



**HAL**  
open science

## Tecnologías aplicadas al sector agrícola

Soizic Gibeaux, Carlos Gonzalez, Javier Pitti, Diana Gómez, Florent Nolot,  
Olivier Flauzac, Asael Espinosa, Daniel Ponte

► **To cite this version:**

Soizic Gibeaux, Carlos Gonzalez, Javier Pitti, Diana Gómez, Florent Nolot, et al.. Tecnologías aplicadas al sector agrícola. 2022, 978-9962-17-413-4. hal-04809419

**HAL Id: hal-04809419**

**<https://hal.science/hal-04809419v1>**

Submitted on 28 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License



# Tecnologías aplicadas al sector agrícola



<https://iotpanama.net/>

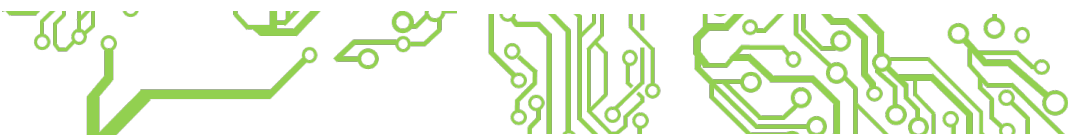


Esta obra esta licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribucion – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver esta licencia:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

e-ISBN: 978-9962-17-414-1

ISBN: 978-9962-17-413-4





## Colaboradores

**Dr. Carlos González**  
Especialista  
en Tecnología



**Dra. Soizic Gibeaux**  
Especialista en  
Ciencias Ambientales



**Dr. Javier Pitti**  
Ingeniero  
Agrónomo



**Dra. Diana Gomez**  
Especialista en  
Biología Vegetal



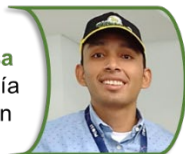
**Dr. Florent Nolot**  
Especialista  
en IoT



**Dr. Olivier Flauzac**  
Especialista en  
Redes Inalámbricas



**Mgtr. Asael Espinosa**  
Asistente tecnología  
y telecomunicación

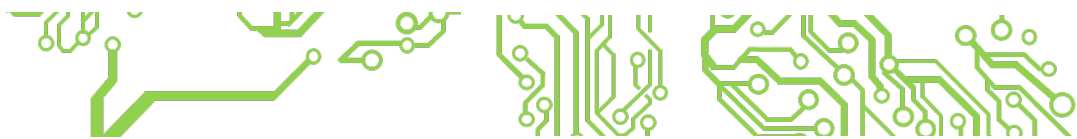


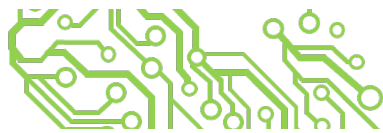
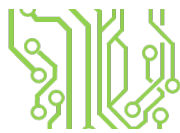
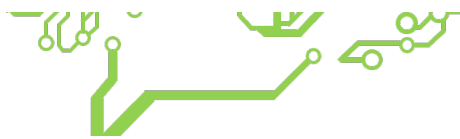
**Mgtr. Daniel Ponte**  
Asistente tecnología  
y telecomunicación



## Agradecimientos

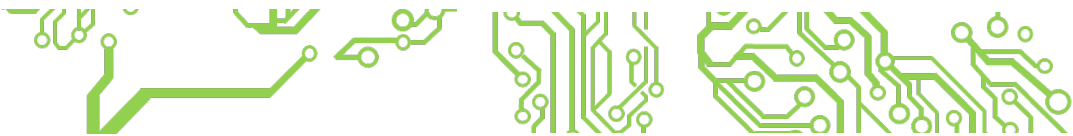
Agradecimiento especial a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) mediante el proyecto FIED19-R1-003 y la Vicerrectoría de investigación y posgrados de la Universidad Autónoma de Chiriquí por los permisos, así como los espacios facilitados para poder realizar este trabajo de investigación. A la Estación Experimental del IDIAP en Cerro Punta y a la empresa Passion Fruit por facilitar sus instalaciones para la instalación de los sensores.



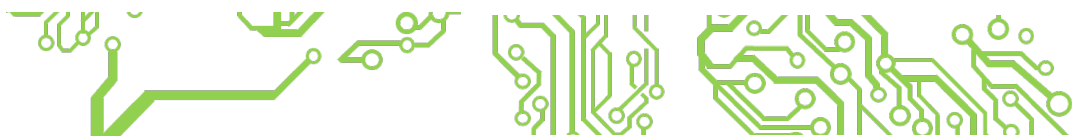


# Índice

|  |           |
|--|-----------|
| Índice.....  | 1         |
| Índice de figuras.....   | 3         |
| Índice de tablas.....  | 5         |
| INTRODUCCIÓN.....  | 7         |
| <b>1 CAPÍTULO 1 Que es el Internet de las Cosas (IoT)? .....</b>             | <b>9</b>  |
| <b>1.1 Definición y Contexto.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>1.2 Características .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>1.3 Arquitectura.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.3.1 Topología .....  | 13        |
| 1.3.2 Seguridad .....  | 15        |
| 1.3.3 Protocolo (MQTT).....  | 16        |
| <b>1.4 Aplicaciones.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2 CAPÍTULO 2 El mundo de la Inteligencia Artificial (IA).....</b>         | <b>21</b> |
| <b>2.1 Historia de la inteligencia artificial y el machine learning.....</b> | <b>21</b> |
| <b>2.2 Machine Learning.....</b>   | <b>24</b> |
| 2.2.1 Aprendizaje supervisado .....  | 26        |
| 2.2.2 Aprendizaje no supervisado.....  | 27        |
| 2.2.3 Aprendizaje reforzado .....  | 27        |
| <b>2.3 Dataset .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>2.4 Python .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>2.5 Anaconda.....</b>   | <b>30</b> |
| 2.5.1 Redes neuronales.....  | 31        |
| 2.5.2 Aprendizaje automático.....  | 31        |
| 2.5.3 Análisis predictivo.....   | 31        |
| 2.5.4 Visualización de datos.....  | 32        |

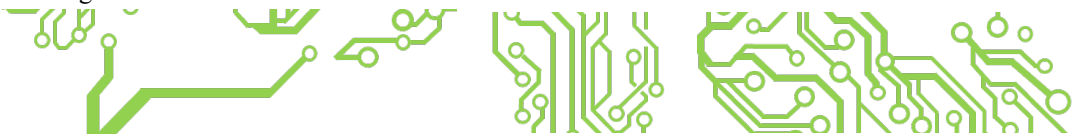


|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 2.6   | <i>Google Colab</i> .....   | 32  |
| 2.7   | <i>Bibliotecas de Python más utilizadas para machine learning</i> ..... | 33  |
| 2.7.1 | <i>Scikit-Learn</i> .....   | 33  |
| 2.7.2 | <i>TensorFlow</i> .....   | 34  |
| 2.7.3 | <i>Keras</i> .....  | 34  |
| 3     | <b>CAPÍTULO 3 Agricultura inteligente para todos:</b> .....             | 37  |
| 3.1   | <i>Agricultura de precisión y la agricultura inteligente</i> .....      | 38  |
| 3.2   | <i>Internet de las cosas de código abierto</i> .....                    | 42  |
| 3.3   | <i>Arduino o Raspberry Pi: Qué plataforma DIY es la adecuada</i> .....  | 43  |
| 4     | <b>CAPÍTULO 4 Detección de enfermedades en plantas</b> .....            | 63  |
| 4.1   | <i>Parámetros y técnicas claves en AP</i> .....                         | 65  |
| 4.2   | <i>Enfermedades comunes en cultivos de Panamá</i> .....                 | 70  |
| 5     | <b>CAPÍTULO 5 Evoluciones de la AP</b> .....                            | 75  |
| 5.1   | <i>Aplicaciones para smartphones</i> .....                              | 75  |
| 5.2   | <i>Redes inalámbricas de sensores (WSN)</i> .....                       | 78  |
| 5.3   | <i>Imágenes satélites y machine learning</i> .....                      | 80  |
| 5.4   | <i>Usos directos e indirectos de drones</i> .....                       | 82  |
| 5.4.1 | <i>Análisis y gestión por imágenes</i> .....                            | 85  |
| 5.4.2 | <i>Siembra, fertilización y control de plagas</i> .....                 | 90  |
| 5.5   | <i>Robots y fincas autónomas</i> .....                                  | 93  |
| 5.6   | <i>Conclusión del capítulo</i> .....                                    | 95  |
|       | <b>CONCLUSIÓN</b> .....   | 99  |
|       | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                                 | 105 |
|       | <b>Índex</b> .....  | 111 |



# Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Consecuencias del aumento de población mundial y perspectivas de evolución de la agricultura. ....                         | 8  |
| Figura 2. Componentes de un dispositivo IoT. ....  | 10 |
| Figura 3. Arquitectura y Funcionamiento del IoT. ....  | 10 |
| Figura 4. Características LORA WAN. ....   | 13 |
| Figura 5. Arquitectura LoRaWAN. ....   | 15 |
| Figura 6. Aplicaciones LoRaWAN. ....   | 18 |
| Figura 7. Línea de tiempo de la IA. Fuente: Historia y evolución de la IA. Universidad de Chile I (Abeliuk & Gutiérrez, 2021). ....  | 23 |
| Figura 8. Línea de tiempo de la IA. Fuente : Historia y evolución de la IA. Universidad de Chile I (Abeliuk & Gutiérrez, 2021). .... | 25 |
| Figura 9. Esquema de un Dataset. ....  | 29 |
| Figura 10. Puertos placa Raspberry PI. Fuente: <a href="https://www.elinux.org/">https://www.elinux.org/</a> , CC BY-SA 3.0<br>..... | 44 |
| Figura 11. Puertos placa Arduino. Fuente: Wikimedia Commons, Public Domain CC BY-SA 3.0 .....  | 45 |
| Figura 12. Esquema de conexión DHT11. ....   | 52 |
| Figura 13. Añadir bibliotecas ZIP. ....  | 53 |
| Figura 14. Verificar biblioteca .....  | 55 |
| Figura 15. Lecturas del sensor .....   | 56 |
| Figura 16. Raspberry Pi OS. ....   | 57 |
| Figura 17. Software balenaEtcher. ....   | 58 |





|   |    |
|---|----|
| Figura 18. Raspberry Pi y Grove Pi.....   | 59 |
| Figura 19. Monocultivo de arroz en Panamá. Fuente: Bouroncle et al., 2014. ....   | 64 |
| Figura 20. Sensor de flujo con un microcontrolador Arduino. Fuente: Arca Electrónica.<br>.....  | 66 |
| Figura 21. Sensor de humedad del suelo con Arduino Uno. Fuente: Circuits DIY. ....  | 67 |
| Figura 22. Redes inalámbricas de sensores ambientales del proyecto Smart-Agrip en Panamá (FIED-2019-R1-003).....  | 68 |
| Figura 23. Imágenes visibles y térmicas a corta distancia que contienen diferentes partes de la planta en condiciones de luz y sombra. Índice de estrés hídrico (CWSI) de cultivo de maíz estimado a partir de las imágenes térmicas adquiridas el (a) 19 de julio; (b) 26 de julio; (c) 9 de agosto; y, (d) 5 de septiembre de 2012. (Taghvaeian et al., 2013) ... | 69 |
| Figura 24. Síntomas de la roya del café causada por <i>Hemileia vastatrix</i> en el follaje (Carvalho et al., 2011). ....   | 70 |
| Figura 25. Daños sobre cultivo de arroz, hojas y granos vanos y manchados. ....   | 71 |
| Figura 26. Mosca minadora adulta (izquierda) y daños ocasionados por larvas en las hojas (derecha). Fuente: Carmona et al. (2008). ....   | 72 |
| Figura 27. Etapas del ciclo biológico del gusano del maíz y ejemplo de ataque al cogollo.<br>.....  | 72 |
| Figura 28. Aplicación DropControl de ayuda en el control de riego. ....   | 76 |
| Figura 29. Aplicación MilkingCloud Mobile Cattle Tracking, asistente de gestión de ganado.....  | 78 |
| Figura 30. <a href="https://www.artefact.com/blog/applying-machine-learning-algorithms-to-satellite-imagery-for-agriculture-applications/">https://www.artefact.com/blog/applying-machine-learning-algorithms-to-satellite-imagery-for-agriculture-applications/</a> .....  | 80 |
| Figura 31. La distribución espacial de la salinidad del suelo generada mediante una red neuronal convolucional de aprendizaje profundo (DL-CNN) para los años 2005 y 2010 (Garajeh et al., 2021). ....  | 81 |
| Figura 32. a) Imagen original del UAV; (b) imagen de relieve; (c) imagen difusa; y (d) imagen de reflexión. (Yang et al., 2020).....  | 88 |

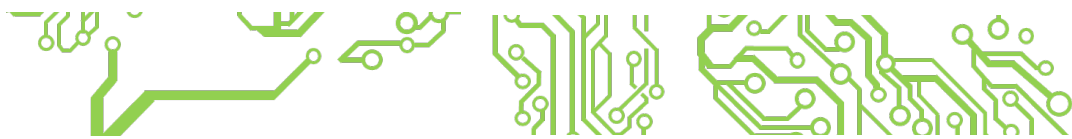


Figura 33. Visión general del kriging para la interpolación de imágenes. (a) Modelos digitales de superficie generado por las imágenes del UAV; (b) Modelos digitales de superficie modificado por interpolación de kriging basada en puntos de control del terreno; y (c) Modelos digitales de superficie generado por interpolación de kriging basada en puntos del terreno. (Yang et al., 2020) .....88

Figura 34. Ejemplo de los componentes del UAV de siembra de bricolaje: recubridor automático de semillas (A); esparcidor de semillas (B); esquema del controlador de recubrimiento de semillas (C); tanque con semillas recubiertas para realizar siembras aéreas (D); wooden frame of the UAV (E); a sample seed sowing UAV that was made locally (F); and a swarm of small-sized miniature UAVs for inspiring kids (G) (Mohan et al., 2021) .....92

Figura 35. Finca Iron Ox completamente autonoma (ironox.com). .....95

# Índice de tablas

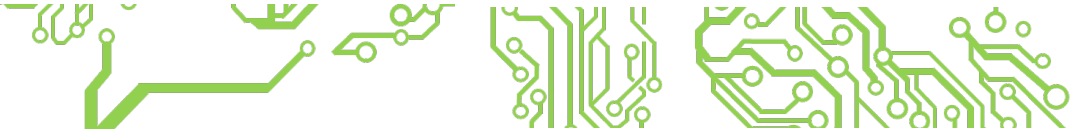
Tabla 1. Comparación de tecnologías inalámbricas (Song et al., 2017). .....19

Tabla 2. Lista de clasificaciones de algoritmos (ML). .....27

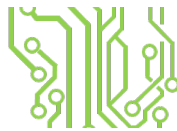
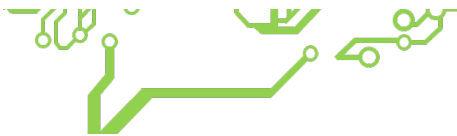
Tabla 3. Comparativa de hardware y software.....46

Tabla 4. Principales aplicaciones actuales de los sensores ambientales en agricultura (basada en Rajput et al., 2012). .....79

Tabla 5. Características de los diferentes tipos de drones usados en agricultura de precisión (traducido de Velusamy et al., 2021).....84





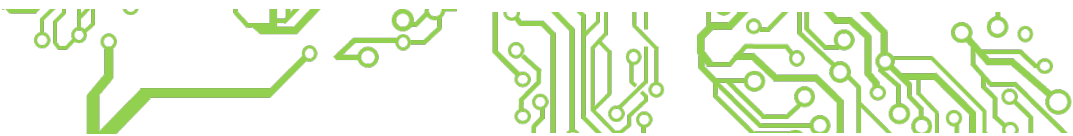




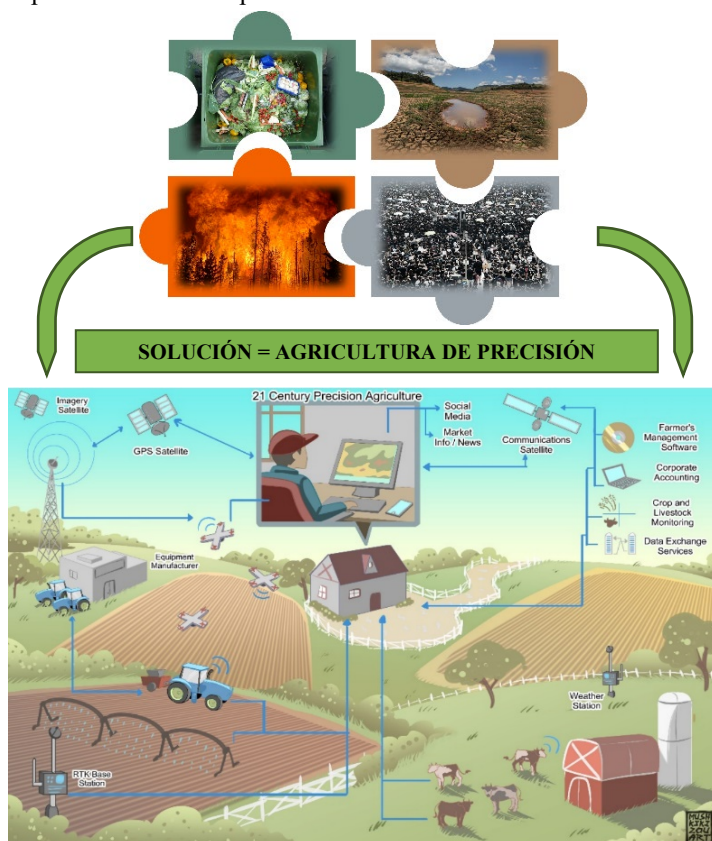
# INTRODUCCIÓN

El desperdicio de alimentos, la escasez de recursos naturales, el cambio climático y el crecimiento de la población son las cuatro piezas del rompecabezas que, cuando se juntan, nos dan una imagen general del papel que la agricultura juega y jugará en nuestras sociedades en el futuro (Figura 1). Los modelos demográficos predicen que en 2050 habrá que alimentar a casi 10,000 millones de personas en la Tierra. Los retos agrícolas y alimentarios son, por tanto, numerosos. Muchos empresarios famosos están invirtiendo fuertemente en la agricultura, con la esperanza de aprovechar estas oportunidades o con el deseo de perturbar los mercados. La agricultura inteligente es la nueva frontera del sector en respuesta a los retos que afronta nuestro planeta. Aunque todavía existe un verdadero escepticismo y una escasa inversión económica entre el mundo de los agricultores y el de la digitalización y la genómica, la agricultura de precisión (AP) está dando sus frutos en forma de técnicas optimizadas e innovadoras de producción de alimentos en muchas partes del mundo.

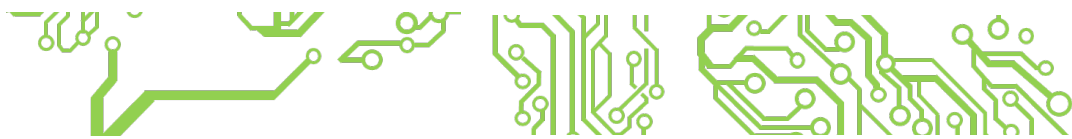
En este libro, los autores buscaron facilitar las herramientas necesarias a la implementación de prácticas de AP. En el **primer capítulo**, se trató definir los conceptos claves de la AP y plantear sus contextos, características y aplicaciones. En el **segundo capítulo**, se desarrolló las particularidades de la inteligencia artificial y del machine learning, incluyendo un histórico, los diferentes tipos de aprendizaje y los aspectos de programación. El **tercer capítulo** se enfocó en la aplicación de estos



métodos a la agricultura, particularmente detallando las especificaciones y diferencias entre la agricultura de precisión y la agricultura inteligente, el uso de las plataformas adecuadas de manera accesible a cualquier usuario interesado en desarrollar este tipo de tecnología. El **cuarto capítulo** expuso el caso particular de las enfermedades en plantas y de cómo la AP permite anticiparlas y/o detectarlas a tiempo. El **quinto capítulo** representa una apertura al mundo tecnológico de la AP, describiendo las evoluciones y las diferentes herramientas de la AP, sus usos y niveles de adopción a través de una amplia pero no exhaustiva presentación de casos internacionales.



*Figura 1. Consecuencias del aumento de población mundial y perspectivas de evolución de la agricultura.*



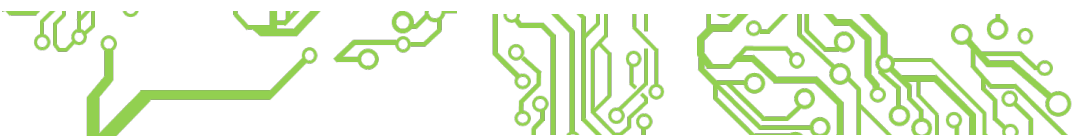
# CAPÍTULO 1

## Que es el Internet de las Cosas (IoT)?

El Internet está evolucionando a un ritmo extremadamente rápido conectando millones de cosas en todo el mundo en los últimos años. Estos dispositivos tienen diferentes capacidades de procesamiento, tamaños y con soporte de poder computacionales para diferentes tipos de aplicaciones (Khan *et al.*, 2012).

Por lo tanto es necesario unir lo convencional del internet con un internet que permita ser más inteligente, denominado el Internet de las cosas (IoT). El IoT es una red de objetos físicos dedicados que contienen tecnología embebida para comunicarse, detectar o interactuar con sus estados internos o con el entorno externo. Como muchas de las tecnologías el Internet de las cosas esta constituido por 2 componentes fundamentales: hardware (físico) y software (aplicaciones o programas).

A continuación en la Figura 2, se describen los elementos del software y hardware de un dispositivo IoT. En adición, la Figura 3, detalla la arquitectura y el funcionamiento del IoT ilustrando el flujo de los datos y las tecnologías aplicadas para obtener los resultados esperados. Las diferentes etapas son sensores, gateway, conexiones WAN, Servidores y la interacción con el usuario.





## Arquitectura y Funcionamiento del

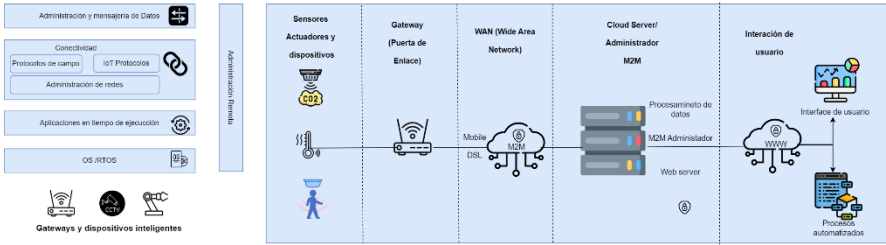
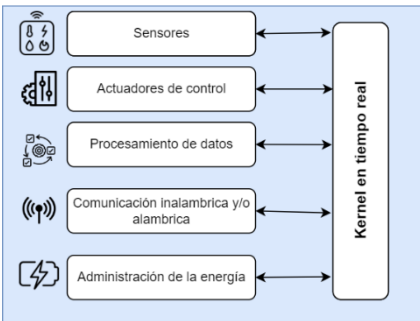


Figura 2. Componentes de un dispositivo IoT.

### Hardware



### Software

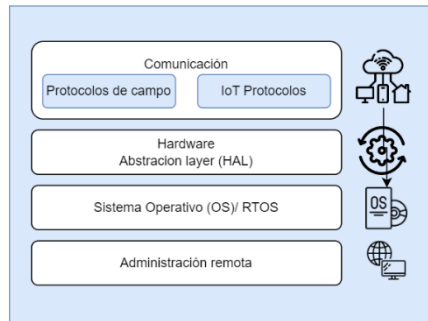
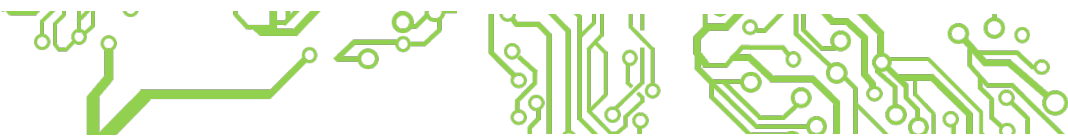


Figura 3. Arquitectura y Funcionamiento del IoT.

### 1.1 Definición y Contexto

Es importante comprender el concepto de LoRaWAN, primero es necesario definir el concepto LoRa. LoRa es una tecnología de modulación de frecuencia creada por el fabricante Semtech. Es un ejemplo de tecnología inalámbrica, como lo son WiFi, servicios de datos de celulares (GSM, 4G, GPRS) o Bluetooth, capaz de intercambiar pequeñas cantidades de información con bajo consumo y alta cobertura.

LoRaWAN, en cambio, es el protocolo de comunicación para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) que se basa en la tecnología LoRa. La principal

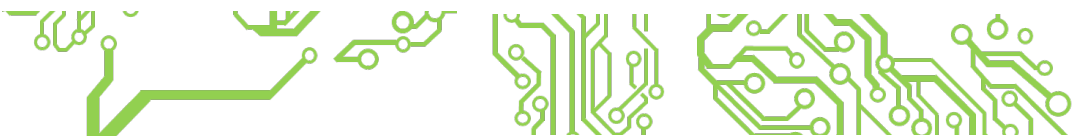


funcionalidad de este es interconectar dispositivos cumpliendo los requisitos clave del Internet of Things, como la comunicación bidireccional, la seguridad de punto a punto, movilidad y servicios de localización (Semtech, 2019).

Con el surgimiento del Internet de las cosas (IoT) y las comunicaciones máquina a máquina (M2M), las proyecciones indican un crecimiento en el despliegue de nodos o dispositivos con sensores. Estos dispositivos conectados incluyen automóviles, máquinas, medidores, sensores, terminales de punto de venta, relojes, televisores, impresoras, productos electrónicos, y otros. El crecimiento exponencial de IoT está impactando virtualmente todas las etapas de la industria y casi todas las áreas de mercado. Está redefiniendo las formas de diseñar, gestionar, y mantenimiento de redes, datos, nubes y conexiones. Con novedades muy esperadas en los campos de la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, el análisis de datos y las tecnologías Blockchain, existe un inmenso potencial para hacer crecer exponencialmente las implementaciones y aplicaciones de Lora WAN en casi todas las áreas o campos de estudio (Chaudhari *et al.*, 2020).

## 1.2 Características

A continuación, se mencionan y describen algunas características de LoRaWAN:



- *Cobertura*

Bajo condiciones óptimas el alcance de LoRaWAN puede llegar a ser de unos 15 km en sectores rurales, y unos 5km en sectores urbanos. Pese a esto, como la mayoría de tecnologías inalámbricas, el alcance está directamente afectado por los obstáculos que se encuentren en el medio.

- *Capacidad*

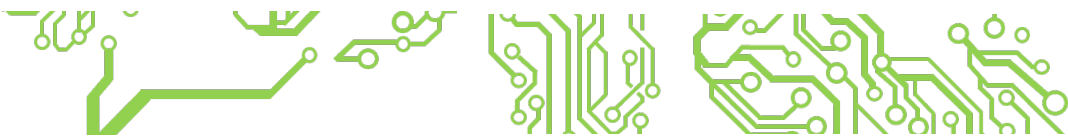
Utilizando bandas de frecuencia libres, LoRa opera comúnmente en las bandas de frecuencia 433MHz, 868MHz y 915MHz. El uso de cada una de estas depende de la región donde se realice la implementación. En el caso de Panamá la banda que se utiliza es la de 868 MHz.

- *Costo*

De acuerdo a las necesidades y capacidades de los nodos finales y los gateway de LoRa, requieren pocos gateways, configuradas en una red en estrella, a los gateway se pueden conectar varios nodos finales.

- *Bajo consumo*

El consumo de la energía para enviar los paquetes es mínimo ya que los paquetes son muy pequeños, el consumo de los equipos de energía se mide en milivatios.



- *Características mejoradas*

Una red LoRaWAN puede admitir una gran cantidad de mensajes. Sin embargo, la cantidad de mensajes admitidos en cualquier implementación es determinada del número de gateways que estén instaladas en la implementación.

La Figura 4 muestra un panorama de las características de LoRaWAN.

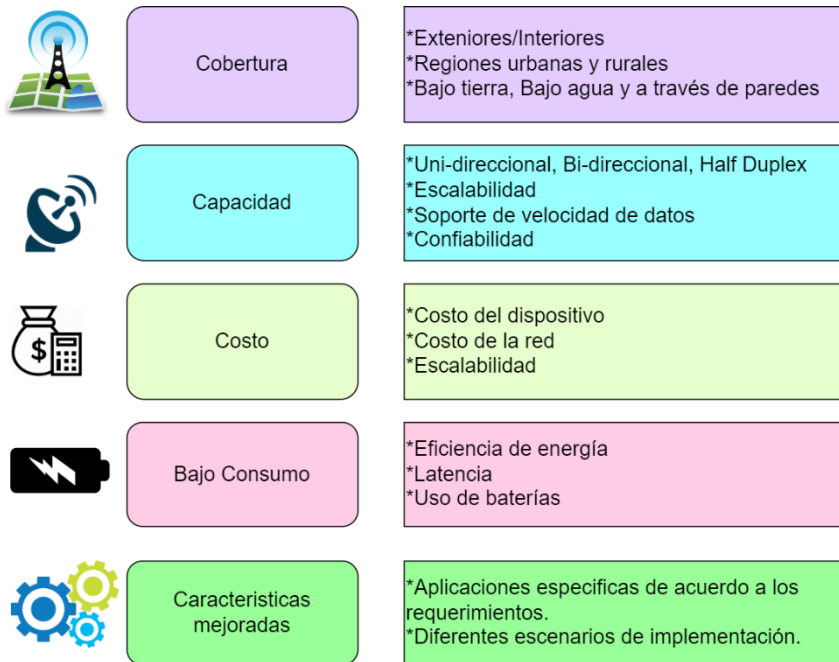
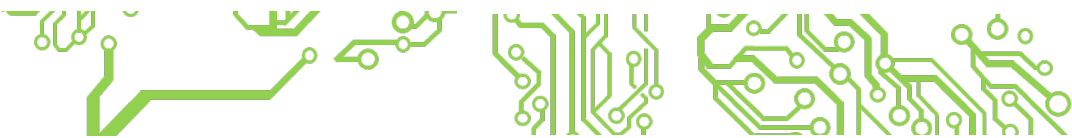


Figura 4. Características LORA WAN.

## 1.3 Arquitectura

### 1.3.1 Topología



- *Nodos*

Estos dispositivos son el elemento más bajo de una arquitectura red LoRaWAN. Estos suelen ser sensores. Frecuentemente los nodos recopilan los datos como pueden ser temperatura, humedad, luminosidad, etc. Para ser transmitidos al posteriormente al gateway o puerta de enlace.

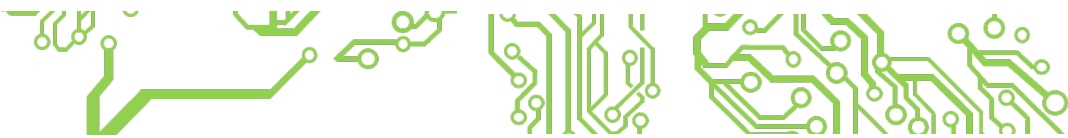
- *Gateway*

Es el dispositivo electrónico destinado de recibir los mensajes radiofrecuencia de los diferentes nodos finales dentro de su rango de cobertura y enviarlos posteriormente al servidor de red.

- *Servidores*

Dentro de los servidores se encuentran el servidor de red, es el elemento que administra la red en su totalidad. Los servidores de aplicaciones gestionan la capa de aplicación LoRaWAN, incluyendo entre sus funciones el descifrado y decodificación de datos. En términos generales es el elemento encargado de administrar toda la información de los paquetes de datos y hacerla servible a las aplicaciones finales.

A continuación, en la Figura 4 se presenta un diagrama de la Arquitectura de LoRaWAN.



## Arquitectura de LORA WAN

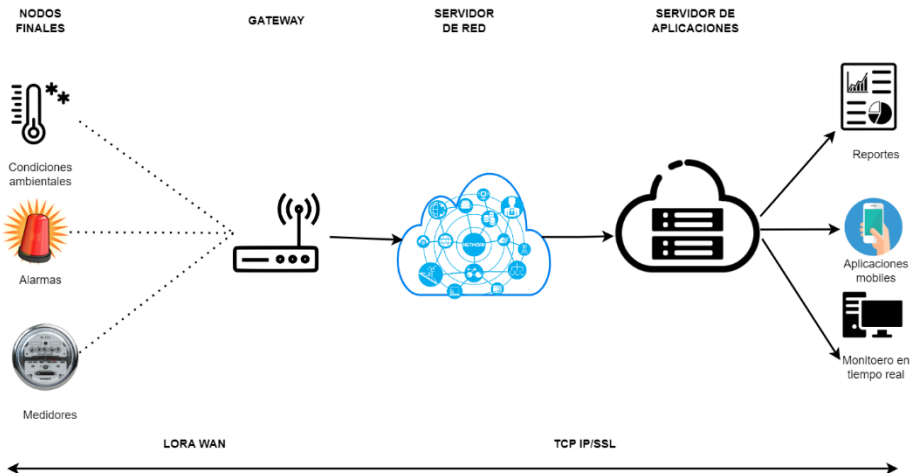


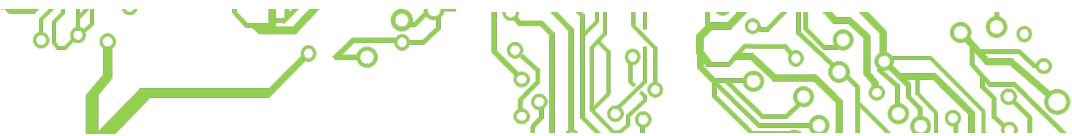
Figura 5. Arquitectura LoRaWAN.

### 1.3.2 Seguridad

La seguridad de IoT es un acertijo, obtiene su valor cuando falla, se apoya en 3 pilares llamados "CIA", aquí son las 3 cosas que se pueden hacer a nivel personal y datos confidenciales del usuario:

- Robarlos (Confidencialidad),
- Modificarlos (Integridad),
- Impide conseguirlos (Acceso).

Brindar seguridad a los datos transportados, se determina de la necesidad del usuario y del sector en donde este implementado la solución IOT (Chahid *et al.*, 2017).



### 1.3.3 Protocolo (MQTT)

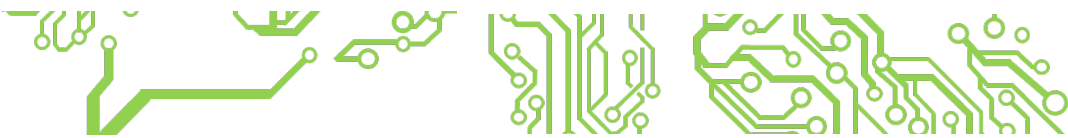
MQTT es un protocolo de mensajería estándar de OASIS para Internet de las cosas (IoT). Está diseñado como un transporte de mensajería de publicación suscripción extremadamente ligera que es ideal para conectar dispositivos remotos con un espacio de código pequeño y un ancho de banda de red mínimo (Bayılmış *et al.*, 2022).

## 1.4 Aplicaciones

El estándar de red LoRaWAN ya está famoso por abrir la puerta de la telecomunicación a un mundo de oportunidades. Entre otras, ya se implementó este sistema en agricultura, ciudades, industria entre otros (Figura 6).

- *En agricultura*

La agricultura inteligente es la aplicación de tecnología moderna en agricultura, con el fin de mejorar la cantidad y calidad de productos agrícolas mientras se reduce el impacto ambiental y preservar los recursos. Uso agrícola inteligente basado en LoRa casos, por ejemplo, el monitoreo de la humedad del suelo y riego autónomo, tienen un gran potencial para ofrecer un entorno más sostenible producción de agricultura. Largo alcance, bajo costo y bajo consumo. Las características de la tecnología LoRa permiten el uso de sensores para transferir información de la granja a la nube donde puede hacer más eficientes las operaciones y la gestión (Zhou *et al.*, 2019).

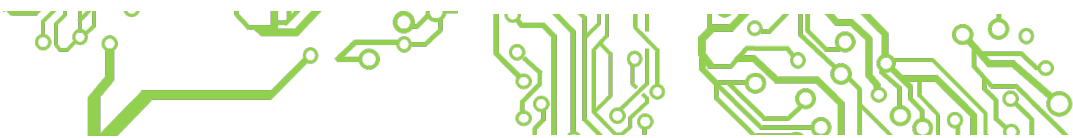


- *En ciudades*

La red LoRa proporciona una solución fiable y factible para varias aplicaciones de IoT en ciudades inteligentes, como medidores inteligentes y gestión de residuos. Los nodos pueden informar automáticamente los datos de detección y ser controlados de forma remota a través de la red LoRa. Al conectar la ciudad con los servicios, estas aplicaciones ofrecen la oportunidad de mejorar la eficiencia de las operaciones municipales (Zhou *et al.*, 2019).

- *En la industria*

Una de los sectores donde se aplica LoRaWAN y IoT es en la automatización industrial, el paradigma IoT es conocido también como IoT (Industrial IoT), Cyber-physical Systems (CPS) o, más genéricamente, como Industria 4.0, la nueva industria revolución. En realidad, el término Industria 4.0 significa el uso de una serie de tecnologías habilitadoras (incluyendo máquina a máquina) máquina -M2M- comunicación, tiempo real industrial comunicación y análisis de big data) para diseñar, monitorear y mejorar el proceso de fabricación, permitiendo a largo plazo más producción más eficiente y sostenible (Da Xu *et al.*, 2014).





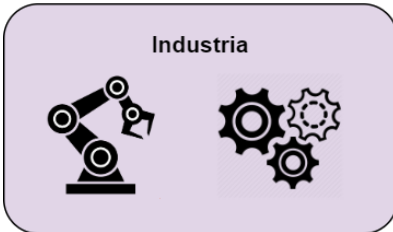
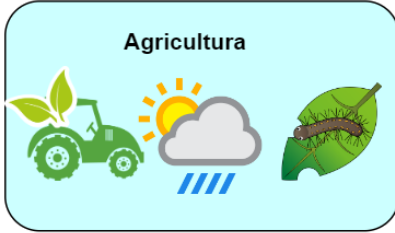
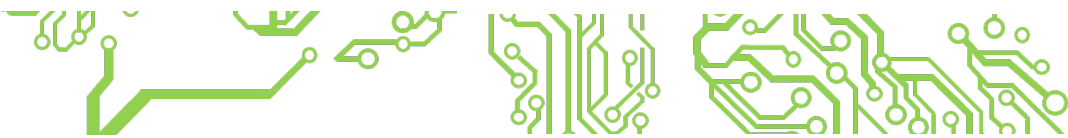


Figura 6. Aplicaciones LoRaWAN.

- *En logística*

Durante los últimos años, los dispositivos IoT y los datos que recopilan se convirtieron en impulsores comprobados de mayor eficiencia y mejor calidad de servicio para la industria logística. Se están identificando más casos de uso de sensores, las regulaciones se han vuelto más flexibles y, con más inversión y demanda reduciendo los costos, los sensores y los sistemas IoT en general se han vuelto más atractivos que nunca para los operadores logísticos (Tran-Dang *et al.*, 2022).



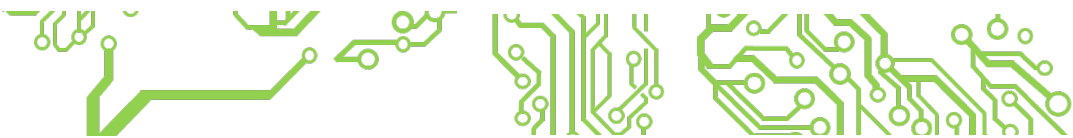
- *Otras aplicaciones*

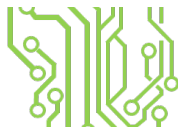
Las aplicaciones de IoT cubren casi todos los aspectos de la vida humana y hacen posible la conectividad en cualquier momento, en cualquier lugar y con cualquier cosa en un futuro cercano. La disponibilidad de instalar sensores y equipos, permite la implementación en otras áreas tales como la domótica, alertas ante desastres naturales, cuidados de la salud, manufacturas, etc.

A continuación, en la Figura 5 se presenta algunas de las aplicaciones de LoRaWAN en diferentes sectores tales como agricultura, ciudades inteligentes, industrias y logísticas. Es importante señalar que al elegir un sistema un factor determinante es escoger la red inalámbrica, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Se presentan las tecnologías inalámbricas que pueden ser aplicadas al IoT, al valorar las conexiones máximas y las distancias de las conexiones.

*Tabla 1. Comparación de tecnologías inalámbricas (Song et al., 2017).*

| Tecnología | Distancia de comunicación | Máximo de conexiones                              | Velocidad de datos |
|------------|---------------------------|---|--------------------|
| Zigbee     | 10-75 m                   | $\leq 255$  | Máximo 171.2 kbps  |
| WiFi       | 100 m                     | $\leq 255$  | $< 10$ mbps        |
| SigFox     | 10 km en escala de ciudad | 100,000 dispositivos                              | 100 bps            |
| LPWAN      | 5 km en escala de ciudad  | $\leq 50\ 000$ (NB-IoT)<br>$\leq 200\ 000$ (LoRa) | 50 kbps            |





# CAPÍTULO 2

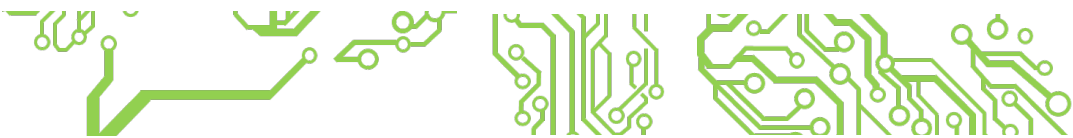
## El mundo de la Inteligencia Artificial (IA)

La IA podemos definirla como « la capacidad de una computadora para realizar actividades ordinarias que requieren inteligencia del ser humano ». Ahora bien, para dar una definición más amplia, podemos decir que la IA es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, comprender datos y usar lo que han aprendido para tomar decisiones como los humanos. Sin embargo, a diferencia de los humanos, estos dispositivos que basados en inteligencia artificial no necesitan descanso y pueden estudiar grandes cantidades de información simultáneamente. Además, el porcentaje de error es más bajo en los dispositivos que realizan las mismas operaciones que su parte contraria, los humanos.

La visión de que un programa o las computadoras puedan aprender y pronunciarse es específicamente importante y debemos tener eso en cuenta, ya que su procesamiento aumenta de manera exponencial con el tiempo. Debido a estas capacidades, los dispositivos de IA ahora pueden llevar a cabo muchas de las tareas que antes solo estaban destinadas para las personas (Rouhiainen, 2018).

### 2.1 *Historia de la inteligencia artificial y el machine learning*

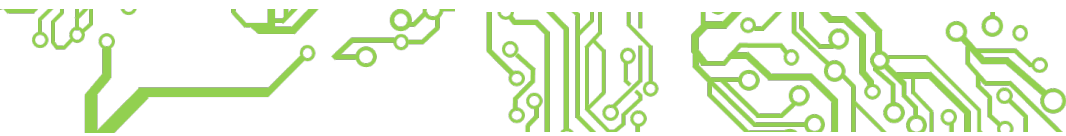
En 1842, la matemática e informática pionera Ada Lovelace, programó el primer algoritmo destinado a ser procesado por una máquina. Adelantada a su época,



Ada especuló que la máquina “podría actuar sobre otras cosas además de los números. El motor (la máquina) podría componer piezas musicales elaboradas y científicas de cualquier grado de complejidad o extensión”. Décadas más tarde, el planteamiento de Ada se ha hecho realidad con ayuda de la IA (Figura 7).

Para poder describir cómo el machine learning es una pieza clave para nuestro crecimiento global, hay que remontarse a sus inicios para conocer a fondo su raíz. Dado que este recurso es una variante de la IA que debemos remontar al pasado para ser más exactos hasta 1943. El Año en que el neurofisiólogo Warren McCulloch y el matemático Walter Pitts revelaron su trabajo centrado en lo que hoy conocemos como inteligencia artificial. Su teoría propone analizar el cerebro como un órgano computacional y crear computadoras que funcionen tan bien o mejor que nuestras redes neuronales (McCulloch & Pitts, 1943).

Fue así que la humanidad comenzó a conocer y preocuparse por la inteligencia que puede tener una máquina. Así, en 1950 un científico conocido como Alan Mathison Turing pudo crear el famoso “Test de Turing”, el objetivo del test era medir que tan inteligente era una computadora, al intentar imitar su comportamiento durante una conversación de la forma más lógica posible (Copeland, 2000).



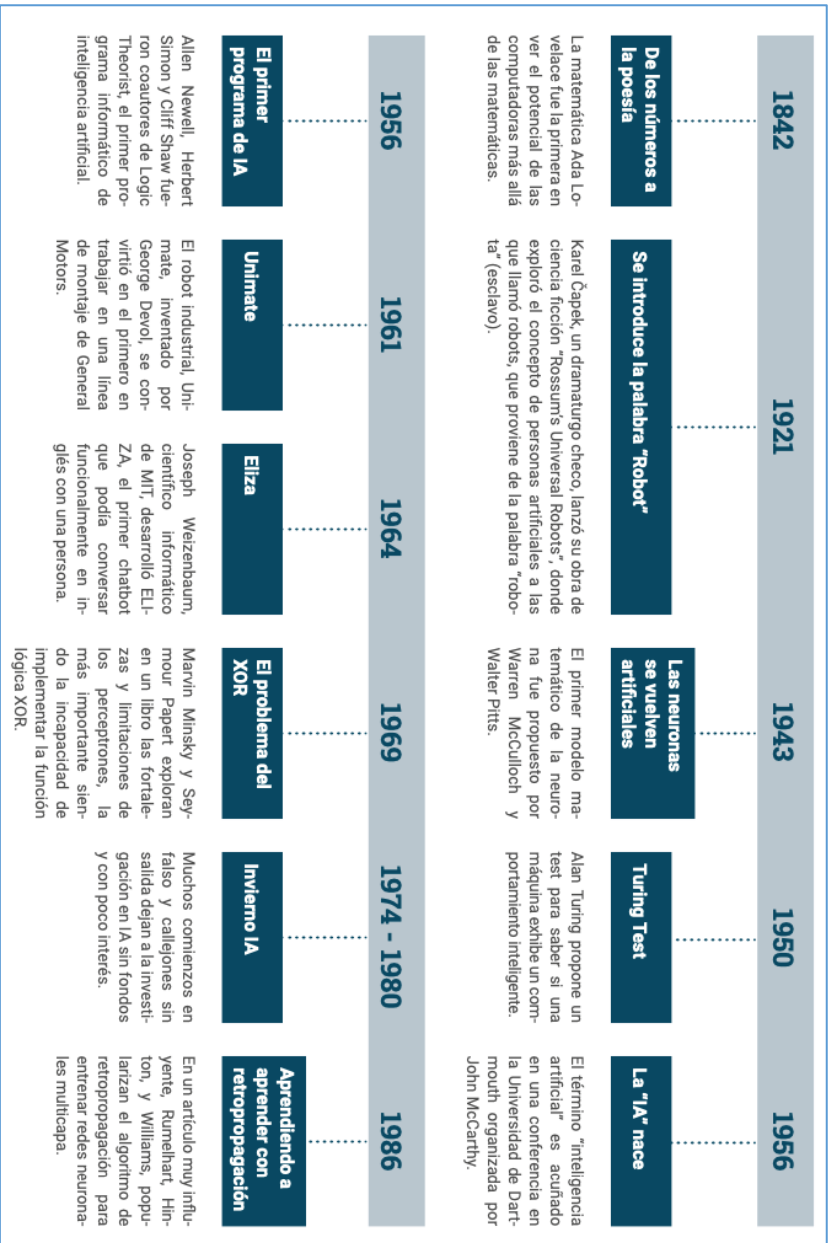
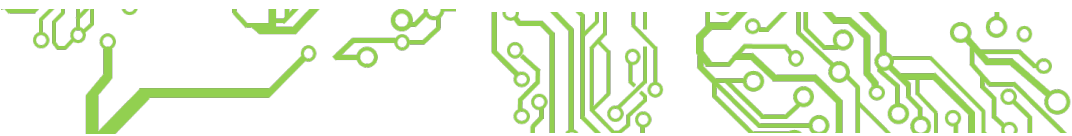


Figura 7. Línea de tiempo de la IA. Fuente: Historia y evolución de la IA. Universidad de Chile I (Abeliuk & Gutiérrez, 2021).

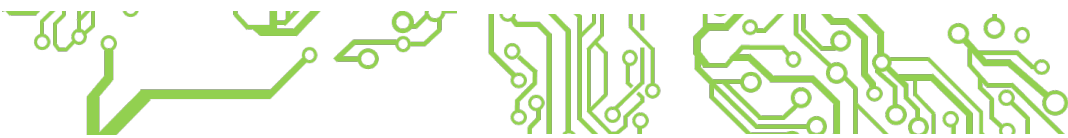


Años después a finales de 1952, el profesor e informático teórico Arthur Samuel publicó el primer software informático capaz de obtener conocimiento, era un software capaz de jugar a las damas, ya que tiene la posibilidad de memorizar información y un estilo de juego, lo que le permitía mejorar su respuesta según el nivel del juego, haciéndola cada vez mejor juego tras juego (Hinestroza Ramírez, 2018 ; Figura 8).

## 2.2 *Machine Learning*

Es un campo de la IA encargada de generar algoritmos que pueden aprender sin programarlos de manera explícita. El desarrollador no tendrá que sentarse a programar por horas tomando todos los factores en cuenta y los entornos posibles ni todas las excepciones posibles. Basta con alimentar el algoritmo con un volumen gigantesco de datos para que el algoritmo aprenda y sepa qué hacer en los diferentes tipos de casos.

El Machine Learning (ML) es el modelo y estudio de instrumentos computacionales que utilizan experiencias pasadas para tomar una decisión en el futuro. Además, permite a los programas que aprendan de los datos automáticamente (Dalal, 2020). Según el artículo 29, apartado 2, del Reglamento del Diario Oficial de la Unión Europea de 31 de agosto de 2017 “El aprendizaje automático incluye algoritmos capaces de enseñarse a sí mismos tareas específicas sin estar programados para ello. El planteamiento se basa en el procesamiento de «datos de entrenamiento» que sirven de pilar al algoritmo para aprender a reconocer modelos y formular normas”.



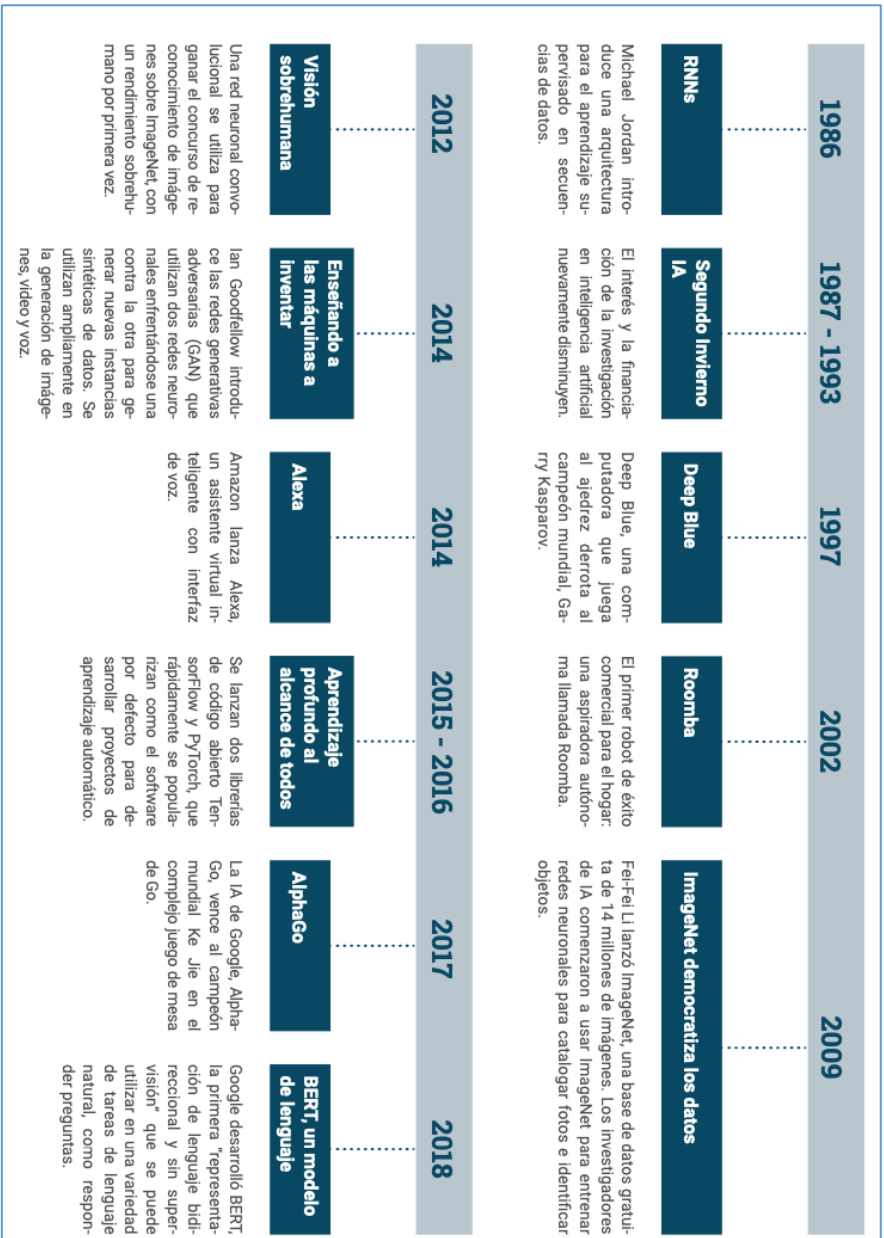
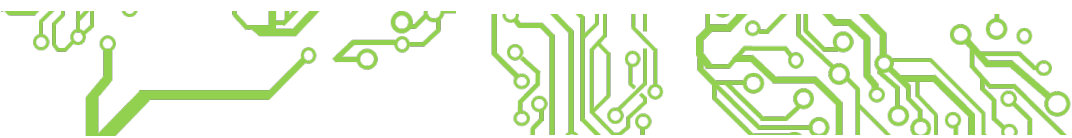


Figura 8. Línea de tiempo de la IA. Fuente : Historia y evolución de la IA. Universidad de Chile I (Abeliuk & Gutiérrez, 2021).





Basándonos en las definiciones anteriores podemos indicar que el machine learning es un campo de la IA que consiste en permitir que las computadoras aprendan a extraer patrones y dependencias que hay en los datos de forma independiente, también nos ayuda en la toma de decisiones para que pueda predecir el comportamiento futuro. Dicho esto, podemos clasificar el machine learning en 3 tipos de categorías principales (Sandoval Serrano, 2018): (i) aprendizaje supervisado, (ii) no supervisado y (iii) reforzado. La Tabla 2 resume los algoritmos de ML y el tipo de aprendizaje correspondiente.

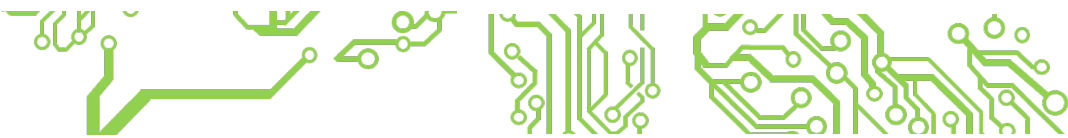
### 2.2.1 Aprendizaje supervisado

Aquí es cuando le enseñamos a un algoritmo de aprendizaje automático dándole preguntas (características) y respuestas (etiquetas). Entonces, en el futuro, el algoritmo puede hacer unas predicciones al conocer las características. En este tipo de aprendizaje hay dos algoritmos (entrenamientos): el de clasificación y el de regresión.

- *Algoritmo de clasificación*

Esperamos que el algoritmo nos diga a qué grupo pertenece el elemento en estudio. El algoritmo identifica patrones en los datos que le proporcionamos y los clasifica en grupos. Luego hace la compatibilidad de los nuevos datos y los ubica en el grupo que pertenece y es así como puede predecir de que se trata. La variable por predecir es un conjunto de estados discretos o categóricos. Pueden ser:

**Binaria:** {Sí, No}, {Azul, Rojo}, {Fuga, No Fuga}, etc.



**Múltiple:** Comparará {Producto1, Producto 2...}, etc.

**Ordenada:** Riesgo {Bajo, Medio, Alto}, etc.

- *Algoritmo de regresión*

En este método, lo que se espera es un número. No lo pone en una matriz, pero devuelve un valor específico. Por ejemplo, el precio de una casa. El algoritmo tiene el precio de diferentes apartamentos, pequeños, grandes, en áreas rurales, en las ciudades, etc. y por medio de un gráfico de dispersión, puede predecir el precio correcto de una casa en consulta.

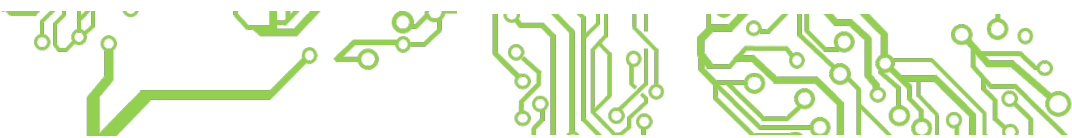
### 2.2.2 Aprendizaje no supervisado

Aquí solo le damos las propiedades al algoritmo, nunca las etiquetas. Requerimos que nos recopile los datos que le dimos según sus propiedades. El algoritmo solo sabe que como los datos comparten ciertas características, de esa forma asume que pueda que pertenezcan al mismo grupo.

### 2.2.3 Aprendizaje reforzado

Esta técnica el sistema adquiere conocimiento con base al ensayo y error. De acuerdo con Sutton & Barto (2018), el aprendizaje reforzado involucra “aprender qué hacer y cómo traducir situaciones a acciones con tal de maximizar una recompensa numérica”.

Tabla 2. Lista de clasificaciones de algoritmos (ML).

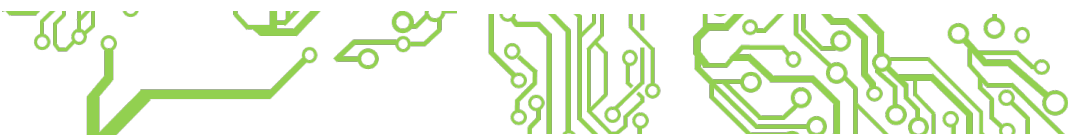


| Algoritmos de ML                   | Método de supervisión |
|------------------------------------|-----------------------|
| Naive Bayes                        | Ambos                 |
| K-Means Algorithm                  | No supervisado        |
| K-Nearest Neighbour                | Supervisado           |
| Decision Tree and Random Forest    | Supervisado           |
| Support Vector Machines (SVM)      | Supervisado           |
| Principal Component Analysis (PCA) | No supervisado        |
| Recurrent Neural Networks (RNN)    | Supervisado           |
| Deep Learning                      | Ambos                 |
| Q-Learning                         | Aprendizaje reforzado |

### 2.3 Dataset

Un dataset puede ser un conjunto de imágenes, gráficos o documentos, así como la clásica tabla de datos. Por ello, la localización de dataset implica el descubrimiento, la exploración y la devolución de dataset a un usuario final (Chapman *et al.*, 2020). Si bien los dataset también pueden comprender imágenes o gráficos, los métodos de búsqueda para estas modalidades contienen técnicas de búsqueda alfanuméricas para metadatos y técnicas especializadas basadas en la estructura de los datos.

Un conjunto de datos consta de uno o más conjuntos de elementos DataTable que incluyen filas y columnas de datos, así como claves principales, claves externas, restricciones e información relacional sobre los datos en los objetos DataTable (Figura 9).



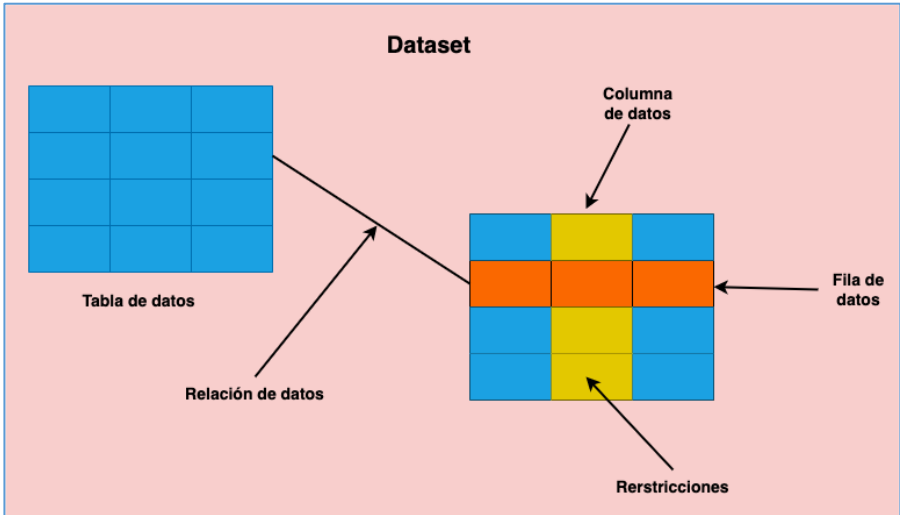
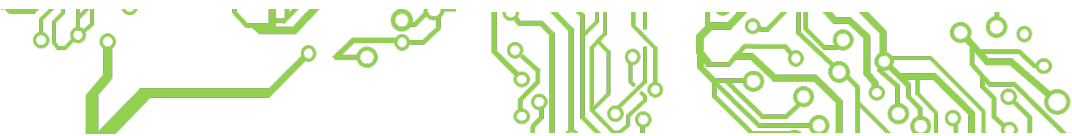


Figura 9. Esquema de un Dataset.

Cada objeto **Tabla de datos** contiene una recopilación de objetos **Fila de datos** que representa las filas de la tabla y para finalizar cada objeto **Fila de datos**, es decir, cada fila, posee una recopilación de objetos **Columna de datos**, que representa cada una de las columnas de la fila actual. Existen además colecciones y objetos para representar las relaciones, claves y valores por defecto existentes en el interior de un objeto Dataset. Donde **Relación de datos** representa todas las relaciones existentes entre las tablas del objeto Dataset y Tabla devuelve una recopilación de objetos **Tabla de datos** que representa a todas las tablas existentes del objeto Dataset.

## 2.4 Python

El lenguaje de programación Python fue creado por Guido van Rossum a principios de la década de 1990 y su nombre se inspiró en el grupo cómico inglés

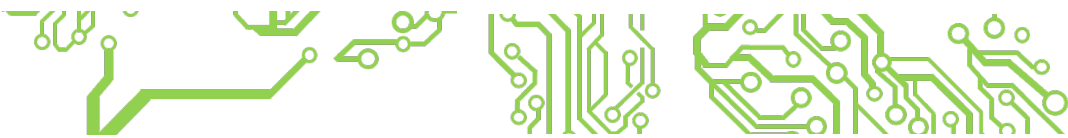


“Monty Python”. Este lenguaje es parecido a Perl, Excepto que Python tiene una ordenación muy clara que mejora y potencia la legibilidad del código.

Es un lenguaje interpretado o de script, con tipificado dinámicamente, fuertemente tipificado, orientado a objetos y multiplataforma. Python es un estilo de programación muy demostrativo, por eso, los programas Python son muy compactos: un programa en Python suele ser mucho más corto que su similar en lenguajes como C. Python llega a ser estimado por muchos como un lenguaje de programación de los de más alto nivel. Entre las características más interesantes del lenguaje de programación Python tenemos:

- La sintaxis de Python es muy elegante, legible y permite la confección de programas cuya escritura y lectura resulta más sencilla que si utilizáramos otros lenguajes de programación.
- Python proporciona un escenario interactivo que hace más fácil el cumplimiento de pruebas y ayuda a aclarar dudas acerca de ciertas propiedades del lenguaje.
- Python se puede utilizar como un lenguaje orientado a objetos o como lenguaje de procedimiento imperativo.
- Dispone de un excelente conjunto de estructuras de datos que se pueden manipular fácilmente.

## 2.5 *Anaconda*



Anaconda es una plataforma open source de distribución de Python para la computación científica (ciencia de datos, análisis predictivo, aplicaciones de Machine Learning, procesado de datos a gran magnitud, etc.). El repositorio de anaconda contiene más de 8000 paquetes de ciencia de datos y machine learning de código abierto, creados y compilados para los más importantes sistemas informáticos y arquitecturas.

Con Anaconda se pueden crear modelos y aplicaciones personalizadas. Desde redes neuronales hasta robótica, por ejemplo:

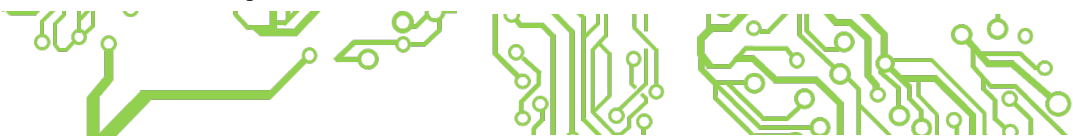
### 2.5.1 Redes neuronales

Con el uso la plataforma Anaconda, se puede crear e implementar diseños de aprendizaje profundo que utilizan redes neuronales. Anaconda se integra fácilmente con herramientas como TensorFlow y Keras para que pueda crear y entrenar modelados de redes neuronales, incluidas redes neuronales convolucionales (CNN) y redes antagónicas generativas (GAN).

### 2.5.2 Aprendizaje automático

Escala cálculos de canalización de aprendizaje automático horizontal y verticalmente en GPU. Almacena y procesa fácilmente datos más allá de la memoria RAM de una sola máquina y reduce el tiempo de capacitación del modelo hasta 100 veces. Paraleliza los algoritmos y acelera los ciclos de iteración durante la fase de desarrollo.

### 2.5.3 Análisis predictivo



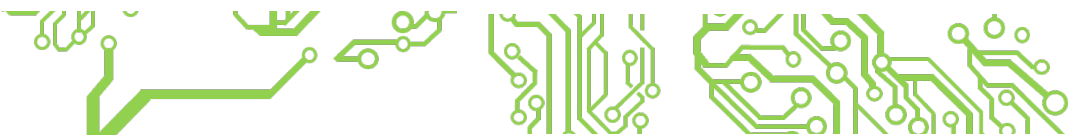
En los viejos tiempos, solo las empresas con grandes presupuestos podían permitirse el software patentado necesario para aprovechar el análisis predictivo para la toma de decisiones empresariales. Con Anaconda y la ciencia de los datos de código abierto, más empresas han comenzado a adoptar un enfoque proactivo para abordar los problemas en todos los sectores de la empresa. Ya sea que prediga la rotación de clientes, los niveles de demanda de los consumidores, los precios de las acciones, la falta de mantenimiento o las probabilidades de interrupción, podemos ayudarlo a comenzar a operar de manera proactiva.

#### 2.5.4 Visualización de datos

El ecosistema Python de herramientas de visualización de datos es enorme. Con Anaconda, El equipo de ciencia de datos puede encontrar la herramienta de visualización adecuada para cualquier Dataset, desde resultados de fabricación hasta actividad sísmica. Tendrán el poder de crear e implementar hermosos tableros y ponerlos rápidamente en manos de los tomadores de decisiones .

### 2.6 Google Colab

Google Colab es un entorno de notebook Jupyter gratuito que no requiere configuración y se ejecuta íntegramente en la nube. Con Google Colab, es posible escribir y ejecutar código, guardar y compartir nuestros análisis, y acceda a potentes recursos informáticos, todo de forma gratuita desde el navegador Chrome (Gunawan *et al.*, 2020).



Google Colab, conocido también como Collaboratory, se lleva a cabo en los servidores de la nube de Google. No necesita instalación ni configuración de Python. Se tiene ingreso gratuito a hardware TPU, CPU y GPU. Se puede compartir el código de manera similar que con Google Drive.

Google Colaboratory, abreviado como "Colab" para acortar, es un fruto de Google Research. Concede a cualquier usuario ingresar y ejecutar código Python en el explorador. Es particularmente adecuado para tareas de examinación de datos, educación, y aprendizaje automático. Con una perspectiva más técnica, Google Colab es una función plug-and-play situado de Jupyter y que brinda acceso gratuito a recursos informáticos, como GPU.

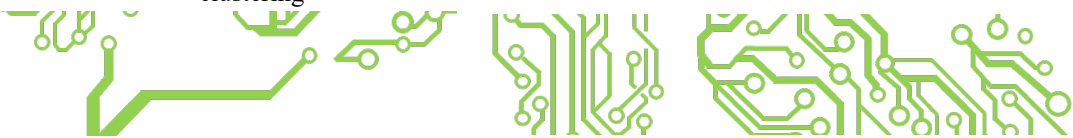
## 2.7 Bibliotecas de Python más utilizadas para machine learning

Las bibliotecas de Python más utilizadas para Machine learning y Deep learning hasta la fecha, las cuales se deben de conocer son las siguientes:

### 2.7.1 Scikit-Learn

Esta biblioteca de Python cuenta con la función de análisis de datos y Machine Learning. Se puede usar Scikit-Learn para aprendizaje supervisado y no supervisado, para solucionar problemas tanto de clasificación y como de regresión, así como algunas técnicas de aprendizaje automático como:

- árboles de decisión
- clustering





- reducción de dimensionalidad
- detección de anomalías
- clasificadores bayesianos
- entre otros

Su interfaz es sencilla, resistente y se puede amoldar con una sola línea de código (Kramer, 2016).

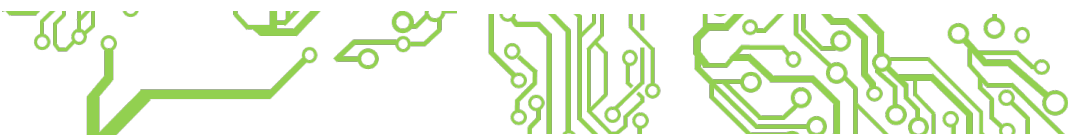
### 2.7.2 TensorFlow

TensorFlow es una de las bibliotecas creadas por Google para Python. Posibilita alcanzar cálculos numéricos utilizando gráficos de flujo de datos y se utiliza para muchas aplicaciones de computación científica, como el aprendizaje profundo.

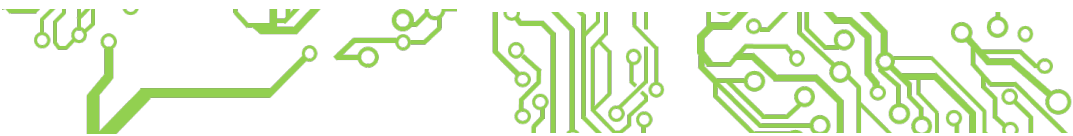
Es una plataforma de machine learning de código abierto con un entorno de recursos, una biblioteca y herramientas integrales y flexibles que permite a los investigadores innovar con el machine learning y a los desarrolladores a crear software. Soporte simple para el machine learning (Shukla & Fricklas, 2018).

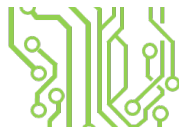
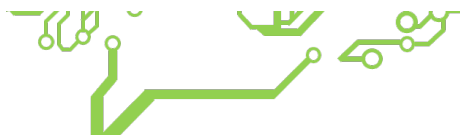
### 2.7.3 Keras

Esta biblioteca de Python tiene una interfaz avanzada y fácil de usar gracias a las redes neuronales. Aunque comparte una funcionalidad similar con otras bibliotecas de Python, como CNTK y TensorFlow, esta biblioteca en específico puede medir el éxito de una idea.



Keras es una API diseñada para seres humanos, no para máquinas. Keras mantiene las mejores prácticas para disminuir la carga cognitiva: ofrece API consistentes y simples, minimiza la cantidad de actuaciones del usuario final necesarias para casos de uso comunes y aporta mensajes de error claros y accionables (Ketkar, 2017).

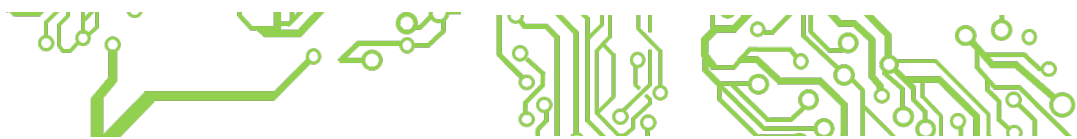




## CAPÍTULO 3

# Agricultura inteligente para todos: Del Concepto a la práctica

Según el reciente informe de las Naciones Unidas sobre la alimentación y la agricultura, la producción de alimentos debe aumentar en un 60% para el año 2050, a fin de poder alimentar a la creciente población que se espera que alcance los 9,000 millones de habitantes (OMS; FAO, 2016). Esto conlleva a una serie de desafíos significativos para alcanzar el nivel de productividad agrícola que satisfaga la demanda mundial prevista de alimentos y combustible en el año 2050. Aunque en el pasado la agricultura se ha enfrentado a importantes desafíos, para el año 2050 deben lograrse aumentos específicos de la productividad, frente a las estrictas restricciones que incluyen recursos limitados, mano de obra menos calificada, cantidad limitada de tierras cultivables y los efectos del cambio climático. Durante una gran parte del siglo XX, muchos factores claves influyeron en los aumentos en la tasa de producción de cultivos, principalmente debido a la mecanización, la mejora de la genética y el aumento del uso de insumos. Sin embargo, ese aumento en la producción de cultivos se produjo a un costo de sobre aplicación de diversos insumos agrícolas, tales como el riego, nutrientes y pesticidas. La agricultura intensiva en todo el mundo tiene una alta demanda de recursos y de insumos conduciendo al agotamiento de los suelos, la escasez de agua, la

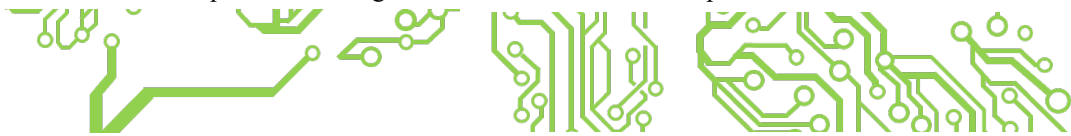


deforestación generalizada y los altos niveles de emisiones de gases (Bruinsma, 2017; Paustian *et al.*, 2020).

La producción agrícola representa un alto consumo de agua dulce y tiene un aumento considerable de los niveles insostenibles de consumo de productos químicos. Por lo tanto, dada la escasez de recursos naturales y el crecimiento de la población se debe orientar hacia la sostenibilidad en la agricultura que se está convirtiendo en una necesidad global. A través de la integración de tecnologías emergentes a la necesidad de adaptación y de la posibilidad de mitigación en la agricultura, permitirá elaborar estrategias de crecimiento para apoyar la seguridad alimentaria de forma sostenible (Misra *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2022). Algunos países tienen la intención o han adoptado un enfoque de agricultura inteligente para dinamizar diversos procesos agrícolas. Sin embargo, existe una confusión considerable acerca de lo que realmente implica el concepto y el enfoque de agricultura inteligente. Además, se pueden constatar una amplia variación en la forma en que se implementen estas tecnologías en diferentes áreas de aplicación.

### 3.1 Agricultura de precisión y la agricultura inteligente

Dentro del sector primario, la agricultura es una ocupación que requiere de una fuerte mano de obra. La modernización de algunas explotaciones agrícolas es impulsada por la creciente adopción de la tecnología, permitiendo una gestión de los cultivos de forma menos laboriosa. Sin embargo, la evolución de la nueva era digital ha dado lugar a varios conceptos nuevos, algunos de los cuales se han adoptados indistintamente de



la etapa de desarrollo en el cual este la tecnología a implementar. Por consecuente, exploramos dos conceptos muy similares, pero no idénticos: la agricultura de precisión y la agricultura inteligente.

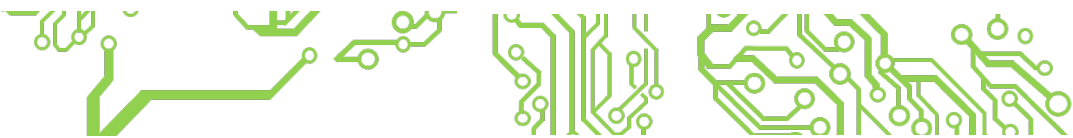
- *Agricultura de precisión*

Como su nombre indica, la agricultura de precisión implica una producción agrícola altamente controlada, precisa y optimizada. Facilita el uso más eficiente de los recursos, un mayor rendimiento y una reducción del impacto medioambiental, todo ello al mismo tiempo. Un ejemplo ideal de las prácticas de la agricultura de precisión es la aplicación de productos agroquímicos con un análisis asistido por la IA, que se dirige sólo a las áreas que necesitan atención en lugar de una aplicación generalizada de todo el cultivo.

En la práctica, la aplicación de modernas tecnologías de la información en los procesos agrícolas los productores pueden incorporar una combinación de dispositivos y equipos que ayudan a captar datos de campo, entre los cuales podemos mencionar:

Redes de sensores inalámbricos,

- Fusión de información y datos,
- Inteligencia de apoyo a la toma de decisiones
- Drones
- Vehículos autónomos
- Muestreo de suelos con GPS

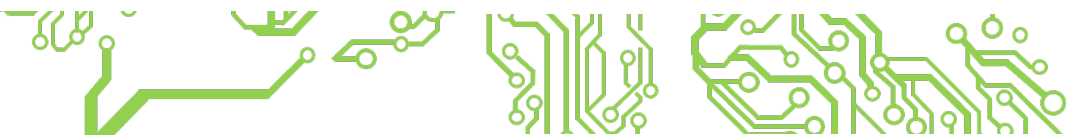


La agricultura de precisión tuvo sus inicios cuando John Deere utilizó el seguimiento por GPS guiado para los tractores a finales del siglo XX. Esta innovación permitió mejorar el rendimiento mediante la automatización de las rutas y la reducción del uso de los insumos agrícolas (Bell, 2000). Desde entonces el uso guiado por GPS ha evolucionado considerablemente gracias a los rápidos avances tecnológicos en los últimos años.

La agricultura de precisión permite optimizar el uso de los recursos para reducir los costos y cultivar de forma sostenible. A través de la monitorización se puede ayudar a los agricultores a recibir avisos sobre la correcta utilización del agua, los nutrientes y los productos de protección de los cultivos. Además, se puede realizar predicciones meteorológicas antes de la siembra y la cosecha para determinar el momento adecuado en el proceso productivo agrícola. La agricultura de precisión permite reducir de forma significativa el impacto medioambiental causado por las actividades agrícolas. La sostenibilidad y la agricultura de precisión van de la mano. La aplicación milimétrica de fertilizantes, pesticidas e insecticidas puede evitar la contaminación del suelo y del agua debido a las escorrentías químicas. Los consejos sobre ciclos de riego eficaces y técnicas de conservación del suelo también pueden evitar el agotamiento innecesario de estos recursos naturales.

- *Agricultura inteligente*

La agricultura inteligente se centra en el procesamiento de los datos y tecnologías de la información para rentabilizar el trabajo humano de forma más eficaz,



mejorar la calidad y cantidad de las cosechas. Este enfoque impulsa la misión de permitir a las empresas agrícolas cultivar más con menos.

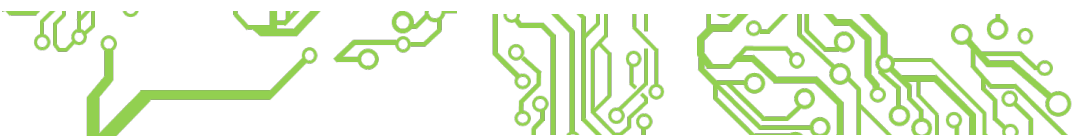
Actualmente, una gran parte de los agricultores en las zonas rurales, se basan en los aprendizajes transmitidos de generación en generación y en estimaciones aproximadas para llevar a cabo el proceso de la siembra, la aplicación de fertilizantes y la cosecha.

La agricultura inteligente mejora estos procesos y aumenta su eficiencia con la ayuda de herramientas tecnológicas y soluciones de programas informáticos. Ayuda a los productores a tomar decisiones más informadas y basadas en datos, y a lograr la eficiencia económica reduciendo las necesidades de mano de obra.

Lo que diferencia a la agricultura inteligente de la de precisión es que no se centra en mediciones precisas. En cambio, la agricultura inteligente se centra en la captación de datos y su interpretación mediante tecnologías informáticas para hacer más predecibles y eficientes las operaciones agrícolas.

La agricultura inteligente emplea tecnologías informáticas para transmitir los datos de los cultivos. Algunos de los componentes que utilizan las plataformas basadas en las TIC para la agricultura inteligente son:

- Dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes y tabletas
- Internet de las cosas (IoT)
- Inteligencia artificial (IA)



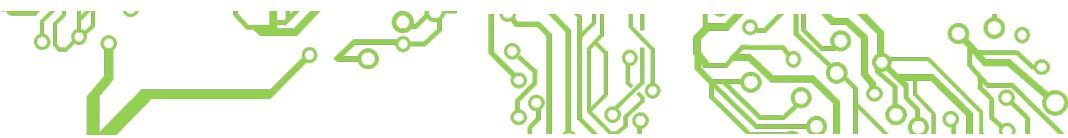


- Robótica
- Sistemas aéreos no tripulados (UAS)
- Sensores y actuadores
- Drones

La recopilación, el procesamiento y análisis de los datos agrícolas pueden provenir de múltiples fuentes de los cultivos (Linaza *et al.*, 2021). En la agricultura inteligente se utilizan datos meteorológicos y de seguimiento por satélite, información recabada por el personal de campo y también datos de dispositivos IoT. Estos datos son almacenados en un servidor en la nube facilitando el acceso en todo momento y desde cualquier lugar con conexión a internet. Mediante un programa informático de gestión de explotaciones agrícolas se analizan estos conjuntos de datos y se puede orientar una mejor toma de decisiones de los agricultores. Uno de los principales objetivos de la agricultura inteligente es lograr el máximo aprovechamiento de la mano de obra humana, y permite automatizar las tareas repetitivas. Mediante alertas se puede informar al personal de campo para orientar sobre cualquier posible riesgo de plagas, enfermedades o condiciones meteorológicas desfavorables.

### 3.2 *Internet de las cosas de código abierto*

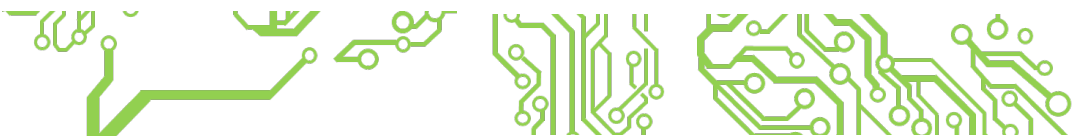
Hay dos formas posibles de utilizar concretamente un sistema IoT destinado a la agricultura inteligente: mediante la adquisición de un sistema desarrollado o aprovechar las innumerables oportunidades que ofrece el mundo del código abierto y



diseñar su propio dispositivo. La primera opción, ciertamente es más sencilla a implementar, pero implica grandes inversiones y por lo tanto es una prerrogativa de las medianas y grandes empresas que pueden permitirse este grado de inversión. La segunda es una opción que incluso las pequeñas empresas con personal reducido y con las herramientas necesarias podría desarrollar su propio sistema.

### 3.3 *Arduino o Raspberry Pi: Qué plataforma DIY es la adecuada*

Bajo el concepto de hágalo usted mismo o Do It Yourself (DIY), se pueden integrar una diversa cantidad de sensores de acuerdo al estudio a realizar o proyecto personal. Actualmente existen diversos modelos de placas electrónicas de desarrollo abierto para IoT. Sin embargo, nos vamos a centrar en el análisis de dos de las placas mayormente utilizadas Arduino y Raspberry Pi. Las dos plataformas son completamente diferentes. Para empezar, las placas tipo Raspberry Pi pertenecen a la familia de los "ordenadores de placa única", mientras que las placas tipo Arduino pertenecen a la familia de los microcontroladores. Raspberry Pi necesita un sistema operativo para funcionar. Arduino no necesita ningún sistema operativo, todo lo que necesita es un binario del código fuente compilado. Sin embargo, La Raspberry Pi es 40 veces más rápida que un Arduino en términos de velocidad de reloj y tiene 128.000 veces más RAM.



Raspberry Pi se originó en el Reino Unido por el inventor Eben Upton y sus colegas del Laboratorio de Informática de la Universidad de Cambridge (Severance, 2013). Upton y su equipo de trabajo se sentían frustrados por el reducido número de estudiantes y la falta de conocimientos de los que se incorporaban al programa. La Raspberry Pi se diseñó como un microordenador de bajo coste con tendencias de adaptabilidad para desarrollar las habilidades de diseñador de sistemas integrados, un *todo en uno*. El equipo de Upton comenzó a trabajar en los prototipos en 2006 y el primer lote de Pi se completó en abril de 2012.

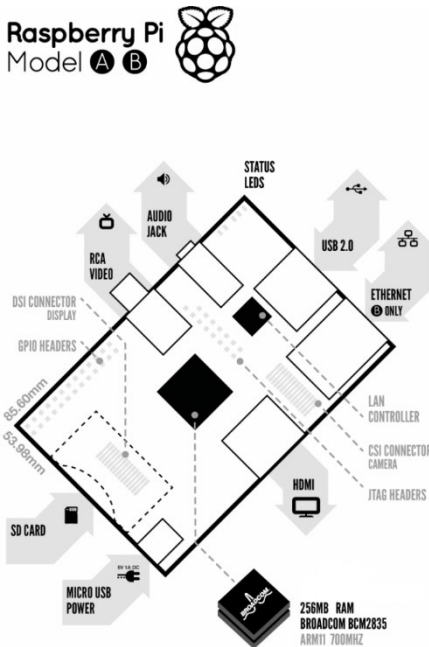
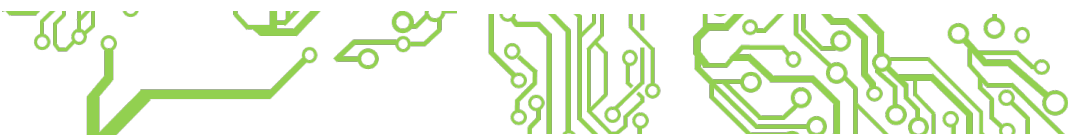


Figura 10. Puertos placa Raspberry Pi. Fuente: <https://www.linux.org/>, CC BY-SA 3.0

En el microordenador Raspberry Pi se pueden conectar varios periféricos, como un monitor a través de un puerto HDMI, un ratón y un teclado a través del puerto USB, conectarse a Internet a través de conexión Ethernet o Wi-Fi, añadir una cámara,



de igual forma como hacemos con nuestro ordenador de escritorio o portátiles (Figura 10).

Arduino, por su parte, nació en Italia (Severance, 2014). Lleva el nombre del bar donde el inventor Massimo Banzi y sus cofundadores desarrollaron la idea. Banzi, profesor del Instituto de Diseño de Interacción de Ivrea, quería una herramienta sencilla de creación de prototipos de hardware para sus estudiantes de diseño. Esencialmente, Arduino es una placa de desarrollo de microcontroladores (Figura 11) con la que puedes hacer parpadear LEDs, leer datos de sensores, controlar motores y muchas otras tareas relacionadas con la automatización de procesos.

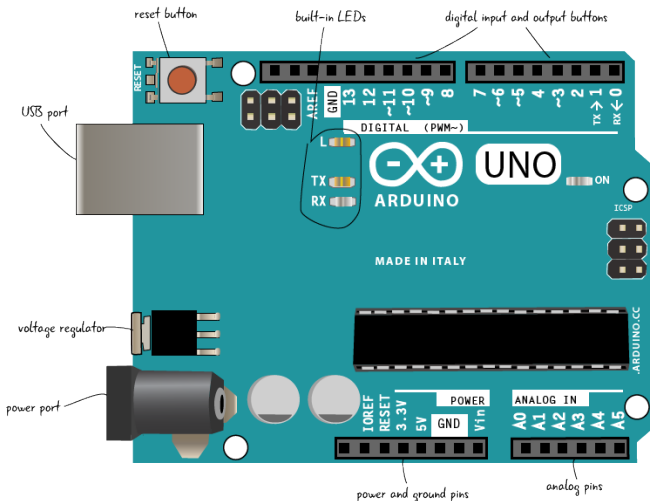
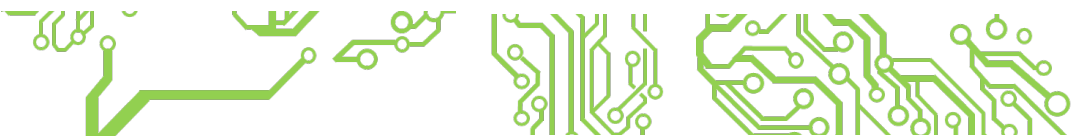


Figura 11. Puertos placa Arduino. Fuente: Wikimedia Commons, Public Domain CC BY-SA 3.0

La placa Arduino más popular es la Arduino UNO, el cual esta basa en el microcontrolador ATmega328P de Atmel. En cuanto al software de Arduino, todas las placas se pueden programar en los lenguajes de programación C y C++ utilizando un

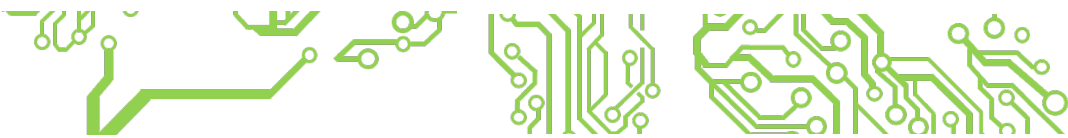


software llamado Arduino IDE. Este software contiene las herramientas necesarias para editar el código fuente, compilar y programar el microcontrolador en la placa Arduino, con una gran gama de códigos prediseñados listos a implementar. Otro aspecto importante de Arduino es que es de código abierto. Esto significa que los archivos de diseño y el código fuente del software y las bibliotecas están disponibles de forma gratuita. Con la biblioteca de Arduino se pueden utilizar los archivos de diseño de hardware como referencia y esencialmente diseñar su propia placa desarrollo adaptada a su proyecto.

*Tabla 3. Comparativa de hardware y software.*

|                                    | <b>Arduino Uno</b> | <b>Raspberry Pi 3 Model B</b>                 |
|------------------------------------|--------------------|---|
| <b>Precio</b>                      | Aprox. 23 dólares  | Aprox. 35 dólares                             |
| <b>Dimensiones</b>                 | 8 x 5.51 x 2.49 cm | 12.19 x 7.59 x 3.4 cm                         |
| <b>Memoria de Acceso Aleatorio</b> | 0.002 MB           | 1GB   |
| <b>Frecuencia de reloj</b>         | 16 MHz             | 1.2GHz  |
| <b>Multitareas</b>                 | No                 | Sí  |
| <b>Sistema operativo</b>           | No                 | Distribución Linux                            |
| <b>Comunicación</b>                | No                 | Bluetooth 4.2<br>10/100/1000 Mbps<br>Wi-Fi AC |
| <b>Fuente de alimentación</b>      | 7 a 12 V           | 5 V   |
| <b>Memoria Flash</b>               | 32 KB              | Tarjeta SD (8 a 32 GB)                        |

Como herramientas educativas, tanto Arduino como Raspberry Pi son adecuadas para los principiantes. Sólo cuando se estudia su respectivo hardware y

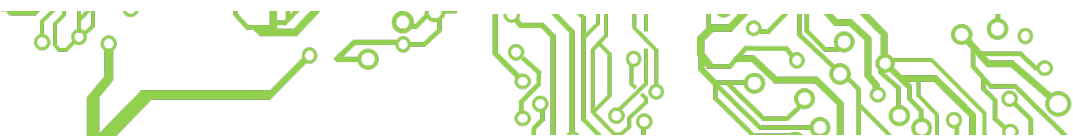


software queda claro que están destinados a ser utilizados para tipos de proyectos muy diferentes.

El costo del Arduino UNO es de aproximadamente 23 dólares, pero hay varias versiones de Arduino que están disponibles por menos de 4 dólares. En cuanto a la Raspberry Pi, la Raspberry Pi original tiene un precio de alrededor de 35 dólares, pero la última Raspberry Pi 4 Modelo B está disponible a diferentes precios de 35, 55 o 75 dólares dependiendo de la configuración de la memoria y otras características.

Tanto Arduino como Raspberry Pi tienen sus ventajas y desventajas. La elección entre ellos depende del tipo de proyecto a implementar y del presupuesto. Arduino es adecuado para tareas repetitivas como abrir y cerrar puertas, encender y apagar luces o recolectar datos. Así que, si el proyecto contiene algún elemento repetitivo y simplemente requiere proporcionar una salida basada en entradas sensoriales, Arduino debería ser la mejor elección.

Raspberry Pi es más adecuado para realizar tareas complicadas como conducir robots, monitorizar condiciones ambientales o publicar en Internet. Así que su proyecto requiere funcionalidades complejas y conectividad a Internet, Raspberry Pi es la solución. Por consiguiente, se van a detallar dos tipos tecnologías que pueden ser implementadas sin tener conocimientos avanzados en electrónica o programación en un modo de conectar y utilizar *“plug and play”*.



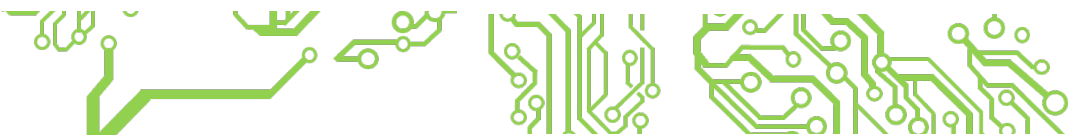
- *Grove Base Shield*

El Grove Base Shield consiste en una placa de circuito electrónicos adaptable a Arduino con una conexión a través de pines sin necesidad realizar cableados complejos o diseñar componentes eléctricos. Esta placa tiene un grupo de módulos compatibles con Arduino diseñados para construir rápidamente prototipos funcionales. La Grove Base Shield permite una conexión rápida y sencilla de los elementos a la placa Arduino mediante cables de ranura

de diferentes longitudes. Esto hace posible la implementación sin ningún conocimiento especial en electrónica. Actualmente hay una gama muy amplia de sensores, actuadores, pantallas, cámaras que se puede obtener en tiendas especializadas. El coste de los sensores es relativamente bajo, aproximadamente 5 dólares.

El propósito de utilizar el Grove Base Shield es facilitar la conexión con placas del adaptables evitando el uso de placas de inserción o *breadboard*, y los cables puentes de prototipos. Los conectores de la placa base, permiten agregar todos los módulos disponibles al Grove de Arduino Uno de forma precisa y rápida. Los componentes principales de la placa cuentan con diversos tipos de conexión que se detallan a continuación:

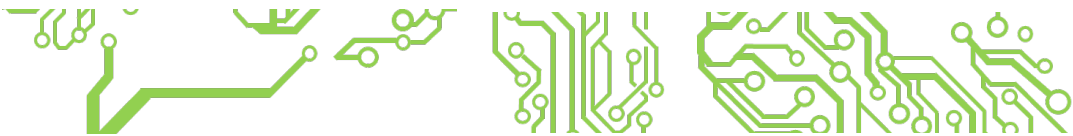
- 4 conectores analógicos (A0, A1, A2, A3)
- 8 conectores digitales (D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, UART)
- 4 conectores I2C



La diferencia entre los tipos de sensores es que los sensores analógicos envían una señal con una variación continua y los sensores digitales envían un número codificado actualizado a intervalos de tiempo regulares. La conexión I2C permite conectar la placa Arduino a un componente electrónico con esta interfaz. El puerto UART permite que la placa Arduino se comunique con un módulo GROVE en ambas direcciones transmisión y recepción. La placa Grove Base Shield es comúnmente relacionada solo al Arduino Uno. Sin embargo, puede ser adaptable a una serie de microcontroladores disponibles en el mercado tales como:

- Seeeduno V4.2
- Arduino Mega
- Seeeduno Mega
- Seeeduno LoraWan
- Arduino Leonardo
- Seeeduno Lite
- Arduino 101
- Arduino Due
- Intel Edison
- Linkit One

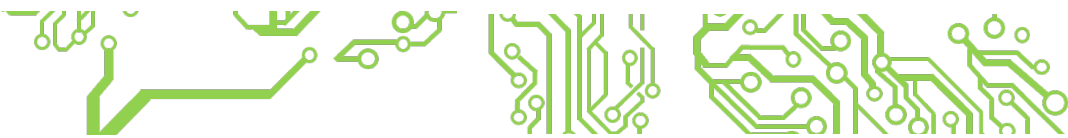
En un caso de uso descubriremos el funcionamiento del módulo DHT 11, un sensor que mide la temperatura y la humedad. Se realizarán las conexiones necesarias a





la placa Arduino Uno y el paso a paso que permite el desarrollo de un prototipo de pruebas en un modo *plug and play*.

El sensor de temperatura DHT11 un conector de tres pines la toma de tierra GND, la conexión a los datos DATA y la alimentación VCC de 3,5 a 5 V. El sensor digital está compuesto por un termistor y un sensor de humedad capacitivo. El termistor es una resistencia térmica el cual varía con la temperatura, es decir, a un aumento de la temperatura provoca una disminución de su resistencia. Básicamente, un termistor es un termómetro de resistencia fabricado con óxidos de metales de transición mezclados. Se refiere a la tecnología de medición y puede utilizarse para la medición automática de la temperatura en diversos medios. Un sensor de humedad capacitivo es un condensador de capacidad variable que contiene láminas de cobre conductoras recubiertas de textolita. El condensador está encapsulado en una funda impermeable con una capa de desecante encima. Cuando las partículas de agua tocan esta capa, su permitividad dieléctrica cambia, lo que provoca un cambio en la capacidad del condensador. Además de su bajo coste, el DHT11 otras características son la detección de temperatura de 0 a 50 grados, y la detección de humedad de 20 a 95 %. Actualmente existen una gran variedad de sensores de temperatura y humedad que varían su precio según los rangos de lectura de datos o la precisión. A continuación, se detalla el paso a paso de como conectar un sensor a una placa Arduino Uno adaptada al modelo Grove Base Shield (Seeed Technology Co., 2022a).

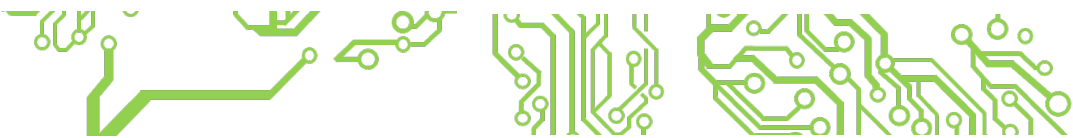


Paso 1: Antes de conectar la placa Arduino al ordenador a través del puerto USB, se debe importar las librerías necesarias para permitir una comunicación directa entre la placa Arduino y el DHT11. La biblioteca de sensores DHT11 puede descargarse en [https://github.com/Seeed-Studio/Grove\\_Temperature\\_And\\_Humidity\\_Sensor](https://github.com/Seeed-Studio/Grove_Temperature_And_Humidity_Sensor). Se necesita descargar en formato ZIP desde la página de Github, para obtener el paquete de la biblioteca del sensor de humedad y temperatura.

Paso 2: Conectar el Grove Base Shield en sobre el Arduino Uno. Verificar el orden de cada pin adaptable al microcontrolador. No forzar la conexión ya que puede ocasionar daños a los pines o las ranuras si se impone la conectividad entre placas.

Paso 3: Conecte el sensor de temperatura y humedad al puerto D2 del Grove Base Shield. En este caso práctico se utiliza el puerto de D2 como modelo de prueba. Se pueden utilizar los otros puertos digitales disponibles. La Figura 12 muestra el patrón de conexión de los componentes necesarios para el caso de uso.

Paso 4: Conectar con un cable USB el Arduino Uno como fuente de alimentación y conectividad al ordenador. Una vez realizado el proceso de programación o actualización del dispositivo solo necesitará una fuente de alimentación de energía constante de acuerdo a la referencia mencionada en la tabla 1.



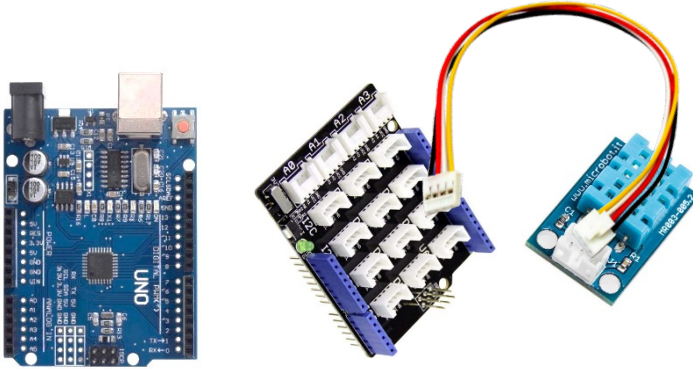
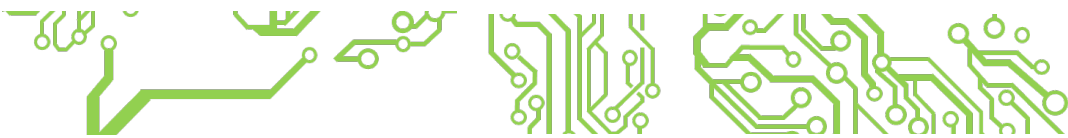


Figura 12. Esquema de conexión DHT11.

Paso 5: Descargar el software Arduino (IDE) el cual permite escribir programas y cargarlos en la placa Arduino. El software puede descargarse en la página oficial de Arduino <https://www.arduino.cc/en/software>. Para agregar una biblioteca ZIP previamente descargada se utiliza el menú **Programa > Incluir librería > Añadir biblioteca .ZIP...** como se muestra en la Figura 13. Otra opción para agregar las bibliotecas de Arduino de forma manual directamente en la carpeta de librerías asignadas directamente al instalar el software Arduino (IDE). Algunas veces no se puede añadir una biblioteca ZIP correctamente, porque la carpeta raíz de la biblioteca ZIP carece de archivo .cpp o .h, o el Arduino no puede reconocer. En este caso se puede descomprimir el archivo ZIP y copiar la carpeta de la Biblioteca. En Windows la ruta de las bibliotecas es C:\Users\USUARIO\Documents\Arduino\libraries. En MAC la ruta es Documents/Arduino/libraries.



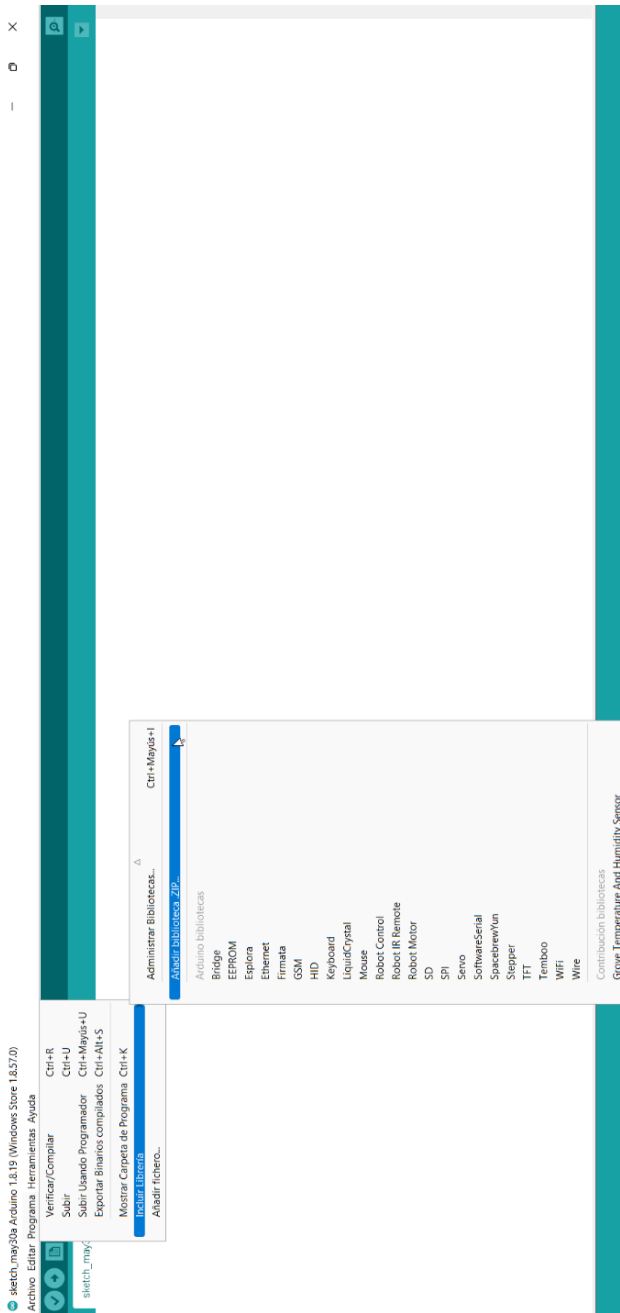
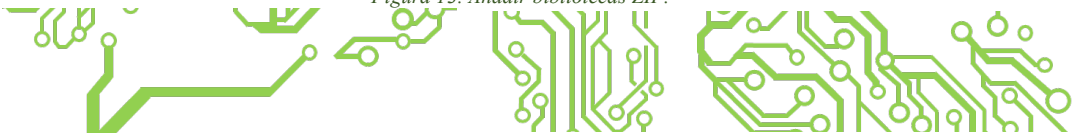


Figura 13. Añadir bibliotecas ZIP.

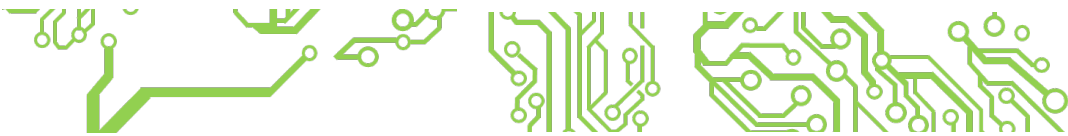


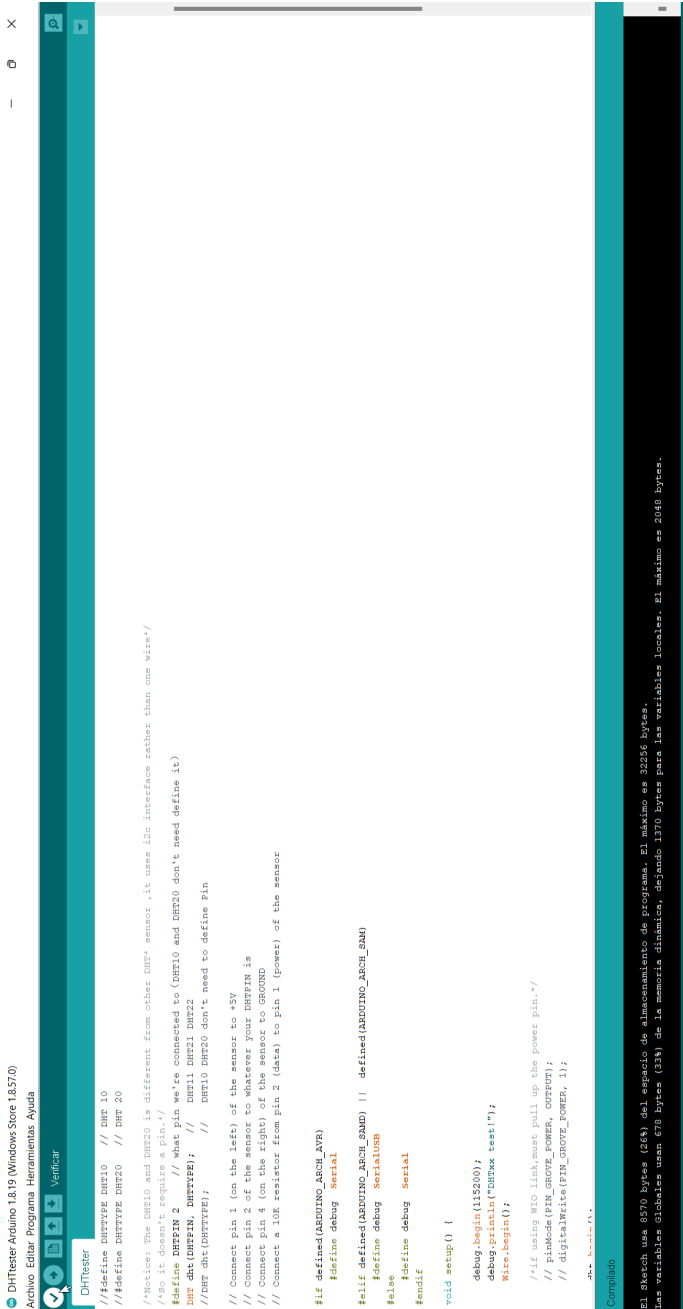
Por defecto el software Arduino (IDE) tiene predeterminado el uso de la placa Arduino Uno. Sin embargo, mediante el gestor de tarjetas del menú herramientas se puede seleccionar otro tipo de placas si no está utilizando el modelo de Arduino Uno.

Paso 6: Cuando se añade una biblioteca, se debe verificar si la instalación fue realizada de correctamente. En este caso, hacer abrir el archivo con extensión .ino en **Archivo > Abrir >** buscar la ruta de la biblioteca instalada, hacer clic en el botón **Verificar**, si no hay ningún error, la librería está instalada perfectamente (Figura 14).

Paso 7: Mediante la herramienta monitor serie del menú herramientas o con la combinación de teclas *Ctrl + Shift + M* al mismo tiempo, obtendrá los resultados de la temperatura y humedad del sensor DHT11 como muestra la Figura 15.

En este resumen hemos visto cómo conectar el DHT11 al Arduino. Hemos mostrado algunos programas de ejemplo para transmitir la información del sensor digital al monitor de hardware del puerto IDE de Arduino y a la pantalla 1602. Hay muchos proyectos de estaciones meteorológicas Arduino con el sensor DHT11 que puedes hacer tú mismo estudiando cuidadosamente la información de esta página.





```

DHTTester
// #define DHTTYPE DHT10 // DHT 10
// #define DHTTYPE DHT20 // DHT 20

// Note: The DHT10 and DHT20 is different from other DHT* sensor, it uses I2C interface rather than one wire!
// So it doesn't require a pin.*
#define DHTPIN 2 // what pin we're connected to (DHT10 and DHT20 don't need define it)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // DHT10 DHT20
DHT dht(DHTTYPE); // DHT10 DHT20 don't need to define pin

// Connect pin 1 (on the left) of the sensor to +5V
// Connect pin 2 of the sensor to whatever your DHTPIN is
// Connect pin 4 (on the right) of the sensor to GROUND
// Connect a 10K resistor from pin 2 (data) to pin 1 (power) of the sensor

File defined(ARDUINO_ARCH_AVR)
#define debug Serial
void setup() {
  debug.begin(115200);
  debug.println("Cortex test!");
  Wire.begin();

  //if using W50 link,must pull up the power pin.*
  // pinMode(PIN_GROVE_POWER, OUTPUT);
  digitalWrite(PIN_GROVE_POWER, 1);
}

void loop() {
  // ...
}

```

Compilado

El sketch usa 8570 bytes (26%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.  
 Las variables globales usan 678 bytes (33%) de la memoria dinámica, dejando 1370 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Figura 14. Verificar biblioteca

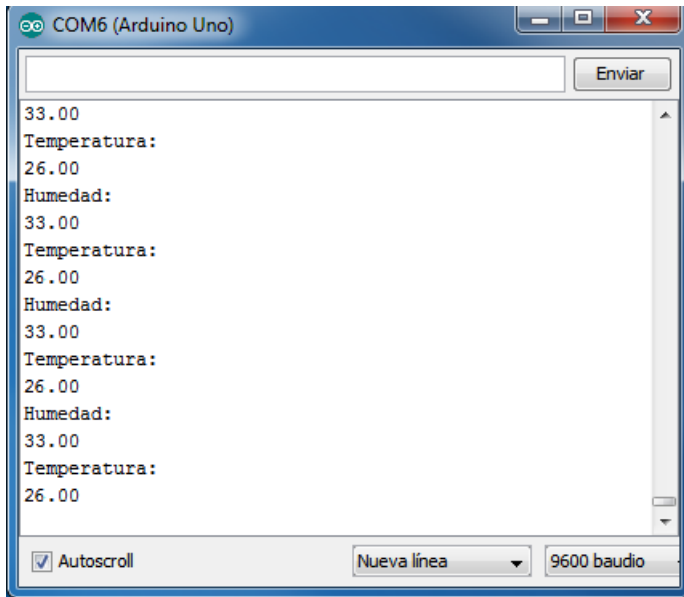
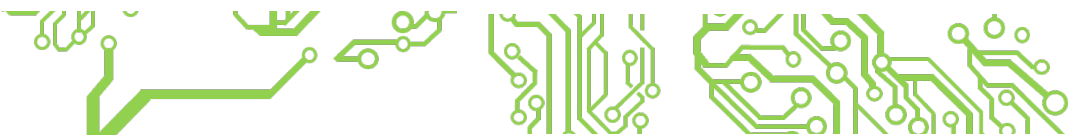


Figura 15. Lecturas del sensor

- *Grove PI Plus*

Los sensores Grove permiten añadir sensores, botones, pantallas y actuadores a tus proyectos de electrónica, sin necesidad de soldar. En este tutorial veremos el uso de los sensores Grove funcionando con una combinación de una Raspberry Pi.

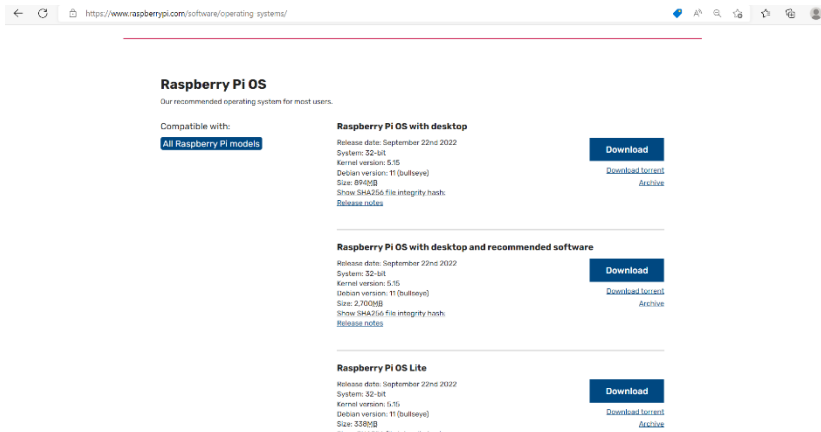
El uso de Grove PI es conveniente para evitar soldar pines y conectores, mediante el uso de librerías y fragmentos de código, y muchos menos cables ya que la mayoría de los sensores utilizan I2C o simples conexiones analógicas/digitales, en lugar de conexiones complejas en una protoboard (Seeed Technology Co., 2022b).



La placa Grove Pi está diseñada para ser conectada encima de la placa Raspberry Pi con la que se comunica a través de un enlace I2C. Esta placa tiene una multitud de conectores destinados a recibir módulos Grove.

- 7 puertos digitales
- 3 puertos analógicos
- 3 puertos I2C
- 1 puerto serie para la conexión con el GrovePi
- 1 puerto serie conectado a la Raspberry Pi

La placa Grove Pi se puede programar en Python o C. Antes de empezar con el Grove Pi, se necesita una tarjeta SD que funcione con la Raspberry Pi. Una instalación estándar de Raspbian funcionará con la GrovePi. Primero hay que descargar el sistema operativo que se iba a instalar. Para ello, ir a <https://www.raspberrypi.com/software/> en la sección de descargas hacer clic en Raspberry Pi OS Windows, Mac o Linux.



The screenshot shows the Raspberry Pi OS download page. The URL in the browser is <https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/>. The page title is "Raspberry Pi OS" with the subtitle "Our recommended operating system for most users." Under "Compatible with:", there is a link for "All Raspberry Pi models". The page lists three operating system options, each with a "Download" button and links for "Download torrent" and "Archive".

| Operating System                                      | Release date        | System | Kernel version | Debian version | Size    | File integrity hash             | Release notes |
|---|---------------------|--------|----------------|----------------|---------|---------------------------------|---------------|
| Raspberry Pi OS with desktop                          | September 22nd 2022 | 32-bit | 5.15           | 11 (bullseye)  | 5946MB  | Show SHA256 file integrity hash | Release notes |
| Raspberry Pi OS with desktop and recommended software | September 22nd 2022 | 32-bit | 5.15           | 11 (bullseye)  | 2,700MB | Show SHA256 file integrity hash | Release notes |
| Raspberry Pi OS Lite                                  | September 22nd 2022 | 32-bit | 5.15           | 11 (bullseye)  | 358MB   | Show SHA256 file integrity hash | Release notes |

Figura 16. Raspberry Pi OS.





Una solución simple y de fácil uso para instalar el Raspberry Pi OS en la tarjeta SD dedicada a la Raspberry pi, se recomiendan utilizar Etcher. Así se puede descargar Etcher desde <https://www.balena.io/etcher>, el cual permitirá escribir la imagen de Raspberian en una tarjeta flash y hacerla arrancable. Una vez descargado el software Etcher iniciar el programa y seleccionar la imagen Raspberry Pi OS descargada previamente. Escoger el target en la memoria SD y seleccionar Flash. Con estos procedimientos ya está la Raspberry Pi preparada para ser conectada al Grove Pi.

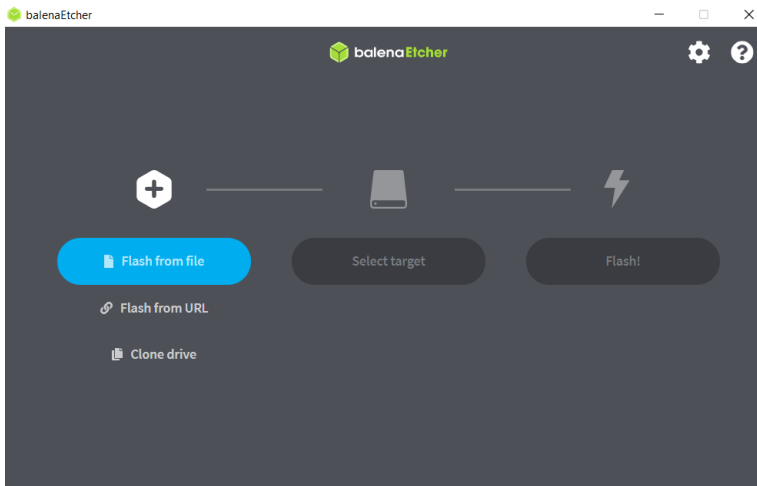
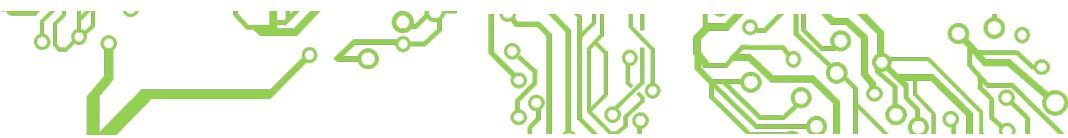


Figura 17. Software balenaEtcher.

Luego de haber realizado la instalación de los softwares necesarios, se procede a instalar las librerías para el funcionamiento adecuado de la placa Grove Pi. A continuación, se detalla el paso a paso de como conectar un sensor a una placa Raspberry Pi adaptada al modelo Grove Pi.



Paso 1: Primero, colocar la GrovePi en la Raspberry Pi. El GrovePi se desliza sobre la Raspberry Pi como se muestra en la Figura 18.

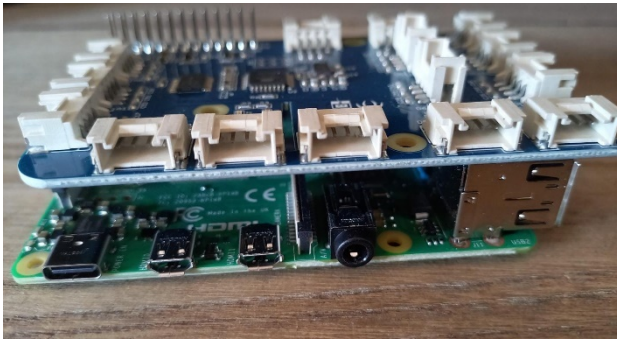


Figura 18. Raspberry Pi y Grove Pi..

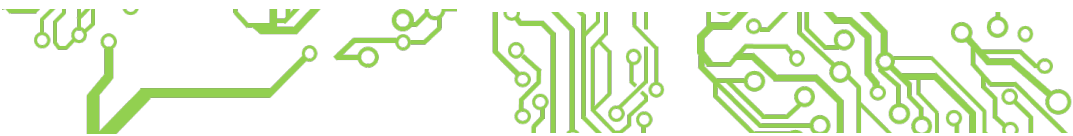
Paso 2: Para alimentar el GrovePi y la Raspberry Pi a una fuente eléctrica, se puede utilizar el puerto micro USB de la Raspberry Pi. Recordar usar un buen adaptador de corriente capaz de suministrar 1A 5V y debería estar suficiente con la fuente de energía.

Paso 3: Instalar es la librería seeed grove el cual contiene todos los archivos necesarios para el funcionamiento adecuado de la placa Grove Pi. Existen varios métodos de instalación, pero el más sencillo es la instalación con un solo comando en la terminal de Raspberry Pi OS.

```
curl -sL https://github.com/Seeed-Studio/grove.py/raw/master/install.sh | sudo bash -s -
```

Paso 4: Conectar el sensor de temperatura y humedad al puerto D7.

Paso 5: Una vez conectado el sensor de temperatura en el Grove Pi, ir a la carpeta GrovePi mediante el comando `cd ~/GrovePi/Software/Python`. A través de un

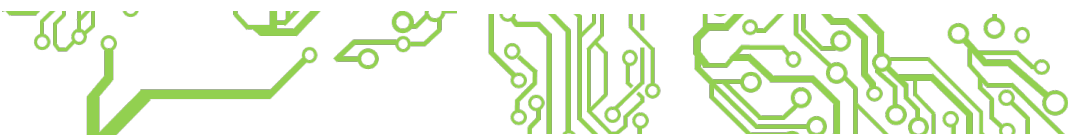


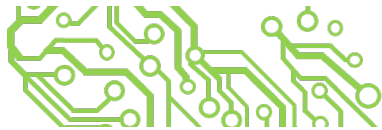
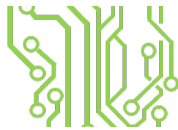
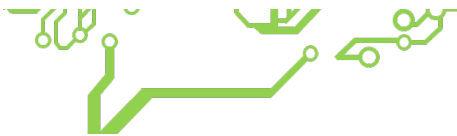
editor de texto tal como nano o vi se puede editar el archivo `grove_dht_pro.py` agregando el puerto correcto de conexión en este caso D7.

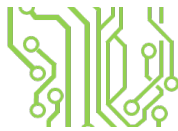
Paso 6: Desde la línea de comandos del Raspberry Pi ejecutar el comando `sudo python3 grove_dht_pro.py`. El resultado de se muestra en la terminal de la siguiente forma:

```
pi@raspberrypi:~/GrovePi/Software/Python $ sudo python3 grove_dht_pro.py
temp = 26.00 C humidity =40.00%
temp = 26.00 C humidity =40.00%
temp = 26.00 C humidity =40.00%
temp = 26.00 C humidity =40.00%
temp = 26.00 C humidity =40.00%
temp = 26.00 C humidity =40.00%
```

En la carpeta `/GrovePi` existe una enorme gama de proyectos creados con ejemplos con diversos sensores que pueden ser adaptados a diferentes proyectos. El uso de puertos análogos, digitales y I2C permite una fácil conexión de los sensores evitando el uso de soldaduras o conexión de cables puentes. Otro punto a resaltar del uso de una placa Grove Pi adaptada a una Raspberry Pi es el uso de una conexión externa HDMI o una pantalla LCD, con la que podrá visualizar los resultados del proyecto.







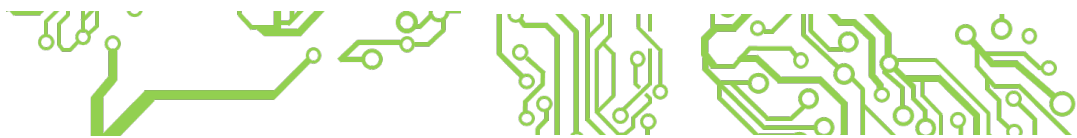
## CAPÍTULO 4

# Detección de enfermedades en plantas

En la actualidad, las enfermedades de las plantas ocasionan pérdidas del 10 al 16 % en las cosechas a nivel mundial anualmente, con una estimación de US\$ 220 000 millones (Balasundram *et al.*, 2020). Debido a esta situación, desde hace algunos años se está incursionando en la agricultura de precisión, para tratar de controlar las enfermedades en los cultivos.

Las enfermedades de las plantas pueden ser causadas por organismos como: bacterias, hongos, animales y virus, o bien, pueden venir de desbalances en su nutrición y/o por condiciones ambientales. Estas enfermedades pueden atacar cualquier parte de la planta, dependiendo del factor que la esté causando, y si bien es cierto que algunas son más resistentes que otras, todas estas enfermedades pueden ser tratadas con el fin de no afectar el cultivo en su totalidad.

La agricultura de precisión, es el uso de la tecnología para apropiar el uso de los suelos y cultivos a la variabilidad que existe dentro de una parcela, es una forma novedosa de tratar los cultivos que puede controlar las enfermedades que atacan a los mismos, ya que presenta un mayor rendimiento en el consumo de los insumos que necesitan las plantas, entre los que podemos mencionar: el agua, fertilizantes y fitosanitarios.

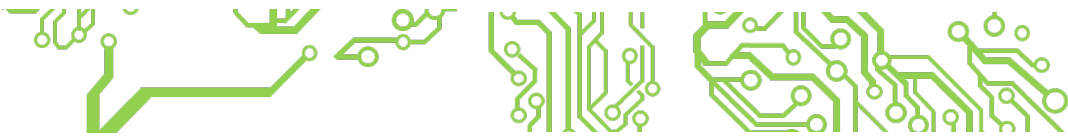


Desde hace dos décadas se dio inicio a este tipo de agricultura de precisión en regiones de agricultura avanzada, donde se pueden observar parcelas de gran tamaño dedicadas a las siembras de monocultivo, en su mayoría de cereales, maíz o forrajes (Planas de Martí, 2018 ; Figura 19). La ventaja de este tipo de siembra es que los agricultores se especializan en un cultivo y tienen la noción suficiente para enfrentarse a los mismos problemas con el paso del tiempo, de esta manera reduce los costos ya que no se requiere maquinaria ni otros recursos adicionales para atacar problemas diferentes, en cuanto a la agricultura de precisión, cuando se siembra un solo cultivo en el campo, es más fácil monitorizar su salud y desarrollo.

En la actualidad, este tipo de agricultura, se practica en plantaciones con varios cultivos a nivel mundial. Lo que realmente se busca con la agricultura de precisión es medir, analizar y manejar la variabilidad y productividad dentro de la parcela y maximizar los rendimientos.



*Figura 19. Monocultivo de arroz en Panamá. Fuente: Bouroncle et al., 2014.*



Este tipo de agricultura da un gran paso a una agricultura sostenible y colabora con mejorar la situación económica y social del entorno de los agricultores. Hace unos años incluso se están utilizando sensores ópticos y algoritmos con el fin de determinar la fisiología de las plantas para captar la llegada de plagas y enfermedades y, además, observar el estado nutricional de las plantas, estrés hídrico o salino.

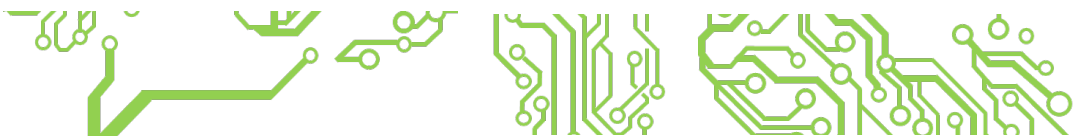
#### 4.1 *Parámetros y técnicas claves en AP*

De esta forma podemos cerciorarnos de una mejor intervención en el control de diversos problemas que presenten las plantas dentro de un cultivo.

A continuación, se describirán algunas situaciones de las plantas que podemos solucionar con agricultura de precisión:

- *Déficit hídrico*

El agua es uno de los principales componentes para el rendimiento de un cultivo, por esta razón debe monitorearse constantemente. Usualmente la falta de agua se soluciona a través del riego constante sin conocer el estado del cultivo o del suelo. Utilizando un sensor de flujo con un microcontrolador como Arduino (Figura 20), podemos calcular el caudal, y comprobar el volumen de líquido que ha pasado por una tubería, y controlarlo según sea necesario. Cuando el agua fluye a través del conjunto rotor, éste girará y el sensor de efecto producirá un impulso eléctrico. Contando estos pulsos generados, se puede calcular la cantidad de agua que pasa por el sensor. El rango de medición del flujo de agua es de 1 L/Min y su máximo 30 L para un sensor YF-S201.





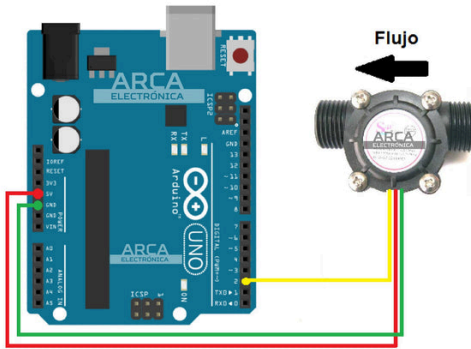
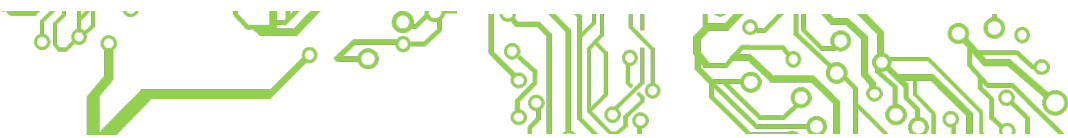


Figura 20. Sensor de flujo con un microcontrolador Arduino. Fuente: Arca Electrónica.

- *Humedad de suelo*

Los sensores de humedad colocados directo al suelo en tiempo real, esta herramienta nos da información sobre el contenido de humedad del suelo. Con estos datos se pueden obtener resultados aproximados para manejar un sistema de riego con información suficiente para tomar decisiones del momento en que realizar el riego. El sensor de humedad del suelo consta de dos sondas que miden el volumen de agua del suelo. Las dos sondas permiten medir nivel de humedad a través de una resistencia. A mayor cantidad de agua, el suelo conduce más electricidad, lo que significa que la resistencia será menor. Dando como resultado una humedad de suelo elevada.

La pluviometría nos mide la cantidad de lluvia y ayuda al control del riego. El sensor lluvia actúa como una resistencia variable que cambia según su estado: la resistencia aumenta cuando el sensor detecta lluvia y la resistencia es menor cuando el sensor no detecta la lluvia. Toda esta información puede obtenerse a través de la Web y



smart phones. Dentro de estos sensores se puede mencionar: Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia (FDR) y Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR).

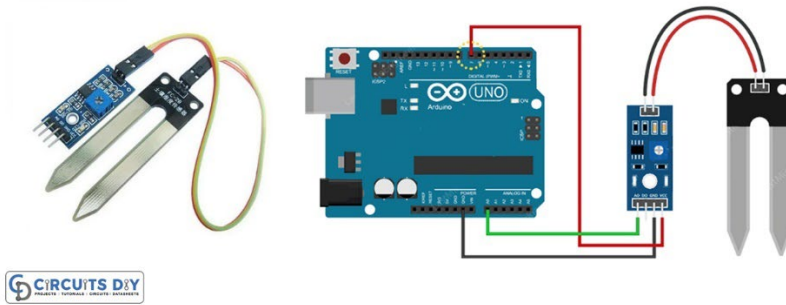
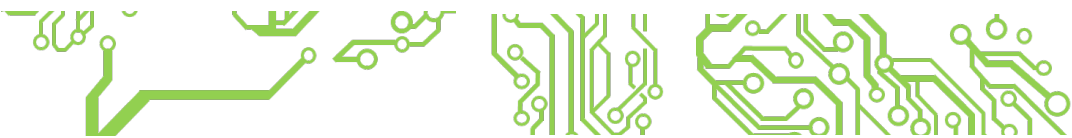


Figura 21. Sensor de humedad del suelo con Arduino Uno. Fuente: Circuits DIY.

- *Condiciones ambientales*

La información del ambiente se adquiere desde estaciones meteorológicas automáticas, que permiten tener respuesta a las condiciones ambientales desfavorables que puedan presentarse, lo que es altamente importante no solo para evaluar déficit hídrico sino también para determinar alertas tempranas de probabilidades de apariciones de enfermedades de cultivos. Medición de la humedad relativa y sus efectos en enfermedades fúngicas. La medición de la temperatura nos proporciona información para controlar los estados fenológicos de la planta. Para diseñar una estación meteorológica basada en WiFi, LoRa o Sigfox es necesario una placa de microcontroladores y los sensores (Figura 22). Todos los componentes que se necesitan para crear una estación meteorológica pueden comprarse en Amazon u otro proveedor de servicio. Un ejemplo de una estación meteorológica con conexión WiFi puede incluir los siguientes componentes:



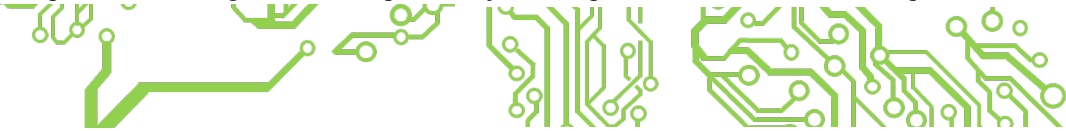
- ESP32 Board    ESP32 ESP-32S Development Board
- Arduino Pro Mini Arduino Pro Mini 3.3V, 8MHz
- LoRa Module    Ra-02 SX1278    2
- Barometric Pressure Sensor    BME280
- Light Sensor    BH1750
- Rain Sensor    FC-37 Analog/Digital Rain Sensor
- Battery    3.7V 1000mAh Lithium-Ion Battery



Figura 22. Redes inalámbricas de sensores ambientales del proyecto Smart-Agrip en Panamá (FIED-2019-R1-003).

- Termografía infrarroja

La termografía infrarroja permite la detección remota del estrés hídrico que no se detecta al ojo y se da en la interacción de la radiación con la vegetación. La mayor parte de la energía absorbida por la hoja es disipada en forma de calor, lo que ha



provocado que se esté investigando en la transferencia de calor entre la vegetación y el ambiente y su efecto en el déficit hídrico en las plantas (Figura 23), con ajustes de esta metodología muy promisoriosa, tanto a nivel predial como a mayores escalas con el uso de modelos como METRICS, actualmente. Un sensor de infrarrojos contiene un módulo electrónico que se utiliza para percibir cierto aspecto físico de su entorno mediante la emisión y/o detección de radiación infrarroja. Los sensores IR también son capaces de determinar el calor que emite un objeto y de detectar el movimiento.

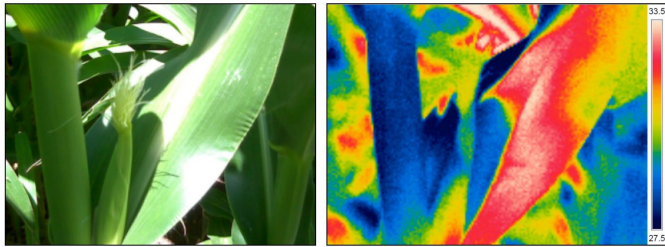
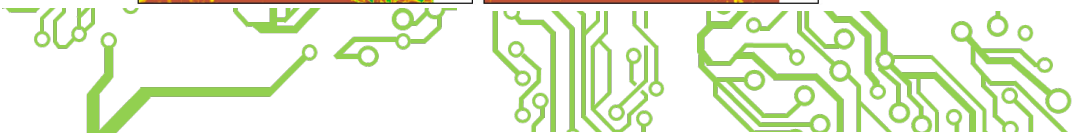
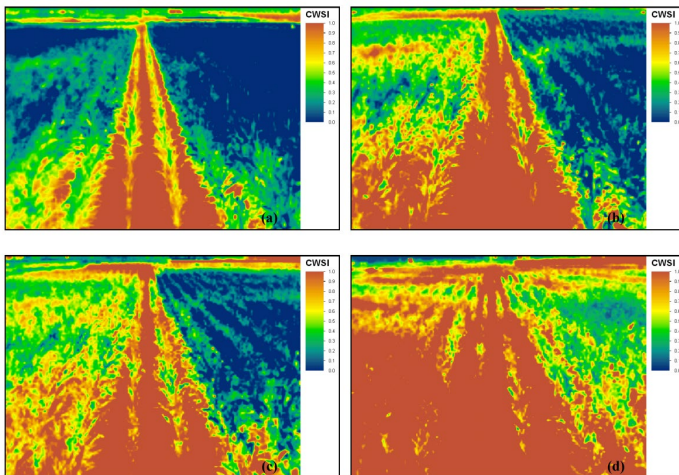


Figura 23. Imágenes visibles y térmicas a corta distancia que contienen diferentes partes de la planta en condiciones de luz y sombra.

Índice de estrés hídrico (CWSI) de cultivo de maíz estimado a partir de las imágenes térmicas adquiridas el (a) 19 de julio; (b) 26 de julio; (c) 9 de agosto; y, (d) 5 de septiembre de 2012. (Taghvaeian et al., 2013)



#### 4.2 Enfermedades comunes en cultivos de Panamá

Mediante el uso de los sensores mencionados anteriormente, pueden ser implementados en diversos campos de cultivos agrícolas y hacer frente a enfermedades de plantas. A continuación, mencionaremos algunas enfermedades comunes en cultivos de Panamá.

- *Roya del café*

Es un hongo que ataca la hoja del café (haz y envés). Causa clorosis en las hojas, con la decoloración en áreas de la hoja y polvillo de amarillo a anaranjado en el envés del hola. El agua es esencial para la dispersión y germinación de las esporas del hongo, la existencia de una epidemia de roya del café requiere de lluvia.

Durante los últimos años se han presentado alteraciones en las condiciones climáticas (aumento de la precipitación, cambios en la temperatura del aire, disminución del brillo solar y alta humedad relativa), generando estrés en las plantaciones de café y ambientes propicios para desencadenar epidemias de roya, en aquellas variedades que carecen de genes de resistencia al hongo.



Figura 24. Síntomas de la roya del café causada por *Hemileia vastatrix* en el follaje (Carvalho et al., 2011).

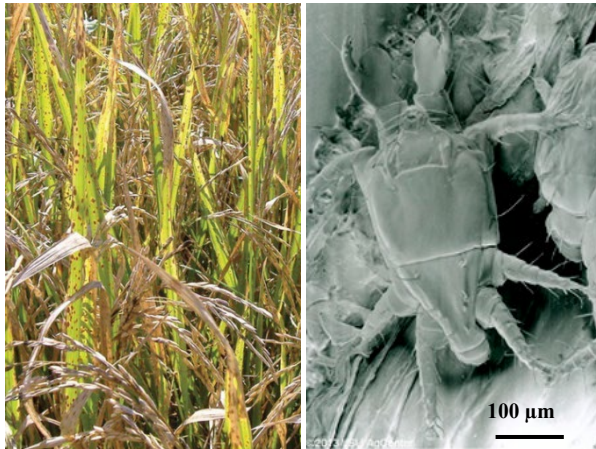


- *Ácaro del vaneo del arroz*

Es un ácaro que afecta el interior de la vaina de la hoja y las espigas en formación, produce granos, curvatura anormal de las panículas y puede producir necrosis en el interior de las vainas. Se encuentra sobre la cigarrita del arroz, que es el vector del virus de la hoja blanca del arroz.

La duración del ciclo de vida del ácaro está relacionada con las condiciones de temperatura y humedad relativa. Las temperaturas entre 22 y 32°C y humedad relativa mayor que 80% son condiciones favorables para el desarrollo de este ácaro.

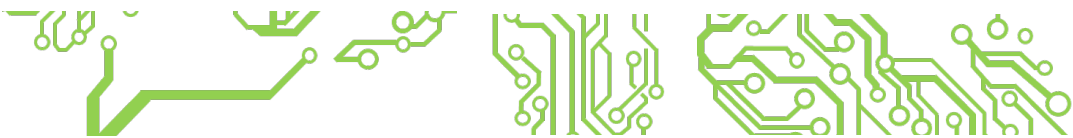
*Figura 25.  
Daños sobre  
cultivo de  
arroz, hojas  
y granos  
vanos y  
manchados.*



*Acario del  
vaneo  
del arroz.  
Fuente:  
croplifela.org*

- *Mosca minadora de la papa*

Es una mosca que afecta las hojas, e impide que se realice con efectividad la fotosíntesis y transpiración de la planta. La duración del ciclo biológico disminuye a

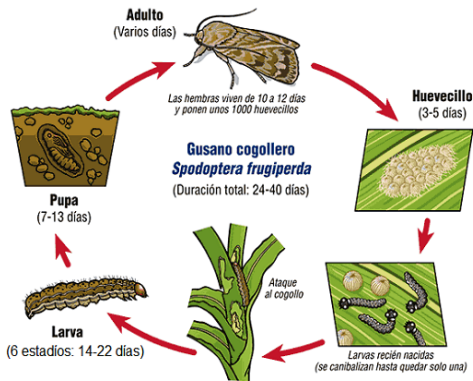


medida que se eleva la temperatura, dura en 17 días a 25°C, si la temperatura está a 20°C, tarda 25 días.



Figura 26. Mosca minadora adulta (izquierda) y daños ocasionados por larvas en las hojas (derecha). Fuente: Carmona et al. (2008).

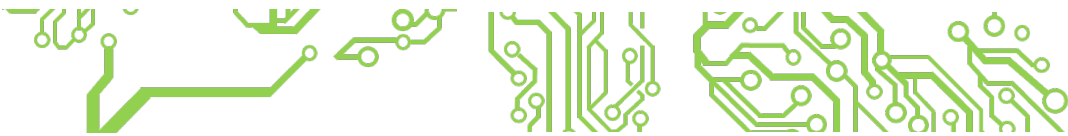
- Gusano del maíz

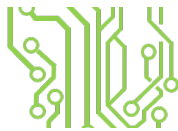
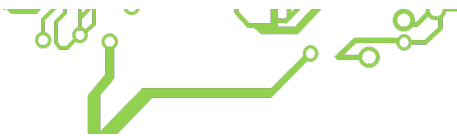


Es una oruga que puede atacar al maíz desde su germinación hasta la madurez del cultivo. Los ataques en estados tempranos pueden afectar estados vegetativos de desarrollo mientras que los tardíos pueden dañar las espigas.

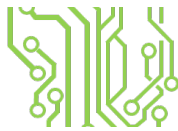
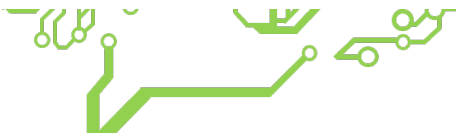


Figura 27. Etapas del ciclo biológico del gusano del maíz y ejemplo de ataque al cogollo.









# CAPÍTULO 5

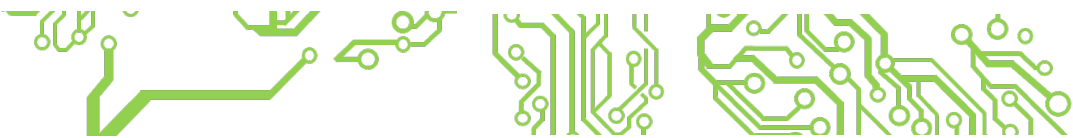
## Evoluciones de la AP

### Ejemplos internacionales

#### 5.1 *Aplicaciones para smartphones*

Cada vez se desarrollan más aplicaciones específicas para el mundo agrícola. Gracias a ellos, los responsables de las explotaciones pueden encontrar apoyo en la gestión de su negocio agrícola. Teóricamente, le permiten al productor consultar informaciones claves como meteorología o precios de los productos para tomar las decisiones adecuadas como momento de fertilizar, cosechar o vender entre otras. Los países con mayor número de aplicaciones agrícolas son Estados Unidos, Brasil, India, Australia y Alemania, debido a la fuerza y el tamaño de sus sectores agrícolas y a la adopción de dispositivos móviles (Schulz *et al.*, 2022).

Según Molina-Maturano *et al.* (2021), la expectativa de rendimiento es el factor que más influye la intención de los agricultores mexicanos de adoptar una aplicación para proporcionar información agrícola. Esto pone de manifiesto la importancia de comprender los beneficios que perciben los agricultores. Así pues, los gestores de proyectos agrícolas que pretendan implantar aplicaciones para teléfonos móviles deben asegurarse de que su uso para la recogida de datos ofrezca beneficios a los agricultores, como las compensaciones de créditos móviles.



Hay un aumento creciente de las aplicaciones de teléfonos inteligentes disponibles para mejorar la toma de decisiones de los agricultores, donde el 95% de ellos ya utiliza un teléfono inteligente y de estos, el 71% tiene aplicaciones específicas que proporcionan información sobre un cultivo específico, y la detección y predicción de plagas o enfermedades en Alemania (Michels *et al.*, 2020). También existen aplicaciones específicas a un tipo de gestión como del riego (Figura 28), o del ganado (Figura 29).

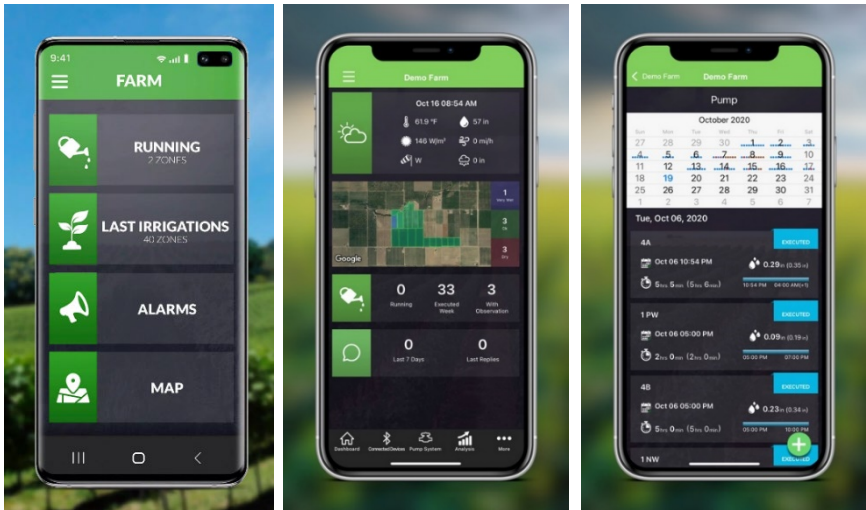
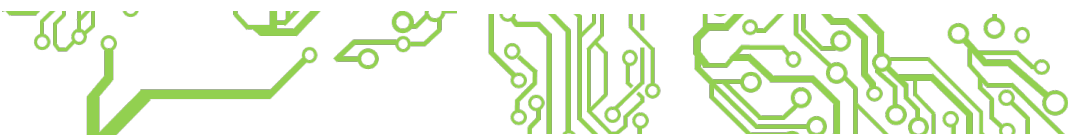


Figura 28. Aplicación DropControl de ayuda en el control de riego.

Mendes *et al.* (2020) indica que uno de cada seis productores rurales brasileños todavía no utiliza ninguna tecnología. De los demás, 70% de los agricultores usan tecnologías de baja complejidad, que implican acceso a Internet y conectividad/inalámbrica en la propiedad, 58% aplicaciones informativas y 23% aplicaciones de gestión y manejo de cultivo.



En Alemania, 95% de los agricultores utiliza un teléfono inteligente, pero sólo el 71% utiliza una aplicación de protección de cultivos para teléfonos inteligentes. La mayoría de los agricultores consideran que las aplicaciones que proporcionan información sobre el tiempo, la búsqueda de plagas y las previsiones de infestaciones son las más útiles. Sin embargo, el uso declarado es inferior a la utilidad declarada (Michels *et al.*, 2020).

En Australia, Schulz *et al.* (2022) descubrieron que a pesar del alto uso de tecnología como smartphones y tablets (más de 90%), solamente 60% de los agricultores ya usaron una aplicación para mejorar la gestión de su finca. La razón principal evocada para no utilizar una aplicación agrícola fue la cantidad de tiempo necesaria para configurar y aprender a utilizar la aplicación. Es imprescindible que los desarrolladores de aplicaciones comprendan que se trata de una barrera importante para la adopción y que se espera que las aplicaciones sean fáciles de configurar y de aprender a utilizar. La segunda razón más importante para no utilizar una aplicación agrícola fue que el coste de la misma era demasiado elevado, lo que supone un gran reto para el sector de la tecnología agrícola a la hora de demostrar una propuesta de valor sólida para su adopción.

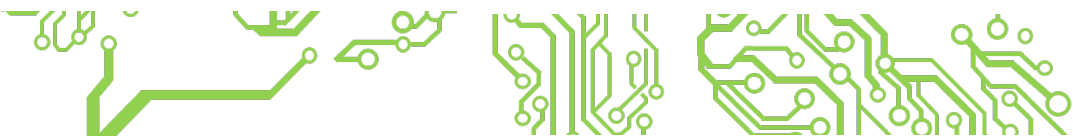


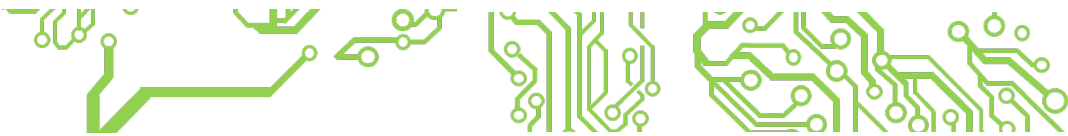


Figura 29. Aplicación MilkingCloud Mobile Cattle Tracking, asistente de gestión de ganado.

## 5.2 Redes inalámbricas de sensores (WSN)

La implementación de redes inalámbricas de sensores es un primer paso hacia la agricultura de precisión e inteligente que aportan muchos beneficios socio-económicos como ambientales cuales ya se contemplaron en varias partes del mundo. Este capítulo busca exponer las tecnologías existentes, así como los impactos que ya se analizaron en las sociedades que las emplean.

Como conjunto de nodos de sensores, las WSN son de vital importancia por su función de facilitar datos a otras capas y tecnologías. Conceptualmente, las WSN están formadas por numerosos nodos inteligentes alimentados por mini panel(es) solar(es), energía almacenada en baterías, que se conectan a través de una red inalámbrica. Las mejoras en los sistemas microelectromecánicos hacen que estos nodos sean más pequeños, menos costosos y de bajo consumo. Estos nodos se distribuyen por el campo

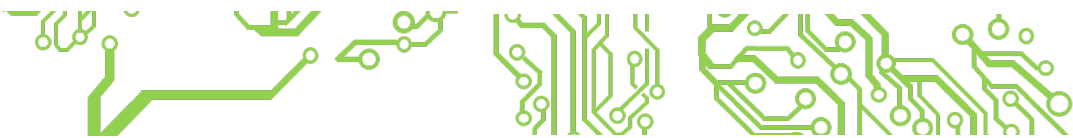


y se encargan de recoger datos de la explotación y del entorno. Entre estos datos se encuentran la humedad del suelo, la temperatura, la humedad y el estado de los cultivos, por nombrar algunos.

Tabla 4. Principales aplicaciones actuales de los sensores ambientales en agricultura (basada en Rajput *et al.*, 2012).

| Necesidad agrícola                  | Rol de los sensores  |
|-------------------------------------|--|
| Estado del suelo                    | Información de la composición del suelo como el pH, la cantidad de nutrientes, la humedad del suelo.   |
| Control de riego                    | Distribución equitativa del agua, información sobre la necesidad de tiempo de riego.   |
| Predicción de plagas y enfermedades | Información de valores de parámetros climáticos favorables a la aparición de plagas como temperatura e humedad relativa, humedad de las hojas. |
| Previsión meteorológica             | Recolección de datos climáticos como la cantidad de lluvia, la temperatura y humedad del aire, dirección y velocidad del viento.               |
| Gestión del almacenamiento          | Monitoreo y vigilancia de las zonas de almacenamiento en frío.   |

Así que esta tecnología esta usada en prácticamente todos los países para proporcionar una serie de informaciones claves resumidas en la Tabla 4. Su aplicación ya se comprobó y su utilidad se demostró en una diversidad de cultivos particularmente como la manzana (Nabi *et al.*, 2020) y la horticultura (Sharma & Ashoka, 2015) en India, la lechuga en Tailandia (Jamroen *et al.*, 2020), los viñedos en Serbia (Popović *et al.*, 2017), los pastoreos en Nueva Zelandia (Hedley, 2015) entre otros.



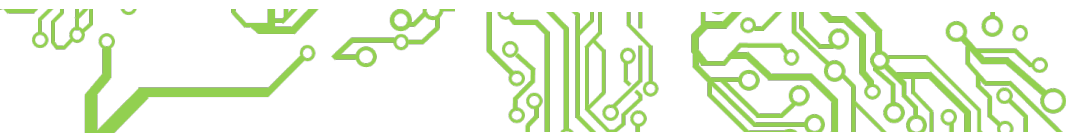
### 5.3 Imágenes satélites y machine learning

El uso de imágenes por satélite en el sector agrícola no es nuevo. Las organizaciones han utilizado las imágenes del espacio para estudiar el uso de la tierra desde que el primer satélite del programa Landsat de la NASA empezó a enviar imágenes en 1972. Sin embargo, hasta hace poco, el uso de esas imágenes satelitales era relativamente limitado. Ello se debía, en parte, a problemas de resolución y frecuencia de estas imágenes, pero también a la incapacidad de asimilar estos datos potencialmente valiosos en las operaciones cotidianas de una explotación agrícola típica.



Figura 30. <https://www.artefact.com/blog/applying-machine-learning-algorithms-to-satellite-imagery-for-agriculture-applications/>

La diferencia entre entonces y ahora es que los datos que generamos pueden integrarse en todas las innovaciones adicionales que tienen lugar en la explotación. La ventaja de las imágenes por satélite es que se trata de datos casi en tiempo real y que pueden cubrir una gran superficie en poco tiempo. El GIS o Geographic Information System (Sistema de información geográfica en español) combina la capacidad de



procesamiento y la tecnología de aprendizaje automático para procesar las grandes cantidades de datos obtenidos por los satélites y trazar la información relativa a los distintos tipos de cultivos con rapidez y precisión.

En los últimos años en Iran, Garajeh *et al.* (2021) desarrollaron un modelo de red de aprendizaje profundo, basado en los principios de Machine Learning de la distribución de la salinidad del suelo cuyos resultados, basados en datos como temperatura de la superficie terrestre, humedad del suelo y evapotranspiración, ayudan a los investigadores para simular la base del escenario de salinización del suelo en regiones semiáridas y áridas y entonces por la explotación de varios datos apoyar al desarrollo sostenible de la agricultura en tales regiones.

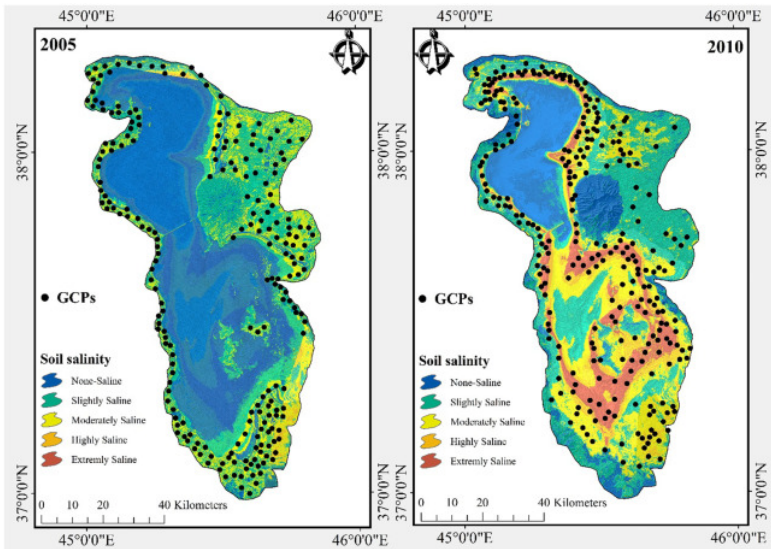
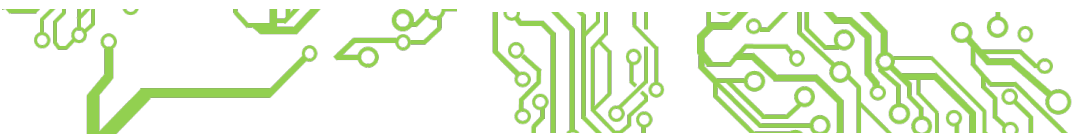


Figura 31. La distribución espacial de la salinidad del suelo generada mediante una red neuronal convolucional de aprendizaje profundo (DL-CNN) para los años 2005 y 2010 (Garajeh *et al.*, 2021).



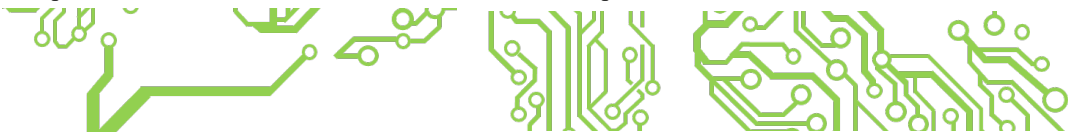


La apicultura desempeña un importante papel en el aumento y la diversificación de los ingresos de muchas comunidades rurales del Reino de Arabia Saudí. Sin embargo, a pesar de que la región cuenta con una pluviometría relativamente buena, que da lugar a mejores condiciones de forraje, las abejas y los apicultores se ven muy afectados por la escasez estacional de forraje apícola.

Sammouda *et al.* (2014) se interesó a las problemáticas de la apicultura en Arabia Saudí, en particular a la escasez estacional de forraje apícola afectando las abejas y los apicultores, cuales deben trasladar continuamente sus colonias en busca de mejor forraje. Gracias a la implementación de un método de segmentación basado en la agrupación de píxeles para imágenes de satélite de agricultura, Sammouda *et al.* (2014) lograron determinar las zonas reales de forraje de las abejas con características específicas como la densidad de población, la distribución ecológica y la fenología de la floración.

#### 5.4 Usos directos e indirectos de drones

Los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV para Unmanned Aerial Vehicles en inglés) utilizados en la agricultura son vehículos con un peso cercano a 25 kg por la mayoría que no necesitan un ser humano para pilotarlos, ya que pueden manejarse de forma remota. Gracias a los UAV se puede realizar fácilmente un estudio rápido en una amplia zona. Los vehículos aéreos no tripulados pueden aplicarse de manera indirecta para el análisis de imágenes, la vigilancia del terreno y el análisis en profundidad de la situación de un cultivo. Además, pueden utilizarse de manera directa



para la pulverización de fertilizantes y pesticidas. Ayudará a los agricultores a aumentar la productividad y la calidad de los cultivos y a reducir la carga de trabajo de los agricultores, con mejor control sobre las plagas e enfermedades aplicando medidas más respetuosas del ambiente.

Podemos clasificar los vehículos aéreos no tripulados en varios tipos en función del número de rotores, la velocidad, la aplicación, el mecanismo, etc. Pueden ser vehículos aéreos no tripulados de ala fija, de un solo rotor, de aterrizaje múltiple (VTOL) y de despegue vertical híbrido. Hay una gran diferencia en la estructura de los de ala fija y los multirrotores. Su tiempo de vuelo, su resistencia y su tipo de energía difieren totalmente entre sí. Un monorotor es ligeramente diferente de los multirrotores. El monorotor contiene dos rotores en los que uno más grande está en la parte superior, y el otro es pequeño y está fijado en la cola. Los multirrotores pueden ser tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros, según el número de rotores y las aplicaciones. En la Tabla 5 se describen los distintos tipos de vehículos aéreos no tripulados y sus características respectivas.

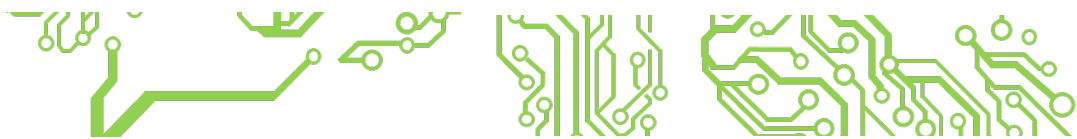
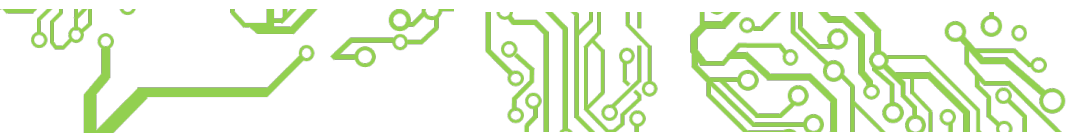


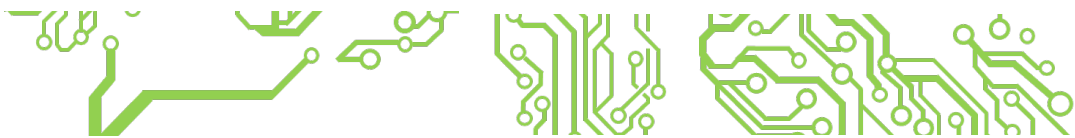
Tabla 5. Características de los diferentes tipos de drones usados en agricultura de precisión (traducido de Velusamy et al., 2021).

| Parámetros                                | Principales tipos de UAV   |   |  |
|---|--|---|--|
|   | Ala fija   | Rotor único   | VTOL híbrido   |
| <b>Cantidad de rotores</b>                | 1  | 1 (uno de tamaño grande y otro de tamaño pequeño en la cola del dron) | 3 - Trihélictero<br>4 - Cuadrhélictero<br>6 - Hexahélictero<br>8 - Octohélictero |
| <b>Fabricación y mantenimiento</b>        | Simple   | Complejo  | Complejo   |
| <b>Costo</b>                              | Alto   | Alto  | Bajo   |
| <b>Tiempo medio de vuelo</b>              | 2 h en batería<br>16 h con motor a gas   | Más alto (con motor a gas)  | Limitado (20-30 min)   |
| <b>Resistencia</b>                        | Más  | Más (con alimentación a gas)  | Limitada   |
| <b>Energía</b>                            | Batería - nunca utilizan la energía para mantenerse a flote en el aire,<br>Motor a gas   | Motor a gas   | Batería - nunca utilizan la energía para mantenerse a flote en el aire           |
| <b>Velocidad</b>                          | Velocidad de vuelo rápida  | Limitada  | Limitada   |
| <b>Aplicaciones</b>                       | Cartografía y vigilancia aérea a larga distancia   | Escaneo aéreo   | Fotografía aérea, Corta distancia, Cartografía y vigilancia aéreas               |
| <b>Inconvenientes</b>                     | Aerial photography is not applicable because it needs to be motionless in the air for a period.                                      | Harder to fly; Dangerous to handle                                    | Limited Payload  |
| <b>Entrenamiento necesario para volar</b> | Requerido (pista de aterrizaje o una catapulta de lanzamiento para poner un ala fija en el aire, paracaídas o una red de aterrizaje) | No requerido  | No requerido   |
|   |  |   | Imperfect in hovering<br>Limited Payload   |



#### 5.4.1 Análisis y gestión por imágenes

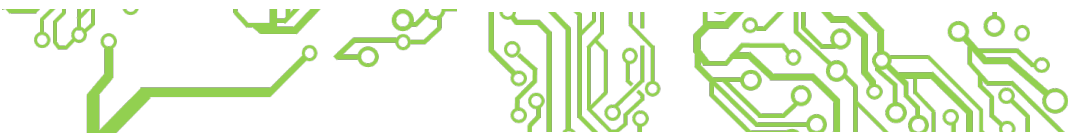
Los drones son capaces de capturar y producir un mapa preciso para el análisis del suelo antes de la plantación del cultivo sobre el campo, lo que ayuda a dirigir los patrones de siembra. Después de la plantación, estos datos también ayudan a determinar la gestión nutricional y de riego. En África del Sur, la investigación de Krenz *et al.* (2019) está basada en el uso de imágenes de UAV para identificar el estado de degradación de los suelos, basándose en la hipótesis de que la cubierta vegetal puede utilizarse como un indicador para estimar el estado de salud de los suelos. Para evaluar la calidad de los productos derivados de los UAV, compararon un mapa convencional derivado del campo con dos mapas modelizados basados en la cubierta vegetal únicamente por una parte y el conjunto de la cubierta vegetal, la información topográfica y un análisis de acumulación de flujo por otra parte. Todos los métodos fueron capaces de identificar áreas de degradación del suelo, pero difirieron en el grado de degradación del suelo clasificado, siendo el primer tipo de mapa que clasificó la menor cantidad como degradada. Este tipo de característica de los UAV también ha sido útil en un estudio de identificación precisa de los terrones y de determinación de la distribución del tamaño de los agregados en Irán (Azizi *et al.*, 2020) basada en un método de última generación denominado segmentación semántica. Esta investigación tiene una importancia innegable en las operaciones de labranza, ya que afecta a otras misiones en el campo en relación con la cuestión energética. Para ello, se ha utilizado una red profunda en el ámbito del aprendizaje profundo. En general, los vehículos aéreos no



tripulados convencionales proporcionan una valiosa herramienta para la cartografía del suelo en paisajes heterogéneos en los que el muestreo manual sobre el terreno requiere mucho tiempo. Además, la vista en planta de los UAV a vista de pájaro puede superar la visión limitada del punto de vista de los topógrafos (basados en tierra).

En la actualidad, el mayor obstáculo de la industria agrícola es la escasa eficacia en la supervisión de los cultivos, derivada de la escala masiva de la agricultura industrial. La tecnología de los drones puede proporcionar una monitorización continua del desarrollo de los cultivos, lo que proporciona los datos más importantes sobre el crecimiento de los mismos, como el contenido de humedad, las deficiencias en los valores nutricionales o el vigor general de los cultivos, para ayudar a mantenerlos sanos y capaces de alcanzar el rendimiento estimado. Los drones permiten un seguimiento en tiempo real a un nivel mucho más preciso y rentable que las imágenes por satélite utilizadas anteriormente. En Bélgica, Maes & Steppe (2019) detallaron los avances de la teledetección con UAV en el estrés por sequía, en la detección de malas hierbas y patógenos, en la evaluación del estado de los nutrientes y el vigor del crecimiento, y en la predicción del rendimiento.

Los drones están equipados con sensores hiperspectrales, multispectrales o térmicos, que son capaces de identificar las zonas que requieren cambios en el nivel de gestión del riego. Una vez que los cultivos han comenzado a crecer, estos sensores son capaces de calcular su índice de vegetación, e indicador de salud, midiendo la firma térmica del cultivo. En Taiwan, donde el arroz es el principal cultivo, el cambio



climático y la escasez de recursos hídricos provocan una disminución del rendimiento del arroz y presagia crisis de escasez de alimentos. Yang *et al.* (2020) probaron la gestión agrícola de ahorro de agua por la monitorización del nivel de agua en el campo para regular la entrada de agua de forma automática. La altura de la planta (PH) es un fenotipo importante que se utiliza para determinar la diferencia en los períodos de crecimiento del arroz y los rendimientos utilizando el riego de ahorro de agua. Un UAV con una cámara RGB capturó imágenes secuenciales de los campos de arroz para estimar el PH del arroz en comparación con el PH medido in situ para estimar las etapas de crecimiento del arroz. Los resultados de la prueba, con dos cosechas en 2019, revelaron que, con una calibración adecuada de la imagen, el coeficiente de correlación entre el PH del UAV y el PH del campo fue superior a 0,98, lo que indica que las imágenes del UAV pueden determinar con precisión el PH del arroz en el campo y la fase de crecimiento del arroz. El estudio demostró que la agricultura de ahorro de agua es eficaz, disminuyendo el uso de agua para la primera y segunda cosecha de 2019 en un 53,5% y 21,7%, respectivamente, sin influir en el período de crecimiento y el rendimiento final. Junto con un sistema de riego automatizado, el cultivo de arroz puede adaptarse a situaciones de escasez de agua.

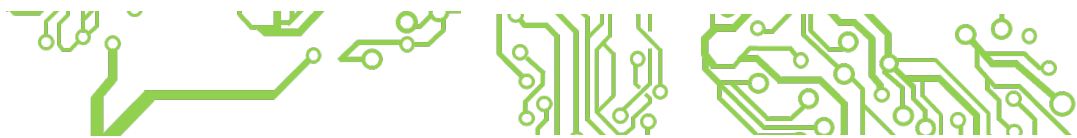


Figura 32. a) Imagen original del UAV; (b) imagen de relieve; (c) imagen difusa; y (d) imagen de reflexión. (Yang et al., 2020)

### UAV image with highlight

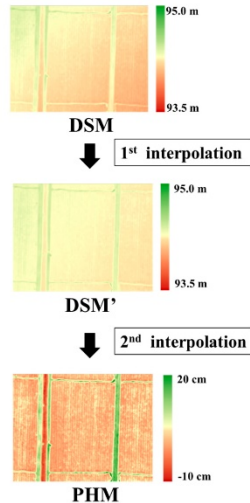
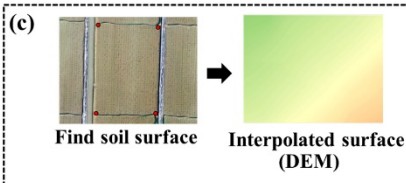
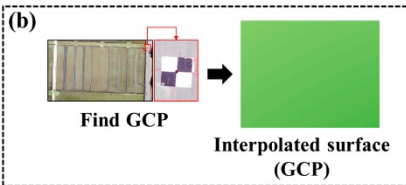
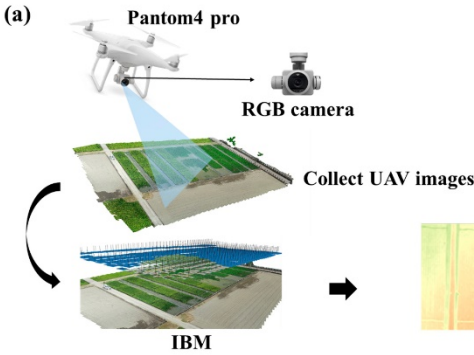
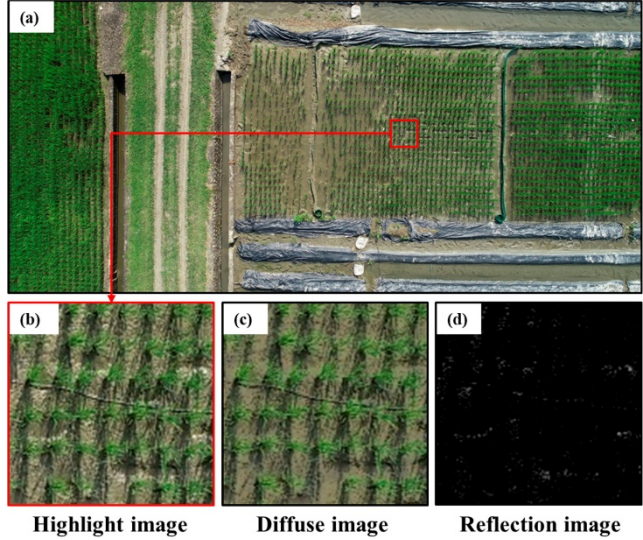
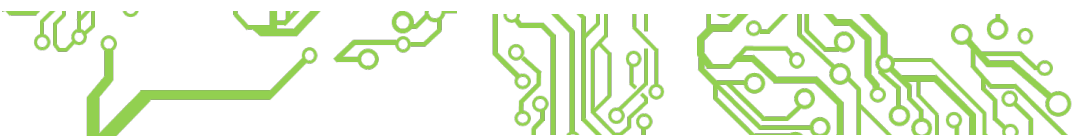


Figura 33. Visión general del kriging para la interpolación de imágenes. (a) Modelos digitales de superficie generado por las imágenes del UAV; (b) Modelos digitales de superficie modificado por interpolación de kriging basada en puntos de control del terreno; y (c) Modelos digitales de superficie generado por interpolación de kriging basada en puntos del terreno. (Yang et al., 2020)

Los drones pueden identificar qué plantas pueden estar infectadas por bacterias u hongos, lo que ayuda a evitar que la enfermedad multispectral se extienda a otros cultivos, escaneando los cultivos con luz visible e infrarroja (IR) y con imágenes. En Pakistán, Shafi *et al.* (2020) propusieron un enfoque integrado para la supervisión de la salud de los cultivos utilizando IoT, aprendizaje automático y tecnología de drones. La integración de estas modalidades de detección generó datos heterogéneos que no solo varían en su naturaleza, sino que también tienen una fidelidad temporal diferente. La resolución espacial de estos métodos también es diferente, por lo que la integración óptima de estas modalidades de detección y su implementación en la práctica se abordan en el sistema propuesto. En este estudio, los sensores IoT proporcionan el estado en tiempo real de los parámetros ambientales que afectan al cultivo, y la plataforma de drones proporciona los datos multispectrales utilizados para generar Índices de Vegetación como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (IVDN) para analizar la salud de los cultivos. El IVDN proporciona información sobre el cultivo basado en el contenido de clorofila, que ofrece información limitada sobre la salud del cultivo. Se aplicó una serie de algoritmos de aprendizaje automático y profundo a los datos recopilados, de los cuales una red neuronal profunda con dos capas ocultas que resultó ser el modelo más óptimo entre todos los modelos seleccionados, proporcionando una precisión del 98%.

En Italia, el estudio de Sassu *et al.* (2021) tenía como objetivo proporcionar una visión completa de la aplicación de los UAV en la viticultura de precisión,

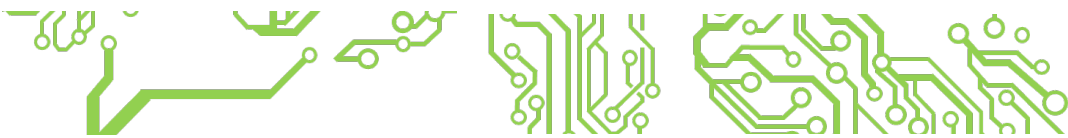




centrándose en los diferentes propósitos de aplicación, los equipos aplicados, el potencial de las tecnologías combinadas con los UAV para identificar la variabilidad de los viñedos. La revisión analiza el potencial de los UAV en la viticultura distinguiendo cinco áreas de aplicación: técnicas de segmentación de hileras y detección de características del cultivo; monitorización de la variabilidad del viñedo; estimación de la superficie y el volumen de las hileras; detección de enfermedades; creación de mapas de vigor y prescripción. La capacidad de los sistemas para responder a las actuales demandas de adquisición de tecnologías digitales en los campos agrícolas hace de los UAV un candidato a jugar un papel cada vez más importante en los futuros escenarios de aplicación de la viticultura. Los mapas obtenidos se utilizaron para llevar a cabo una aplicación de pulverización de fertilizantes específica para el lugar, que implica una reducción drástica (80%) del producto.

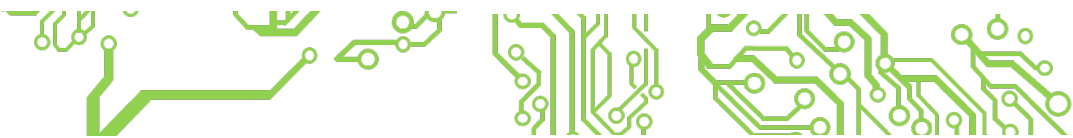
#### 5.4.2 Siembra, fertilización y control de plagas

El lanzamiento de semillas a través de drones es la tecnología más reciente y no tan utilizada, que puede reducir las labores agrícolas. El sistema de drones es capaz de entregar hasta 57 libras de carga en forma de semillas de árboles, herbicidas, fertilizantes y agua por máquina y por vuelo para ayudar a los proyectos de reforestación y replantación (Mohan *et al.*, 2021). Esta tecnología ayuda a minimizar la necesidad de sembrar directamente en el suelo, que suele ser un trabajo costoso, agotador y que requiere mucho tiempo y mano de obra.



Para llevar a cabo operaciones de protección de plantas, Xue *et al.* (2016) diseñaron en China un sistema de pulverización de control automático basado en un UAV. El sistema utilizaba un microordenador altamente integrado y de muy bajo consumo con un módulo funcional independiente. Esto permitió que el software de planificación de rutas dirigiera el UAV a la zona de pulverización deseada. Los resultados de las pruebas de precisión de la ruta mostraron que, con un viento cruzado de 3-4 m/s, las desviaciones de la ruta eran de unos 0,2 m. Con una velocidad del viento de 0-2 m/s y volando a una altura de 5 m, coeficiente de variación mínimo de la franja de pulverización múltiple era de 25%. La uniformidad de la pulverización con UAV fue superior al coeficiente de variación de la norma para la pulverización de volumen ultrabajo, el 60%.

En China, según Lan & Chen (2018), la práctica ha demostrado que los UAV de protección de plantas y sus tecnologías de pulverización han hecho un gran progreso y aplicación debido a sus ventajas insustituibles en términos de no limitación en el crecimiento de los cultivos y las condiciones topográficas, la mejora de la eficiencia operativa, la eficiencia de costes y así sucesivamente. Y sus tecnologías de pulverización de baja altitud y bajo volumen han promovido en gran medida el nivel de mecanización de la protección de las plantas en China. Además, desde la perspectiva de la historia del desarrollo de los UAV en Japón, otros países desarrollados y la demanda del mercado nacional, los UAV de protección de plantas están prosperando. Estas



tecnologías tienen amplias perspectivas de mercado y aplicaciones potenciales en constante expansión.

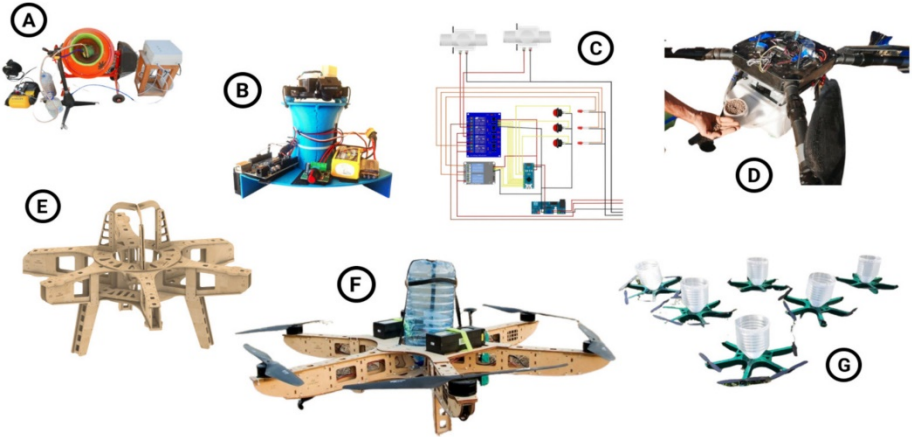
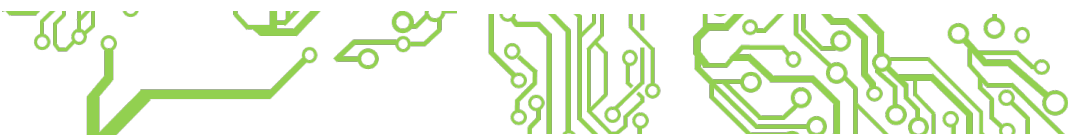


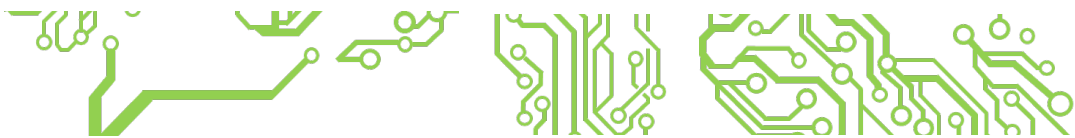
Figura 34. Ejemplo de los componentes del UAV de siembra de bricolaje: recubridor automático de semillas (A); esparcidor de semillas (B); esquema del controlador de recubrimiento de semillas (C); tanque con semillas recubiertas para realizar siembras aéreas (D); wooden frame of the UAV (E); a sample sowing UAV that was made locally (F); and a swarm of small-sized miniature UAVs for inspiring kids (G) (Mohan et al., 2021)

El uso de UAV en agricultura no está limitado a los países desarrollados y la preocupación de hacer de esta tecnología una herramienta accesible a todos está bien presente. En India, Garre & Harish (2018) desarrollaron un esquema de diseño óptimo y el examen de un UAV autónomo de pulverización de pesticidas agrícolas. La función de mapeo aéreo proporciona a los agricultores una vista de pájaro de sus campos y les ayuda a identificar rápidamente la presencia de plagas, los daños en los cultivos y las condiciones del suelo. Por lo tanto, el objetivo del estudio era construir un dron agrícola listo para el mercado y no sólo un prototipo: un dron accesible, fácil de usar, portátil y que pueda realizar un vuelo autónomo sin necesidad de un operador.



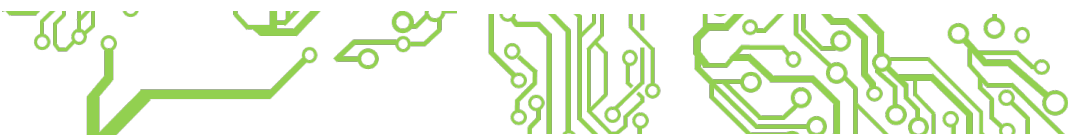
### 5.5 Robots y fincas autónomas

El uso de robots incluye, la mayor parte del tiempo, una serie de las tecnologías mencionadas anteriormente, otras que acaban de entrar en funcionamiento y otras que siguen siendo más bien teóricas. A pesar de las importantes inversiones en investigación y desarrollo realizadas durante varias décadas (Shamshiri *et al.*, 2018), los robots móviles o "de campo", capaces de realizar operaciones autónomas, tienen actualmente poca presencia en la agricultura. Los usos de los robots sobre el terreno en entornos agrícolas son exigentes y resulta difícil garantizar que los sistemas sean lo suficientemente robustos para un uso prolongado en condiciones reales (Zhao *et al.* 2016; Shamshiri *et al.*, 2018). Algunas formas de agricultura, si no todas, requieren que las tareas se realicen en entornos no estructurados, lo que sigue siendo un reto para los sistemas autónomos (Shamshiri *et al.*, 2018). Además, aunque algunas aplicaciones y tecnologías facilitadoras están avanzando rápidamente, la adopción generalizada de robots en muchas de las aplicaciones enumeradas anteriormente está a la espera de avances tecnológicos, o al menos de progresos significativos, en las áreas de la tecnología de baterías, la visión artificial en entornos desordenados, la navegación autónoma y la manipulación con destreza (Shamshiri *et al.*, 2018). Por estas razones, lo más probable es que las nuevas aplicaciones de la robótica agrícola surjan gradualmente como una extensión de las tecnologías de agricultura de precisión en la agricultura y el uso de la automatización en el procesamiento y envasado de alimentos. Es probable que muchas aplicaciones sean pioneras en los cultivos hidropónicos, los invernaderos y/o la manipulación de alimentos antes de extenderse a los cultivos de hortalizas de mesa y



los huertos. Otros sistemas se desarrollan, de forma relativamente independiente, en el contexto de la agricultura de gran superficie y la industria ganadera, donde las máquinas de ordeño automático (Tse *et al.*, 2018 ; Vik *et al.*, 2019 ; Borshch *et al.*, 2020) ya tienen una presencia significativa. Es poco probable que la visión de una granja "totalmente automatizada" se haga realidad durante algún tiempo, si es que llega a hacerse, excepto quizás en forma de operaciones hidropónicas altamente especializadas (Lakhiar *et al.*, 2018). En un futuro previsible, la mayoría de las aplicaciones de la robótica en la agricultura requerirán la supervisión humana de sistemas con mayor o menor autonomía (Zhao *et al.*, 2016).

Actualmente, varios estudios se centran en 4 aspectos de la agricultura autónoma que se detallan a continuación, es decir el mantenimiento de los cultivos, la cosecha, la gestión de alimentos y el transporte. Se busca primero automatizar el mantenimiento de los cultivos y del ganado a través del análisis de suelo automatizada (Reino-Unido: Yan *et al.*, 2020 ; Turquía: Ünal *et al.*, 2020), de los sistemas de agricultura de precisión para la aplicación medida de pesticidas y fertilizantes (Estados Unidos: Du *et al.*, 2022), de los sistemas de riego automatizados y de precisión (China: Chen *et al.*, 2021), de las estaciones de alimentación automáticas y robotizadas para el ganado (Belgium: Crivits, 2021) y las estaciones de ordeño y lecherías robotizadas (Brasil: Simões *et al.*, 2020 ; Estados Unidos: Bockhahn & Terry, 2022). Gracias a los recolectores robóticos de frutas y verduras, las operaciones de cosecha se vuelven más fáciles, rápidas, seguras y eficientes (Bangladesh: Jawad *et al.*, 2020). También al nivel



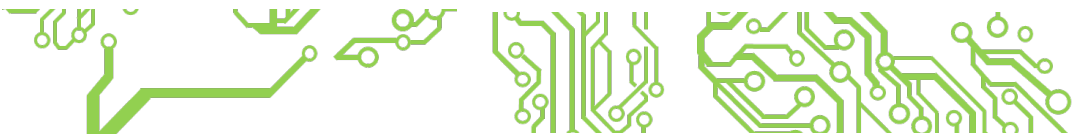
de gestión de alimentos, el uso de la automatización en la manipulación, el procesamiento y el envasado de alimentos, incluyendo la carne ya es una posibilidad (Noruega: Romanov *et al.*, 2022). Finalmente, en cuanto al transporte, ya se pueden usar los tractores y cosechadoras con GPS, teleoperados y autónomos (Reino unido: Millard *et al.*, 2019 ; Bengladesh: Uddin *et al.*, 2018) y los camiones autónomos para el transporte de la producción (China: Wang *et al.*, 2014).



Figura 35. Finca Iron Ox completamente autónoma ([ironox.com](http://ironox.com)).

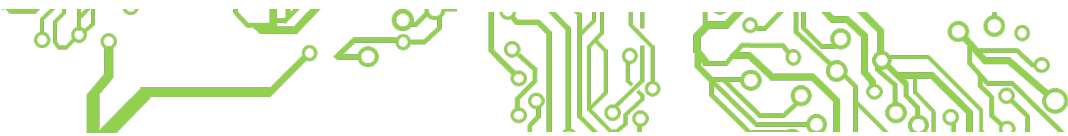
## 5.6 Conclusión del capítulo

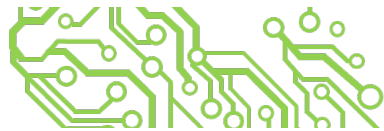
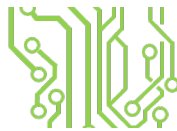
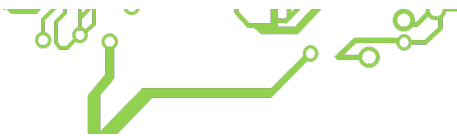
Las combinaciones de estas diferentes tecnologías permitirán a la agricultura de precisión producir informaciones complementarias y llegar a acciones más específicas, efectivas y valientes tanto para el productor como el consumidor. Además de reflejar el progreso de la digitalización, los temas identificados anteriormente ilustran que las aplicaciones de las tecnologías en la agricultura están creciendo de forma espectacular.



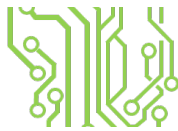
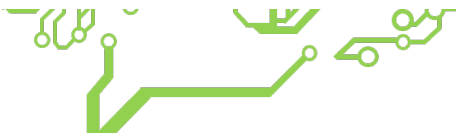
Hoy en día, las aplicaciones accesibles a todos sirven de apoyo a los productores en sus labores a diarios para gestionar su finca. Las WSN representan un importante factor para la agricultura de precisión, ya que ayudan a recopilar, supervisar y analizar los datos de la agricultura. Del mismo modo, las WSN combinan sensores IoT para interconectarse, detectando así las condiciones climáticas y del suelo en tiempo real y automatizando el riego. Por otra parte, los drones y los robots son elementos cruciales para establecer una agricultura más inteligente, autónoma y sostenible que beneficie a los agricultores y a los consumidores.

Sin embargo, a pesar de la amplia investigación tecnológica para remodelar las políticas agrícolas y lograr una sostenibilidad holística e inclusiva en las cadenas de suministro agrícola, es crucial destacar la escasez de estudios que investigan la convergencia de las WSN y otras tecnologías embrionarias como blockchain, 5G, realidad aumentada y granjas verticales. La integración de estos desarrollos tecnológicos permite a los agricultores actuar de forma más eficiente e innovadora; sin embargo, la pregunta pendiente sigue siendo cómo influyen estas soluciones de forma negativa.





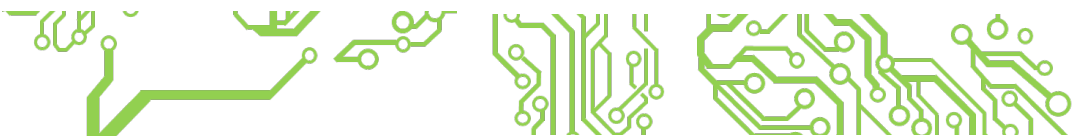




# CONCLUSIÓN

El sector agropecuario se encuentra en un dilema creciendo de manera exponencial con el tiempo. Por un lado, los agricultores tienen que ampliar la producción para alimentar una creciente demanda mundial de alimentos y proporcionar productos no alimentarios para biocombustibles, así como fibras y textiles a partir de cultivos agrícolas. Por otro lado, la población está preocupada por los problemas de salud y la protección del medio ambiente, como el uso de agua, fertilizantes y pesticidas, y más globalmente el cambio climático y la biodiversidad.

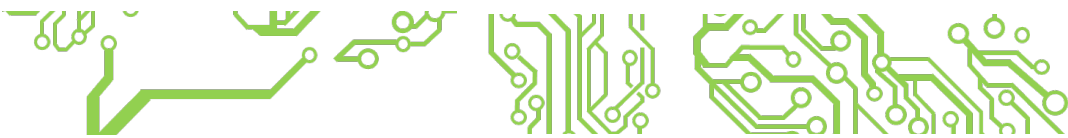
Estas preocupaciones ya imponen restricciones a los agricultores e influyen en las políticas agroambientales. La agricultura de precisión puede contribuir a la solución de estas diferentes preocupaciones. Un uso inteligente de la tecnología puede proporcionar una producción selectiva de insumos que probablemente reduzca los efectos ambientales negativos y aumente los rendimientos con menos insumos. Además, la tecnología permitirá al consumidor seguir el rastro de los productos desde la granja hasta la mesa, con todos los procesos de producción pertinentes, como el momento, la ubicación y la fuente de los insumos para elaborar un producto de alto valor. La agricultura inteligente también podría contribuir a los objetivos de cambio de las políticas



agroambientales mediante la integración de nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia en el uso de los recursos (como el abono en nitrógeno y la reducción de la lixiviación del mismo), al tiempo que se incrementa el rendimiento del grano y el valor añadido del producto. También está contribuyendo a una tendencia con tecnologías más avanzadas que pueden atraer a nuevos agricultores al negocio.

Para obtener un beneficio económico de la implementación de aplicaciones de tasa variable, que es el objetivo principal del uso de tecnología como WSN, es necesario que se produzca cierta variabilidad espacial dentro del campo. La aplicación variable tiene pocos beneficios económicos si las condiciones del suelo en el campo son homogéneas. En esos casos, los sistemas de GPS pueden aportar beneficios netos menores, si es que los hay. Sin embargo, la dirección automática y el control de secciones en pulverizadores y esparcidores de fertilizantes parecen ser soluciones viables para la mayoría de las grandes explotaciones.

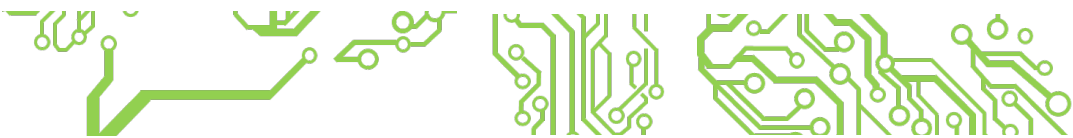
Las tecnologías aplicadas a la agricultura y a la ganadería han experimentado un gran desarrollo durante las dos últimas décadas. Junto con el apoyo político a la transición de la agricultura convencional a una nueva era de agricultura inteligente, el ámbito tecnológico proporciona un entorno atractivo para la adopción de negocios en el campo de los equipos de alta tecnología para



el registro de las condiciones en el campo, para mapear las necesidades en diferentes insumos (agua, fertilizantes, pesticidas, etc.), y para actuar para cubrir las necesidades identificadas.

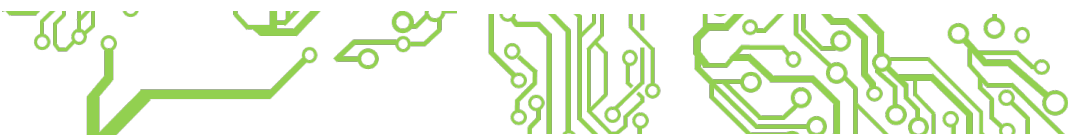
La mayoría de las herramientas tecnológicas actualmente disponibles en el mercado están dirigidas a la monitorización y el registro, pero en los últimos años, hay una tendencia de los proveedores a diseñar y fabricar tecnologías de actuación que interpreten los datos registrados en información valiosa y diferencien las cantidades de entrada dentro del campo en función de las características del suelo y del cultivo.

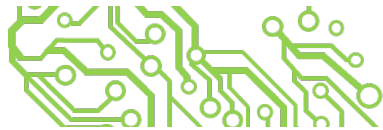
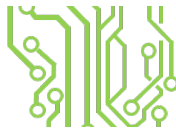
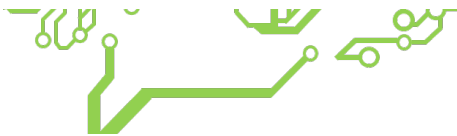
Sin embargo, todavía hay algunas barreras que deben ser abordadas, para que la adopción de estos productos pueda aumentar a un ritmo que pueda transformar la producción agrícola en un sector "preciso e inteligente". Por lo tanto, se debe cubrir el problema de las 3C (compatibilidad, complejidad y conectividad). Esto puede lograrse (i) garantizando la conectividad de la banda ancha rural, (ii) desarrollando soluciones fáciles de usar y (iii) promoviendo normas de interoperabilidad. Esta es una cuestión que ya tratan los proveedores, pero sigue siendo uno de los problemas más cruciales de la tecnología para que se adopte a un ritmo más rápido. Además, para funcionar a largo plazo, el negocio tecnológico debe ser rentable. Para ello, es necesario (i) concienciar al público demostrando los beneficios de la agricultura inteligente (lo que se

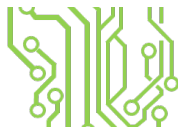
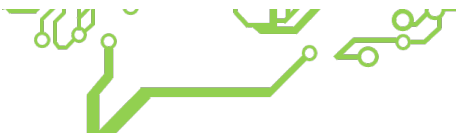


traduce en más clientes potenciales y precios reducidos), (ii) mejorar la financiación de la agricultura inteligente para que las nuevas tecnologías puedan introducirse en el mercado a un mejor precio y (iii) innovar en los modelos de negocio.

Para terminar, la contribución de la elaboración de políticas a nivel global y nacional es indispensable al aumento del uso y de la adopción de la tecnología. Es necesario que los datos agrícolas alimenten el crecimiento y signifiquen la producción de las condiciones adecuadas para las formas correctas de registrar, almacenar y utilizar los datos agrícolas. Los pasos para lograr este objetivo incluyen (i) la promoción de un marco transparente para los datos agrícolas y (ii) actividades para estimular el crecimiento a partir de los datos agrícolas. Además, se requiere una estrategia de apoyo a la agricultura de precisión por parte del Estado. Para ello, las acciones más importantes que deben llevarse a cabo son (i) la integración de la agricultura de precisión en la educación y la formación y (ii) el fortalecimiento del papel de las organizaciones encargadas de la innovación agrícola para la era digital a nivel mundial.

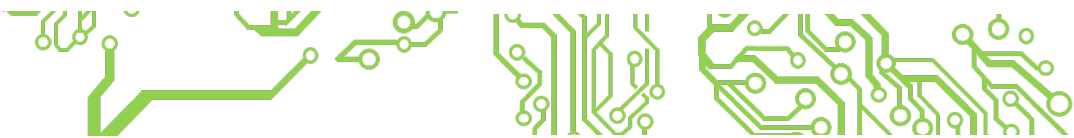






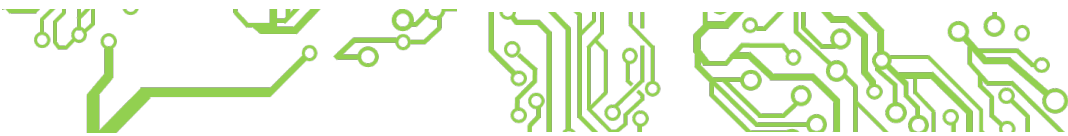
# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeliuk, A., & Gutiérrez, C. (2021). Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Revista Bits de Ciencia*, 21, 14-21.
- Anaconda | Use Cases. (s. f.). Anaconda. Recuperado 13 de abril de 2022, de <https://www.anaconda.com/use-cases>
- Azizi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., Vannier, E., Dusséaux, R., Mseri-Gundoshmian, T., & Moghaddam, H. A. (2020). Semantic segmentation: A modern approach for identifying soil clods in precision farming. *Biosystems Engineering*, 196, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.05.022>
- Balasundram, S. K., Golhani, K., Shamshiri, R. R., & Vadamalai, G. (2020). Precision agriculture technologies for management of plant diseases. En *Plant Disease Management Strategies for Sustainable Agriculture through Traditional and Modern Approaches* (pp. 259–278). Springer.
- Bayılmış, C., Ebleme, M. A., Çavuşoğlu, Ü., Küçük, K., & Sevin, A. (2022). A survey on communication protocols and performance evaluations for Internet of Things. *Digital Communications and Networks*.
- Bell, T. (2000). Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS. *Computers and electronics in agriculture*, 25(1–2), 53–66.
- Bockhahn, J., & Terry, T. (2022). *Robotic Milking Systems*.
- Borshch, O. O., Gutyj, B. V., Sobolev, O. I., Borshch, O. V., Ruban, S. Y., Bilkevich, V. V., ... & Nahirniak, T. (2020). Adaptation strategy of different cow genotypes to the voluntary milking system. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(1), 145-150.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Rodríguez, B., Medellín, C., & Fung, E. (2014). La agricultura de Panamá y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?.
- Bruinsma, J. (2017). *World agriculture: Towards 2015/2030: An FAO perspective*. Routledge.
- Carmona, A. M. D., López, R., Vincini, A. M., & Trumper, E. V. (2008). Bioecología y Manejo Integrado de la “mosca minadora de la hoja”, *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera: Agromyzidae), en cultivos de papa del sudeste de Buenos Aires. In *Congreso Argentino de Entomología*. 7. 2008 10 21-24, 21 al 24 de octubre, 2008. Huerta Grande, Córdoba. AR..
- Carvalho, C. R., Fernandes, R. C., Carvalho, G. M. A., Barreto, R. W., & Evans, H. C. (2011). Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust, *Hemileia vastatrix*. *Plos one*, 6(11), e26387.

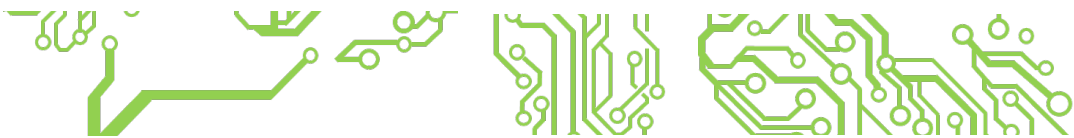




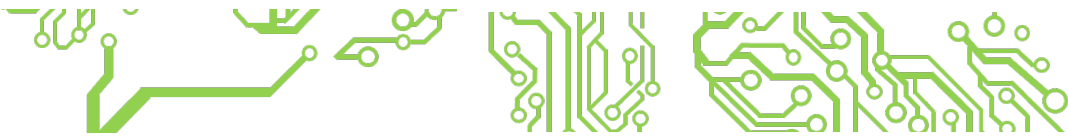
- Chahid, Y., Benabdellah, M., & Azizi, A. (2017). Internet of things security. 2017 International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS), 1-6.
- Chapman, A., Simperl, E., Koesten, L., Konstantinidis, G., Ibáñez, L.-D., Kacprzak, E., & Groth, P. (2020). Dataset search: A survey. *The VLDB Journal*, 29(1), 251-272. <https://doi.org/10.1007/s00778-019-00564-x>
- Chaudhari, B. S., Zennaro, M., & Borkar, S. (2020). LPWAN technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations. *Future Internet*, 12(3), 46.
- Chen, M., Sun, Y., Liu, B., Yan, B., Li, X., Lu, K., ... & Tian, Y. (2021, July). Design and implementation of a novel internet of things irrigation system with a precision irrigation robot. In 2021 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR) (pp. 1008-1015). IEEE.
- Copeland, B. J. (2000). The Turing Test\*. *Minds and Machines*, 10(4), 519-539. <https://doi.org/10.1023/A:1011285919106>
- Crivits, M. (2021). "The robot that feeds you", 4D4F Coordination: Innovation for Agriculture, July 2021. Disponible en línea el 15 de julio de 2022: <https://4d4f.eu/content/robot-feeds-you>.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(4), 2233-2243.
- Dalal, K. R. (2020). Analysing the role of supervised and unsupervised machine learning in iot. 2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), 75-79.
- Du, Y., Zhang, G., Tsang, D., & Jawed, M. K. (2022). Deep-CNN based Robotic Multi-Class Under-Canopy Weed Control in Precision Farming. In 2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 2273-2279). IEEE.
- Garajeh, M. K., Malakyar, F., Weng, Q., Feizizadeh, B., Blaschke, T., & Lakes, T. (2021). An automated deep learning convolutional neural network algorithm applied for soil salinity distribution mapping in Lake Urmia, Iran. *Science of the Total Environment*, 778, 146253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721013218>
- Garre, P., & Harish, A. (2018, December). Autonomous agricultural pesticide spraying uav. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 455, No. 1, p. 012030). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/455/1/012030/pdf>
- Gunawan, T. S., Ashraf, A., Riza, B. S., Haryanto, E. V., Rosnelly, R., Kartiwi, M., & Janin, Z. (2020). Development of video-based emotion recognition using deep learning with Google Colab. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(5), 2463. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v18i5.16717>
- Hedley, C. (2015). The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 12-19. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6734>



- Hinestroza Ramírez, D. (2018). El Machine Learning a través de los tiempos, y los aportes a la humanidad.
- Jamroen, C., Komkum, P., Fongkerd, C., & Krongpha, W. (2020). An intelligent irrigation scheduling system using low-cost wireless sensor network toward sustainable and precision agriculture. *IEEE Access*, 8, 172756-172769. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9201441>
- Jawad, M. F., Shahriar, T. R., Shakhi, F. Y., Hossain, N., Islam, M. S., Adnan, M. M. R., & Mamun, M. A. Z. Farmer Robot for Harvesting and Maintaining Plants. *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering (SSRG - IJEEE)* - Volume 7 Issue 1 – January 2020
- Ketkar, N. (2017). Introduction to keras. En *Deep learning with Python* (pp. 97-111). Springer.
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012). Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. 2012 10th international conference on frontiers of information technology, 257-260.
- Kramer, O. (2016). Scikit-learn. En *Machine learning for evolution strategies* (pp. 45-53). Springer.
- Krenz, J., Greenwood, P., & Kuhn, N. J. (2019). Soil degradation mapping in drylands using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) data. *Soil Systems*, 3(2), 33.
- Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of plant interactions*, 13(1), 338-352.
- Lan, Y., & Chen, S. (2018). Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 1(1). <https://www.ijpaa.org/index.php/ijpaa/article/viewFile/2/10>
- Linaza, M. T., Posada, J., Bund, J., Eisert, P., Quartulli, M., Döllner, J., Pagani, A., G. Olaizola, I., Barriguinha, A., Moysiadis, T., & others. (2021). Data-driven artificial intelligence applications for sustainable precision agriculture. *Agronomy*, 11(6), 1227.
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in plant science*, 24(2), 152-164.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133.
- Mendes, J., Pinho, T. M., Neves dos Santos, F., Sousa, J. J., Peres, E., Boaventura-Cunha, J., ... & Morais, R. (2020). Smartphone applications targeting precision agriculture practices—A systematic review. *Agronomy*, 10(6), 855. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/6/855>
- Michels, M., Bonke, V., & Musshoff, O. (2020). Understanding the adoption of smartphone apps in crop protection. *Precision Agriculture*, 21(6), 1209-1226. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-020-09715-5>



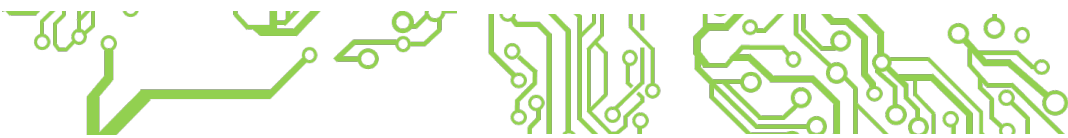
- Millard, A. G., Ravikanna, R., Groß, R., & Chesmore, D. (2019, July). Towards a swarm robotic system for autonomous cereal harvesting. In *Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems* (pp. 458-461). Springer, Cham.
- Misra, N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., & Martynenko, A. (2020). IoT, big data and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of Things Journal*.
- Mohan, M., Richardson, G., Gopan, G., Aghai, M. M., Bajaj, S., Galgamuwa, G. P., ... & Cardil, A. (2021). UAV-supported forest regeneration: Current trends, challenges and implications. *Remote Sensing*, 13(13), 2596.
- Molina-Maturano, J., Verhulst, N., Tur-Cardona, J., Güereña, D. T., Gardeazábal-Monsalve, A., Govaerts, B., & Speelman, S. (2021). Understanding smallholder farmers' intention to adopt agricultural apps: the role of mastery approach and innovation hubs in Mexico. *Agronomy*, 11(2), 194. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/2/194>
- Nabi, F., Jamwal, S., & Padmanbh, K. (2020). Wireless sensor network in precision farming for forecasting and monitoring of apple disease: a survey. *International Journal of Information Technology*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s41870-020-00418-8>
- Paustian, K., Chenu, C., Conant, R., Cotrufo, F., Lal, R., Smith, P., & Soussana, J.-F. (2020). Climate mitigation potential of regenerative agriculture is significant. *Regenerative Agriculture Foundation* June.
- Planas de Martí, S. (2018). Agricultura de precisión y protección de cultivos. *Revista de Ingeniería*, 47, 10-19.
- Popović, T., Latinović, N., Pešić, A., Zečević, Ž., Krstajić, B., & Djukanović, S. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and electronics in agriculture*, 140, 255-265. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008>
- Rajput, N., Gandhi, N., & Saxena, L. (2012, November). Wireless sensor networks: Apple farming in northern india. In *2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks* (pp. 218-221). IEEE.
- Romanov, D., Korostynska, O., Lekang, O. I., & Mason, A. (2022). Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and possibilities. *Journal of Food Engineering*, 111117.
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial*. Madrid: Alienta Editorial.
- Sammouda, R., Adgaba, N., Touir, A., & Al-Ghamdi, A. (2014). Agriculture satellite image segmentation using a modified artificial Hopfield neural network. *Computers in Human Behavior*, 30, 436-441.
- Sandoval Serrano, L. J. (2018). Algoritmos de aprendizaje automático para análisis y predicción de datos. *Revista Tecnológica*; no. 11.
- Sassu, A., Gambella, F., Ghiani, L., Mercenaro, L., Caria, M., & Pazzona, A. L. (2021). Advances in Unmanned Aerial System Remote Sensing for Precision Viticulture. *Sensors*, 21(3), 956. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/3/956/htm>



- Seed Technology Co. (2022a, abril 4). Base Shield V2. Seed Wiki. [https://wiki.seedstudio.com/Base\\_Shield\\_V2/](https://wiki.seedstudio.com/Base_Shield_V2/)
- Seed Technology Co. (2022b, abril 4). GrovePi Plus. Seed Wiki. [https://wiki.seedstudio.com/GrovePi\\_Plus/](https://wiki.seedstudio.com/GrovePi_Plus/)
- Semtech, C. (2019). LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview. Semtech Corporation.
- Severance, C. (2013). Eben upton: Raspberry pi. *Computer*, 46(10), 14–16.
- Severance, C. (2014). Massimo banzi: Building arduino. *Computer*, 47(1), 11–12.
- Shafi, U., Mumtaz, R., Iqbal, N., Zaidi, S. M. H., Zaidi, S. A. R., Hussain, I., & Mahmood, Z. (2020). A multi-modal approach for crop health mapping using low altitude remote sensing, internet of things (IoT) and machine learning. *IEEE Access*, 8, 112708-112724. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9119071>
- Shamshiri, R., Weltzien, C., Hameed, I. A., J Yule, I., E Grift, T., Balasundram, S. K., ... & Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming.
- Sharma, Y., & Ashoka, P. (2015). Precision farming and use of sensors in Horticulture. *Progressive Research—An International Journal Society for Scientific Development*, 10, 3244-3248.
- Shukla, N., & Fricklas, K. (2018). *Machine learning with TensorFlow*. Manning Greenwich.
- Simões Filho, L. M., Lopes, M. A., Brito, S. C., Rossi, G., Conti, L., & Barbari, M. (2020). Robotic milking of dairy cows: a review. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(6), 2833-2850.
- Song, Y., Lin, J., Tang, M., & Dong, S. (2017). An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN. *Engineering*, 3, 460-466. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.011>
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press. 342p.
- Taghvaeian, S., Chávez, J. L., Altenhofen, J., Trout, T., & DeJonge, K. (2013). Remote sensing for evaluating crop water stress at field scale using infrared thermography: potential and limitations (Doctoral dissertation, Colorado State University. Libraries).
- Tran-Dang, H., Krommenacker, N., Charpentier, P., & Kim, D.-S. (2022). The Internet of Things for logistics: Perspectives, application review, and challenges. *IETE Technical Review*, 39(1), 93-121.
- Tse, C., Barkema, H. W., DeVries, T. J., Rushen, J., & Pajor, E. A. (2018). Impact of automatic milking systems on dairy cattle producers' reports of milking labour management, milk production and milk quality. *Animal*, 12(12), 2649-2656.
- Uddin, M. R., Ekram, S. M. A., Kader, M. M., Islam, M. S., Khaled, M. A. B., & Hasan, M. Autonomous Tractor to Plough and Harvest Within a Laser Perimeter. January 2018 Conference: IEEE TIAR 2018 (2018 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR))At: Chennai, India.
- Ünal, I., Kabaş, Ö., & Sözer, S. (2020). Real-time electrical resistivity measurement and mapping platform of the soils with an autonomous robot for precision farming applications. *Sensors*, 20(1), 251. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/1/251/html>

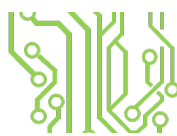


- Velusamy, P., Rajendran, S., Mahendran, R. K., Naseer, S., Shafiq, M., & Choi, J. G. (2021). Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in precision agriculture: applications and challenges. *Energies*, 15(1), 217. <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/1/217/htm>
- Vik, J., Stråte, E. P., Hansen, B. G., & Nærland, T. (2019). The political robot—The structural consequences of automated milking systems (AMS) in Norway. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100305.
- Wang, W., Xi, J., & Chen, H. (2014). Modeling and recognizing driver behavior based on driving data: A survey. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
- Xue, X., Lan, Y., Sun, Z., Chang, C., & Hoffmann, W. C. (2016). Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. *Computers and electronics in agriculture*, 128, 58-66. <http://agri.ckcest.cn/ass/NK006-20161226004.pdf>
- Yan, X. T., Bianco, A., Niu, C., Palazzetti, R., Henry, G., Li, Y., ... & Scott, R. (2020). The agrirover: a reinvented mechatronic platform from space robotics for precision farming. In *Reinventing Mechatronics* (pp. 55-73). Springer, Cham. [https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/89891654/Yan\\_etal\\_Springer\\_2019\\_The\\_AgriRover\\_a\\_reinvented\\_mechatronic\\_platform\\_from\\_space\\_robotics.pdf](https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/89891654/Yan_etal_Springer_2019_The_AgriRover_a_reinvented_mechatronic_platform_from_space_robotics.pdf)
- Yang, C. Y., Yang, M. D., Tseng, W. C., Hsu, Y. C., Li, G. S., Lai, M. H., ... & Lu, H. Y. (2020). Assessment of rice developmental stage using time series UAV imagery for variable irrigation management. *Sensors*, 20(18), 5354.
- Zhao, Y., Gong, L., Huang, Y., & Liu, C. (2016). A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 311-323.
- Zhou, Q., Zhang, H., & Wang, S. (2022). Artificial intelligence, big data, and blockchain in food safety. *International Journal of Food Engineering*, 18(1), 1–14.
- Zhou, Q., Zheng, K., Hou, L., Xing, J., & Xu, R. (2019). Design and implementation of open LoRa for IoT. *Ieee Access*, 7, 100649-100657.

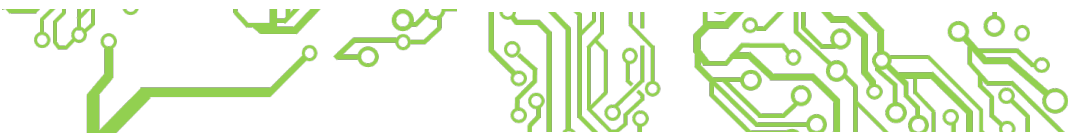


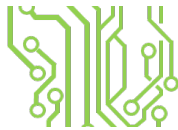
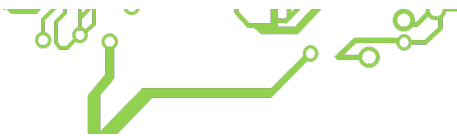
# Índice

- Accesibilidad, 86, 87
- Agricultura de precisión, 8, 38
- Agricultura inteligente, 7, 8, 16, 37, 38, 39, 40, 42, 91
- Algoritmo, 27
- Algoritmo de clasificación, 26
- Algoritmo de regresión, 27
- Anaconda, 31, 32
- Análisis predictivo, 31
- Aplicación, 39, 71
- Aprendizaje no supervisado, 27
- Aprendizaje reforzado, 27
- Autónomo, 86
- Big Data, 17
- Blockchain, 11
- Columna de datos, 29
- Condiciones topográficas, 86
- Consumo de energía, 12, 85
- Control automático, 85
- CPU, 33
- Crecimiento, 86
- Cyber-physical Systems, 17
- Dataset, 28
- DataTable, 28
- Dispositivos, 11
- Drones, 39, 42, 81
- Enfermedad, 72
- Estructura de datos, 28
- Estructuras de datos, 30
- Fertilizante, 40, 41, 61, 79, 85
- Fila de datos, 29
- Frecuencia, 12
- Gateways, 12, 13
- Google Colab, 32
- GPS, 39
- GPU, 33
- Hardware, 9
- Herbicida, 85
- Herramientas, 8
- IA. *Véase* Inteligencia Artificial
- Insecticida, 40
- Inteligencia Artificial, 7, 21, 22
- Internet de las cosas. *Véase* Internet of Things
- Internet of Things, 11, 15, 18
- IoT. *Véase* Internet of Things
- Keras, 31, 34
- Lenguaje de procedimiento imperativo, 30
- Lenguaje de programación, 30
- Lenguaje interpretado, 30
- LoRaWAN, 10, 11, 13, 14, 19
- Machine learning, 7
- Machine Learning, 22, 31
- Mapeo aéreo, 87
- Mecanización, 86
- Metadatos, 28
- Multiplataforma, 30
- Objeto, 9, 28, 29, 30, 67
- Open-source, 31
- Pesticida, 40, 61, 79, 86
- Plagas, 87
- Planificación, 85
- Plataforma, 8
- Productos agroquímicos, 39
- Productos fitosanitarios. *Véase* Pesticida
- Programación, 7
- Protocolo MQTT, 16
- Pulverización, 79, 85, 86



- Python, 29, 32
- Redes inalámbricas de sensores, 74
- Relación de datos, 29
- Robot, 87
- Seguridad, 15
- Semilla. *Véase* Siembra
- Siembra, 85
- SigFox, 19
- Sintaxis, 30
- Software, 9, 24, 32, 85
- Teléfono inteligente, 73
- TensorFlow, 31, 34
- Test de Turing, 22
- TPU, 33
- UAV, 85, *Véase* Drones
- Usuario, 8
- WiFi, 10, 19
- Zigbee, 19









# Objetivo del Proyecto

Evaluar e identificar diferentes tipos de tecnologías emergentes enfocadas al desarrollo de una plataforma de agricultura de precisión, esbozando el correcto funcionamiento de los recursos y generar un nuevo modelo de producción para el país.



# S-AGRIP

Entidades participantes



**Plataforma de Agricultura  
Inteligente integrando  
Sistemas de Internet de las Cosas**

CONVOCATORIA CONTINUA DE FOMENTO A I+D PARA  
EGRESADOS DE ESTUDIOS DE DOCTORADO (FIED)

Proyecto financiado por SENACYT - FIED19-R1-003

