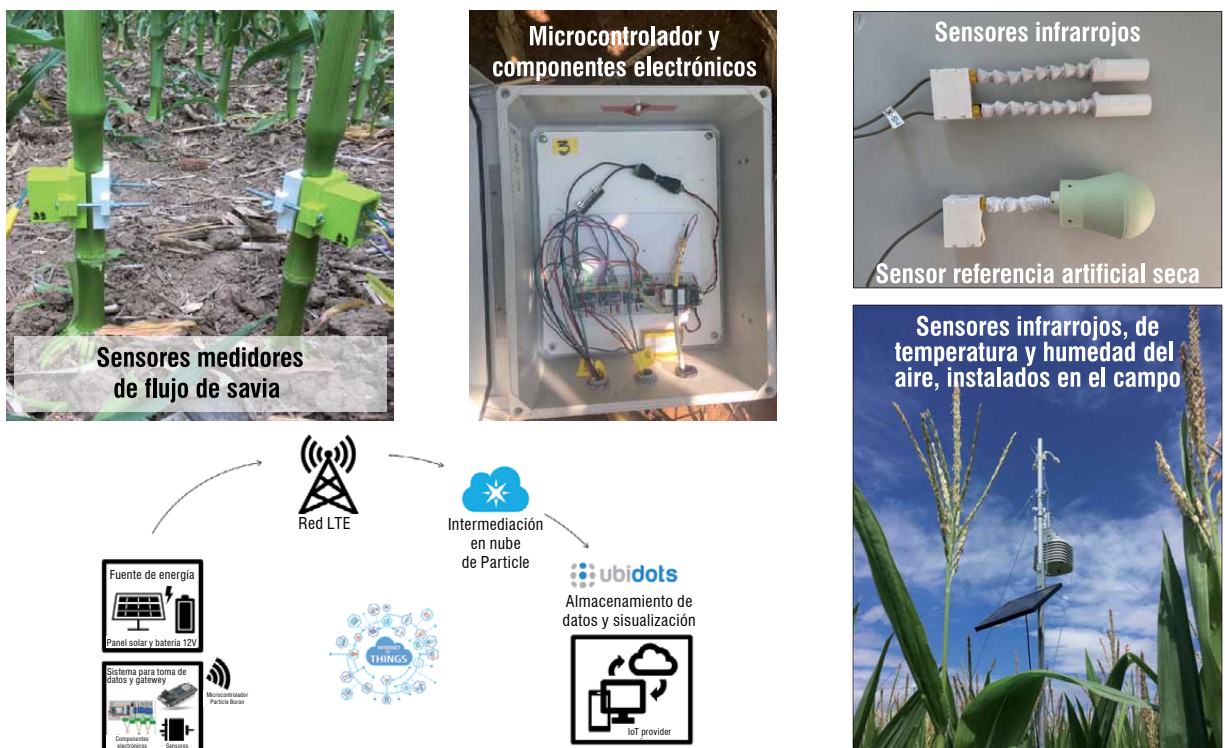
Durante los últimos años ha habido una tendencia a desarrollar "Hardware libre y de código abierto" (Pearce, J. 2017) para la ciencia, ingeniería y educación. Este concepto se centra en la reducción drástica del costo de los equipos de investigación utilizando placas de circuito impreso de bajo costo e impresión 3D. Así, los equipos son accesibles para el público en general, permiten al usuario construir réplicas de equipamiento de nivel científico a menor costo (lo que permite obtener más repeticiones) y favorece el trabajo colaborativo (Pearce, J. 2017).

De esta forma, se ha extendido el uso de la robótica y el "Do it yourself" (DIY) con fines educativos y científicos y existen diversos sitios web y revistas que muestran cómo usar esta tecnología para fines de entretenimiento o hobby, por ejemplo Hackster.io (<https://www.hackster.io/>) o científicos, como por ejemplo la revista HardwareX (<https://www.sciencedirect.com/journal/hardwarex>). Uruguay no es ajeno a este fenómeno e incentiva el uso de las placas programables micro:bit y Arduino, en proyectos de robótica promovidos por el plan ceibal (<https://microbit.ceibal.edu.uy/>; <https://www.elobservador.com.uy/nota/poder-en-miniatura-plan-ceibal-entrega-placas-para-que-ninos-aprendan-a-programar-201881515510>) en los que se acercan estas tecnologías a niños y adolescentes.

EXPERIENCIAS VINCULADAS AL RIEGO

Uniendo estos conceptos, en el marco de un doctorado (María Cristina Capurro) se fabricaron sistemas IoT y sensores de forma manual "DIY-IoT sensors", para medir el flujo de savia de maíz y cuantificar la transpiración en tiempo real, y sistemas de sensores de temperatura infrarroja con una referencia artificial seca, para cuantificar estrés y necesidades hídricas del cultivo de maíz, en Colorado State University, USA. En esta universidad también se usaron estas tecnologías para construir un muestreador automático de agua para estudios de su calidad. Los sistemas usan sensores y componentes electrónicos de bajo costo y componentes impresos en 3D.

Utilizan los dispositivos Boron de Particle (<https://store.particle.io/collections/boron-lte>) que usan la red de celular LTE para su comunicación. Los datos son almacenados y visualizados usando la plataforma Ubidots (<https://ubidots.com/>). Aquí se puede acceder a un breve video en el que se muestran el medidor de flujo de savia diseñado por el grupo de trabajo de micrometeorología del departamento de Soil and Crop de Colorado State University, https://www.youtube.com/watch?v=cS04K6_tMYo, y el muestreador de agua automático diseñado por el grupo de trabajo de calidad de agua de la misma Universidad, <https://www.youtube.com/watch?v=S10a2zaiSUA>. Estos sistemas serán testeados en INIA La Estanzuela en la próxima zafra de cultivos de verano, en proyectos relacionados con riego de cultivos.



Fotos: María Cristina Capurro

Figura 3 - Diagrama de los sensores y sistema IoT para medir flujo de savia y temperatura del cultivo.

INIA hace uso del IoT para múltiples aplicaciones. Por ejemplo, el área de Sistemas de información y transformación digital (GRAS) gestiona ocho estaciones meteorológicas automáticas (inia.uy/gras/Clima/Estaciones-on-line) usando dataloggers Campbell (www.campbellsci.com) (CR800 y CR1000) con un Gateway para red de celular GSM para envío de datos y software propio para almacenamiento y visualización de datos en el sitio web de INIA. Se utiliza también para el monitoreo de temperatura y humedad de invernáculos y cámaras de frío.

INIA La Estanzuela, por ejemplo, usa los sensores de temperatura y humedad Orbit 3 de Sensohive (<https://partners.sigfox.com/products/orbit-3-rc4>) utilizando la red LPWAN de Sigfox para transmisión de datos (<https://www.sigfox.com>). SigFox está disponible actualmente en casi todas las regionales INIA y varios puntos del país (<https://www.sigfox.com/coverage/>), al igual que la red NB-IoT de ANTEL (<https://www.antel.com.uy/web/iot/conectividad/conectividad-iot>). Para visualización de datos se desarrolló un software (Ariel Cesán) que permite monitorearlos accediendo mediante una dirección web. Se utiliza también para monitorear la humedad de suelo y controlar válvulas solenoides en los experimentos de fertirriego en

Existen muchas herramientas y maquinarias agrícolas que ofrecen la posibilidad de implementar estas tecnologías sin la necesidad de poseer una infraestructura previa o de realizar grandes inversiones.

Implementar soluciones de IoT puede ser más sencillo y asequible de lo que pensamos, gracias a lo familiarizados que estamos con la tecnología y su accesibilidad.

cítricos en INIA Salto Grande (Rafael Grasso, Eduardo Martins y Álvaro Otero). Utilizan sensores de humedad Teros11 (Meter Group, <https://www.metergroup.com/en/meter-environment/products/teros-11-soil-moisture-sensor>) y la toma de datos con dispositivos Evvos (<https://www.evvos.com/product/wireless-data-transmitter/>) que, para la comunicación, utiliza la red de SigFox. El almacenamiento, análisis y visualización de los datos se realiza en la aplicación de Datacake (<https://datacake.co>).

La automatización del riego es mediante controladores Sonoff, con wifi, y programaciones, alertas y monitoreo con plataformas open-source (Figuras 4 y 5).

En INIA Treinta y Tres, en experimentos de arroz y soja, se utilizan sensores IoT usando la red LoRaWAN, para seguimiento de la altura de lámina (sensor ultrasónico) y estimar las salidas de agua del sistema. Se utilizan también sensores de humedad de suelo (sensor FDR) para caracterizar su evolución (Álvaro Roel, Matías Oxley), a través de un trabajo en conjunto con la empresa InData (<https://indata.uy/>). En INIA Las Brujas (Claudio García, Akira Saïto) se llevó adelante con la Universidad Católica del

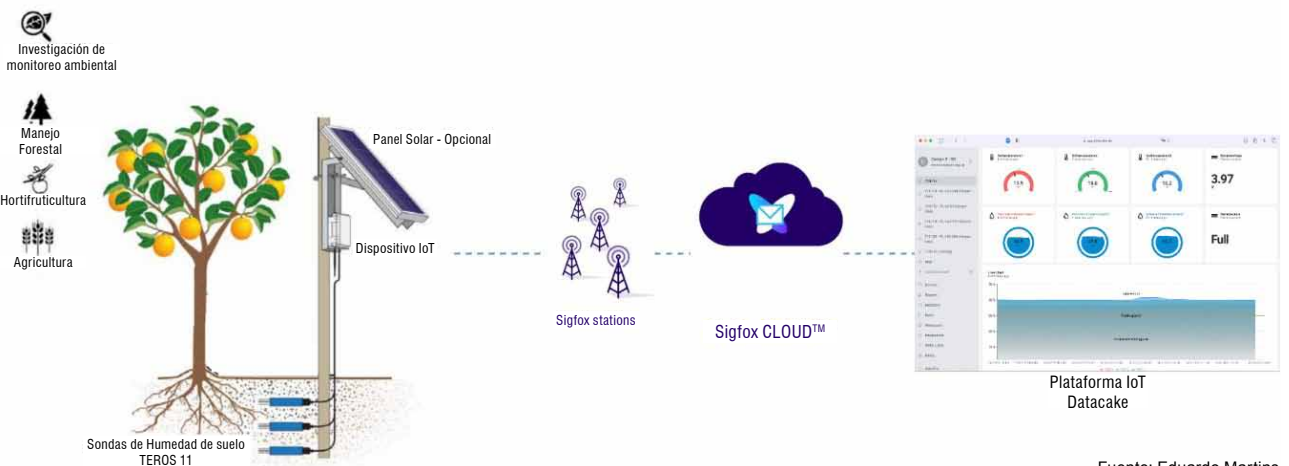


Figura 4 - Diagrama de los sensores y sistema IoT instalado en INIA Salto Grande.

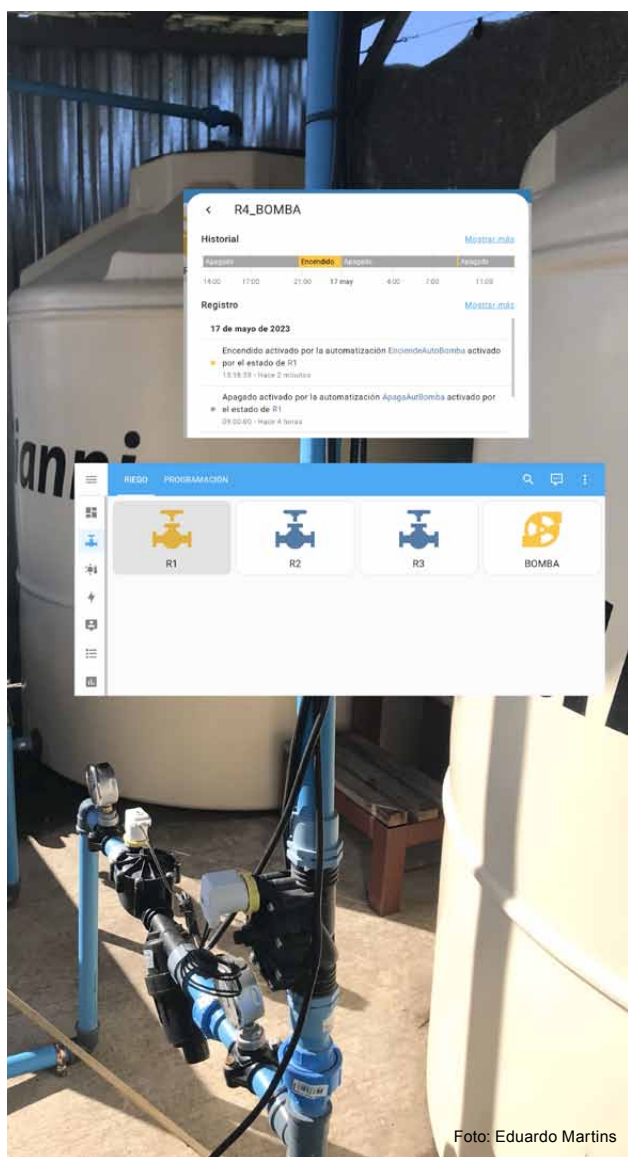


Foto: Eduardo Martins

Figura 5 - Sistema de bombeo automatizado y vista del panel de programación y monitoreo desde la aplicación IoT en INIA Salto Grande.

Uruguay (UCU), una tesis de grado (2021) donde se evaluó el uso de sensores FDR y la red LoRaWan en un ensayo a campo de manzana bajo riego por goteo. En esta misma línea de trabajo con UCU, esta próxima primavera 2023 se instalarán una serie de sensores de humedad de suelo que envían datos a través de la red LoRaWAN, incorporando además inteligencia artificial para controlar los comandos del riego y poder automatizarlo.

Desde INIA apostamos al uso de estas tecnologías en busca de nuevas herramientas para la gestión, la toma de decisiones y la sostenibilidad de la producción.

INIA está involucrado en el uso y desarrollo de tecnologías IoT, en busca de nuevas herramientas para la gestión, la toma de decisiones y la sostenibilidad de la producción.

REFERENCIAS

Chamara, N.; Islam, M.; Bai, G.; Shi, Y.; Ge, Y. 2022. Ag-IoT for crop and environment monitoring: Past present and future. *Agricultural Systems*. Vol. 203: 103497. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103497> .

Friha, O.; Ferrag, M.; Shu, L.; Malgaras, L.; Wang, X. 2021. Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies. *Journal of Automatica Sinica*. Vol. 8 (4):718-752. DOI: 10.1109/JAS.2021.1003925.

Pearce, J. 2017. Impacts of open-source hardware in science and engineering. In.: *The Bridge*. National Academy of Engineering. Vol. 47 (3), pp. 24-29. Founded in: <https://www.nae.edu/File.aspx?id=174936>.



Foto: Eduardo Martins

Figura 6 - Sensores de humedad de suelo en citrus.