

# ESTRATEGIA Y PROPUESTA DE SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS PARA UNA PLATAFORMA DE AGRICULTURA 4.0 MEDIANTE ESTADÍSTICO NUMÉRICO

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### STRATEGY AND PROPOSAL FOR THE SELECTION OF INTERNET TECHNOLOGIES OF THINGS FOR AN AGRICULTURE 4.0 PLATFORM THROUGH NUMERICAL STATISTICS

<sup>1</sup> Jhonatan Paolo Tovar Soto, <sup>2</sup> Carlos Francisco Pareja Figueredo, <sup>3</sup> Luis Carlos Gutiérrez Martínez

Como citar este artículo: Tovar et al., (2020) Estrategia y propuesta de selección de tecnologías de internet de las cosas para una plataforma de agricultura 4.0 mediante estadístico numérico, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

#### RESUMEN

Para el año 2015, las Naciones Unidas establecieron la agenda definida hasta el 2030 llamada Objetivos de Desarrollo Sostenible, en donde el objetivo 9 -Industria, innovación e infraestructuras- plantea que existe un alto potencial de inclusión de tecnologías para fortalecer los agronegocios, debido a que en los países en desarrollo tan sólo el 30% de la producción en el sector agrícola posee procesos industriales. Metodología. El trabajo parte de una investigación aplicada de tipo tecnológico, que se dividió en 5 fases: revisión de tecnologías, identificación de características, análisis de estadísticas y agrupamientos de probabilidades, y finalmente, selección de tecnologías para la plataforma. Análisis. Por lo anterior, este proyecto explora un análisis de decisión para identificar las mejores tecnologías de bajo costo para una red de Internet de las Cosas, mediante puntuaciones asociadas a cada tecnología, e identificando funciones matemáticas para con el fin de definir las probabilidades, acorde a comportamientos de tipo lineal, exponencial y parte entera. Resultados. Por último, se establecieron gráficos de agrupamiento y probabilidades finales, con el fin de establecer cuales tecnologías tienen los mejores puntajes, y son adecuadas para una aplicación de bajo costo en agricultura. Así mismo, se postula una plataforma de agricultura 4.0 con las tecnologías elegidas, que permite potenciar la labor de los pequeños y medianos productores del campo. Conclusiones. La estrategia de selección resulta ser una herramienta útil para elegir tecnologías y potenciar una plataforma para mejorar el análisis y la producción de cultivos de pequeños y medianos productores del campo, a través de tecnologías de bajo costo.

**PALABRAS CLAVE:** Agricultura sostenible, Estadística descriptiva, Industria 4.0, Tecnologías de bajo costo.

#### ABSTRACT

For the year 2015, the United Nations established the agenda defined until 2030 called Sustainable Development Goals, where goal 9 -Industry, innovation and infrastructure- states that there is a high potential for inclusion of technologies to strengthen agribusiness, because in developing countries only 30% of production in the agricultural sector has industrial processes. Methodology. The work starts with applied research of a technological scope, which was divided into five phases: review of technologies, identification of characteristics, analysis of statistics and probability groupings, and finally, selection of technologies for the platform. Analysis. Therefore, this project explores a decision analysis to identify the best low-cost technologies for an Internet of Things network, through scores associated to each technology, and identifying mathematical functions in order to define probabilities, according to linear, exponential and part integer behaviors. Results. Finally, grouping and final probability graphs were established to establish which technologies have the best scores and are suitable for low-cost application in agriculture. IICA is also proposing an agricultural 4.0 platform with the technologies selected, which will make it possible to enhance the work of small and medium-scale producers in the field. Conclusions. The selection strategy is a useful tool for choosing technologies and promoting a platform for improving the analysis and production of crops by small and medium-scale farmers using low-cost technologies.

[CV] Docente Investigador de la Oficina de Investigación e Innovación - Fundación de Educación Superior San José, FESSJ, Colombia – [jtovar@usanjose.edu.co](mailto:jtovar@usanjose.edu.co)

[CV] Investigador del Grupo de investigación EIDOS - Fundación de Educación Superior San José, FESSJ, Colombia – [cpareja@usanjose.edu.co](mailto:cpareja@usanjose.edu.co)

[CV] Investigador del Grupo de investigación EIDOS - Fundación de Educación Superior San José, FESSJ, Colombia – [cregionales@usanjose.edu.co](mailto:cregionales@usanjose.edu.co)

Traducción de Jhonatan Paolo Tovar Soto (Magister en Automatización Universidad Nacional de Colombia)

**KEYWORDS:** Sustainable agriculture, descriptive statistic, 4.0 industry, low-cost technologies.

**Sumario:** 1. Introducción. 2. Metodología. 2.1. Búsqueda documental. 2.2. Identificación de herramientas y características relevantes. 2.3. Análisis de ponderaciones a partir de estadísticos numéricos. 2.4. Definición de probabilidades conjuntas y agrupamientos para selección de tecnologías. 2.5. Propuesta de plataforma de Agricultura 4.0 con IoT. 3. Resultados. 4. Conclusiones. 5. Referencia bibliográfica.

**Contents:** 1. Introduction. 2. Methodology. 2.1. Documentary search. 2.2. Identification of relevant tools and characteristics. Analysis of weightings based on numerical statistics. 2.4. Definition of joint probabilities and groupings for technology selection. 2.5. Proposal for an Agriculture 4.0 platform with IoT. 3. Results. 4. Conclusions. 5. Bibliographic reference.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el informe de la FAO (2017), la visión a futuro de la agricultura está directamente relacionado con la evolución y la inclusión de nuevas tecnologías de mecanización, con el fin de mejorar las condiciones de trabajo y generar cambios significativos en los procesos tradicionales utilizados en el sector rural. Así entonces, el concepto de Agricultura 4.0 -que surge de la Agricultura de Precisión- es fundamental para determinar las nuevas estrategias de implementación de tecnologías en aplicaciones agrícolas, debido a la necesidad de uso de herramientas de la era digital para mejorar los procesos en cultivos agrícolas (Aheleroff et al., 2020). Conceptos como robótica, sensado remoto, sistemas de información para gestión de granjas y sistemas de soporte de decisión, han permitido abrir camino para la transformación digital en el sector agrícola (Lezoche et al., 2020).

Por otra parte, tecnologías como los sistemas embebidos, la tecnología inalámbrica, el GPS, el GIS y los sistemas de manejo de bases de datos, son herramientas que recientemente han visto la luz en este tipo de aplicaciones (Suprem et al., 2013; Talavera et al., 2017; Tovar Soto et al., 2019). De lo anterior, la mayoría de las tecnologías mencionadas convergen en un concepto que data del año 1999: el Internet de las Cosas (IoT). Una plataforma IoT se constituye de la interconexión de diferentes dispositivos, que emplean un método de comunicación, usualmente con protocolos como la tecnología inalámbrica, con el fin de obtener información del medio a través de la comunicación remota (Fahmideh and Zowghi, 2020). Este novedoso concepto es el ápice para la transformación de muchas ciudades inteligentes en el mundo, debido en gran medida a que las diferentes tareas asociadas del entorno pueden realizarse de una manera más efectiva con dispositivos como cámaras, sensores, actuadores, servicios de software en la nube y plataformas de conectividad a distancia mediante sistemas de información que proveen datos en tiempo real y al instante (Fahmideh and Zowghi, 2020).

A partir de ello, el desarrollo de este tipo de plataformas no tan solo se ha enfocado en las ciudades, sino que, varios autores han mencionado la importancia de utilizar este tipo de herramientas para fortalecer las labores del campo y potencializar las tareas que históricamente se han visto afectadas por la falta de inclusión tecnológica (Tovar Soto et al., 2019).

De este hecho, en los últimos 15 años, las plataformas IoT se han dado lugar en diferentes niveles de la cadena de producción en el medio agro-industrial, enfocándose principalmente en el control de condiciones ambientales y atmosféricas que pueden generar problemáticas al momento de transportar y suministrar los productos que salen del campo (Talavera et al., 2017).

De la misma forma, las tecnologías como las redes inalámbricas de sensores han permitido que el control de

variables no tan solo se lleve a cabo en un único nivel de toda la cadena de producción, sino que se pueda implementar plataformas en campo, con el motivo de determinar mapas de rendimiento, índices de vegetación y estadísticas del estado actual de los cultivos en sus diferentes fases de crecimiento. Uno de los elementos de mayor influencia en este ámbito ha sido los dispositivos GPS, dado que han permitido detallar comportamientos de cultivos a gran escala en ubicaciones específicas con la aplicación de la agricultura de precisión, obteniendo resultados muy favorables para la producción de cultivos de grandes extensiones (Pathak et al., 2019). Sin embargo, dentro de las labores agrícolas, existe una población que aún está muy relegada a continuar con sus procesos tradicionales de evaluación y manejo de cultivos, como los son los pequeños y medianos productores. Lo anterior se debe a que, la gran mayoría de aplicaciones de tecnología IoT se han desarrollado y pensado para temas tales como logística, cadena de abastecimiento, cadena de producción y agricultura de precisión a gran escala, lo que evidencia que las aplicaciones están enmarcadas a un público objetivo como lo son los grandes productores y cadenas de abastecimiento (Talavera et al., 2017; Tovar Soto et al., 2019).

Este hecho es importante destacar, ya que las tecnologías IoT hasta hace unos pocos años, se han pensado para suplir necesidades a gran escala, pero labores específicas, que requieren costos asociados más bajos y que no necesitan una infraestructura compleja, solo se han desarrollado en los últimos 10 años (Talavera et al., 2017).

Por tanto, y dada la necesidad de bajar costos, y de estimar plataformas más económicas para su utilización en diferentes tipos de cultivos, sin importar su extensión, se encuentra un tipo de tecnología para comunicar datos, las redes LPWAN, que son redes de área amplia (varios kilómetros de radio de alcance) y su consumo de energía es mínimo. Este tipo de tecnología de comunicación en red ha sido el punto de inflexión para popularizar las plataformas IoT, no tan solo en la agricultura, sino en muchas aplicaciones que requieren dispositivos que no sean costosos. También, se debe destacar que plataformas de sistemas embebidos como Arduino, han permitido que la tecnificación de tareas simples, en aplicaciones pequeñas, puedan llevarse a cabo con un conocimiento bastante bajo sobre el tema y con un costo ínfimo. Y, por otra parte, el acceso amplio en los últimos años a diferentes dispositivos sensores, actuadores y demás elementos para realizar labores de control, han abierto la posibilidad de que más actores de la sociedad se comprometan y difundan este tipo de proyectos en aplicaciones agrícolas (Tovar Soto et al., 2019).

En ese orden de ideas, este proyecto desarrolla el análisis de selección de las tecnologías adecuadas para proponer un modelo de red IoT enfocado al concepto de Agricultura 4.0 para pequeños y medianos agricultores.

Para este fin se hace uso de un estadístico numérico y de agrupamientos, fundamentados en un estado del arte desarrollado desde una búsqueda sistemática de aplicaciones de las tecnologías de la nueva era digital (Fahmideh and Zowghi, 2020; Kamilaris et al., 2017; Nukala et al., 2016; Wolfert et al., 2017), e identificando características relevantes para la toma de decisiones: costo asociado, facilidad de implementación, capacidad de comunicación de datos, consumo energético, sostenibilidad en el tiempo. A partir de los criterios de decisión, se espera tener la mejor opción para que pequeños y medianos agricultores del campo puedan implementar este tipo de tecnologías, a un bajo costo, y que supla las necesidades de sus labores en el cultivo.

## 2. METODOLOGÍA

La propuesta parte de una investigación aplicada de tipo tecnológico, con el fin de fundamentar una estrategia de selección de tecnologías IoT, con base en estadísticas y probabilidades, y criterios de rechazo e inclusión.

La investigación se ha dividido en un total de 5 fases:

- Búsqueda documental.
- Identificación de características relevantes.
- Análisis de ponderaciones a partir de estadísticos numéricos.
- Definición de probabilidades conjuntas y agrupamientos para selección de tecnologías.
- Propuesta de plataforma de Agricultura 4.0 con IoT.

### 2.1 BÚSQUEDA DOCUMENTAL

La documentación que se ha tenido en cuenta para el presente trabajo se ha tomado de bases de datos académicas como IEEEExplore, Springer, Google académico y Scielo. Así mismo, se ha hecho énfasis en palabras clave para lograr la búsqueda acertada de la documentación. En la Tabla 1 se presentan las palabras clave y las cadenas de búsqueda utilizadas en las bases de datos mencionadas.

**Tabla 1. Palabras Clave Y Cadenas De Búsqueda.**

| Palabras clave       | Agricultura 4.0; Internet de las cosas; plataforma inteligente; tecnologías de bajo costo; monitoreo de cultivos; revisión. |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cadena de búsqueda 1 | Agricultura 4.0 & Tecnologías de bajo costo & Revisión                                                                      |
| Cadena de búsqueda 2 | Internet de las cosas & Monitoreo de cultivos & Revisión                                                                    |
| Cadena de búsqueda 3 | (Agricultura 4.0 OR Internet de las cosas) & (Plataforma inteligente & Tecnologías de bajos costo) & Monitoreo de cultivos  |
| Cadena de búsqueda 4 | (Internet de las cosas & Plataforma inteligente) OR (Agricultura 4.0 & Monitoreo de cultivos)                               |
| Cadena de búsqueda 5 | Revisión & (Agricultura 4.0 OR Internet de las cosas OR Monitoreo de cultivos) & Tecnologías de bajo costo                  |

Fuente: Autores, 2020.

A partir de la búsqueda realizada, se discriminaron los artículos que permitirían identificar características de las tecnologías y de las aplicaciones de IoT en agricultura publicados en los últimos 5 años, definiendo así las referencias que se mencionan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Documentos Seleccionados Para La Investigación.**

| Documentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Ahelero et al., 2020), (Fahmideh and Zowghi, 2020), (Kamilaris et al., 2017), (Lezoche et al., 2020), (Nukala et al., 2016), (Tovar Soto et al., 2019), (Wolfert et al., 2017), (Pathak et al., 2019), (Tzounis et al., 2017), (Math and Dharwadkar, 2020), (Bing, 2017), (Patil and Kale, 2017), (Rahman and Suryanegara, 2017), (Cambra et al., 2017), (Popović et al., 2017). |

Fuente: Autores, 2020.

### 2.2 IDENTIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS Y CARACTERÍSTICAS RELEVANTES

De acuerdo con los diferentes autores y a los diferentes proyectos que se han identificado en la revisión documental, se pudo tener un listado definido de diferentes elementos tanto de hardware como de software, que son utilizados en el contexto del IoT. Así mismo, las diferentes herramientas debían cumplir dos aspectos fundamentales:

- Ser una herramienta de uso libre.
- Dispositivos que son útiles para aplicaciones de agricultura.

De esta manera, se garantizó una discriminación de los elementos acorde al estudio y, por tanto, con mayor probabilidad de poder ser utilizados dentro de aplicaciones de agricultura 4.0. Por lo anterior, las herramientas identificadas se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Tecnologías De Hardware Y Software Identificadas.**

|                                  |                                                                                                                                |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistemas embebidos programables. | Arduino; TTGO; Teensy; MSP432; Particle; Sparkfun Things; Adafruit Feather STM32; Discovery; Silicon Labs; Microchip; NodeMCU. |
| Protocolos de comunicación.      | ZigBee; WiFi; Bluetooth; Red Móvil; Neul; LoRaWAN; NFC; Sigfox.                                                                |
| Software de programación.        | Python; Java; JavaScript; C; PHP.                                                                                              |
| Ordenador de placa reducida.     | Raspberry Pi; BeagleBone; PcDuino; Pandaboard.                                                                                 |

Fuente: Autores, 2020.

Así mismo, cada tipo de tecnología elegida debe ser capaz de proveer unas características muy particulares para su uso en el contexto del paradigma IoT, con el fin de fundamentar una plataforma robusta, accesible, y que sea de fácil uso. Por tanto, se identificó las características que los autores, y que, por experiencia personal, son las que influyen en la decisión de elección entre una u otra tecnología y que se observa en la Tabla 4.

**Tabla 4. Características Asociadas A Cada Tipo De Tecnología.**

|                                  |                                                                                                                      |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistemas embebidos programables. | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, memoria, tamaño físico, facilidad de programación. |
| Protocolos de comunicación.      | Nodos de conexión, volumen de envío de información, consumo energético, radio de alcance, costo asociado.            |
| Software de programación.        | Facilidad de uso del lenguaje, recurrencia de uso, conexión a la nube.                                               |
| Ordenador de placa reducida.     | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico, periféricos.                 |

Fuente: Autores, 2020.

### 2.3 ANÁLISIS DE PONDERACIONES A PARTIR DE ESTADÍSTICOS NUMÉRICOS

Con el fin de obtener el mejor criterio de decisión, se identificó que las características pueden tener un comportamiento definido por sus valores, y que es posible modelarlo mediante relaciones matemáticas. De acuerdo con el tipo de tecnología, y de característica, se identificó 3 posibles modelos:

Relación lineal:  $p(C)=mC+\Delta C$ ;  $C \in \mathbb{Z}$  :  $0 < C$ .

Relación exponencial:  $p(C)= [10]^{C/10}$ ;  $C \in \mathbb{Z}$  :  $0 < C \leq 1$ .

Relación parte entera:  $p(C)= [C]/10$ ;  $C \in \mathbb{Z}$  :  $0 < C \leq 10$ .

Cada una de las relaciones establecidas permitieron generar unos resultados de puntajes ponderados, que son asociados finalmente a probabilidades de cada característica (C) y a un análisis gráfico estadístico.

### 2.4 DEFINICIÓN DE PROBABILIDADES CONJUNTAS Y AGRUPAMIENTOS PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

Las probabilidades individuales de cada característica  $p(C)$ , proporciona una ponderación entre 0 y 1 que posibilita estimar la ventaja de dicha tecnología o herramienta en las plataformas IoT en agricultura, sin embargo, no se puede analizar de manera singular e individual cada ponderación, debido en gran medida a que, elegir la tecnología depende de todas las características, por lo que la decisión debe fundamentarse en la integralidad de todas las probabilidades.

Debido a esto, se estableció una estrategia para generar la probabilidad total de cada herramienta, a partir de un peso asignado a cada característica ( $p_i$ ), que permite evidenciar las características que tienen mayor peso en la decisión para la elección de las tecnologías o las herramientas.

Por tanto, se generó un modelo probabilístico lineal que tiene en cuenta la ponderación de cada atributo y su peso asociado, determinando así la ecuación 1.

$$p(T)=p_1 p(C_1)+p_2 p(C_2)+\dots+p_i p(C_i) \quad (1)$$

La probabilidad total  $p(T)$  determina la ponderación final asociada a cada tecnología(T) de la Tabla 3.

Con este modelo de decisión, se fundamenta la elección final de las tecnologías, pero, antes de ello, se identificó que era necesario un análisis más profundo a partir de gráficos estadísticos de agrupamientos selectivos por característica, con el fin de establecer comportamientos entre la probabilidad dada por una característica, respecto a la probabilidad conjunta dada por las demás.

Para lo anterior, se identificó otro modelo probabilístico lineal asociado a la ponderación de lo que se denominó las otras características (LOC), por lo cual, se definió la ecuación 2.

$$p(LOC)=p_{LOC1} p(LOC_1)+p_{LOC2} p(LOC_2)+\dots+p_{LOCi} p(LOC_i) \quad (2)$$

En la Tabla 5 a 8 se observa la identificación de las variables LOC para cada característica y cada tecnología, así como la determinación del agrupamiento a realizar en cada caso.

Tabla 5. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Sistemas Embebidos Programables.

| Agrupamiento. | Característica (C)            | Otras características (LOC)                                                                                 |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Costo asociado.               | Consumo energético, procesamiento de información, memoria, tamaño físico, facilidad de programación.        |
| 2             | Consumo energético.           | Costo asociado, procesamiento de información, memoria, tamaño físico, facilidad de programación.            |
| 3             | Procesamiento de información. | Costo asociado, consumo energético, memoria, tamaño físico, facilidad de programación.                      |
| 4             | Memoria.                      | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, tamaño físico, facilidad de programación. |
| 5             | Tamaño físico.                | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, memoria, facilidad de programación.       |
| 6             | Facilidad de programación.    | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, memoria, tamaño físico.                   |

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 6. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Protocolos De Comunicación.

| Agrupamiento. | Característica (C)               | Otras características (LOC)                                                               |
|---------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Nodos de conexión.               | Volumen de envío de información, consumo energético, radio de alcance, costo asociado.    |
| 2             | Volumen de envío de información. | Nodos de conexión, consumo energético, radio de alcance, costo asociado.                  |
| 3             | Consumo energético.              | Nodos de conexión, volumen de envío de información, radio de alcance, costo asociado.     |
| 4             | Radio de alcance.                | Nodos de conexión, volumen de envío de información, consumo energético, costo asociado.   |
| 5             | Costo asociado.                  | Nodos de conexión, volumen de envío de información, consumo energético, radio de alcance. |

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 7. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Software De Programación.

| Agrupamiento. | Característica (C)             | Otras características (LOC)                        |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1             | Facilidad de uso del lenguaje. | Recurrencia de uso, conexión a la nube.            |
| 2             | Recurrencia de uso.            | Facilidad de uso del lenguaje, conexión a la nube. |
| 3             | Conexión a la nube.            | Facilidad de uso del lenguaje, recurrencia de uso. |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 8. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Ordenador De Placa Reducida.**

| Agrupamiento. | Característica (C)         | Otras características (LOC)                                                                |
|---------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Costo asociado.            | Consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico, periféricos.       |
| 2             | Consumo energético.        | Costo asociado, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico, periféricos.           |
| 3             | Velocidad de procesamiento | Costo asociado, consumo energético, memoria, tamaño físico, periféricos.                   |
| 4             | Memoria.                   | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, tamaño físico, periféricos |
| 5             | Tamaño físico.             | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, periféricos.      |
| 6             | Periféricos.               | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico.    |

Fuente: Autores, 2020.

De acuerdo con las Tablas 5 a 8, se definen los agrupamientos para realizar el estadístico gráfico, mediante el cual se evidencia el comportamiento de las ventajas de uso entre cada tipo de tecnología y sus características de manera singular.

Este criterio fortalece la estrategia de selección final, dado que, de acuerdo con el tipo de tecnología, algunas pueden tener puntuaciones similares, por lo que se debe tener criterios adicionales para su elección.

## 2.5 PROPUESTA DE PLATAFORMA DE AGRICULTURA 4.0 CON IOT

Finalmente, con la elección de las tecnologías con mayor ventaja, y acordes al paradigma IoT, se establece mediante una tabla de ponderaciones finales las que son más adecuadas para la plataforma de agricultura 4.0.

Esta plataforma se presente de manera ilustrativa con la respectiva interconexión de las herramientas de cada tecnología seleccionada, y que se observa en le sección de resultados.

## 3.RESULTADOS

En primer lugar, se establecieron las ponderaciones individuales por característica en cada tecnología planteada, y que se observa en las Tablas 9 a 12. Estas ponderaciones corresponden a los valores asociados a la probabilidad de los modelos matemáticos elegidos, de acuerdo con el comportamiento que tuvieran las variables: relación lineal, relación exponencial, relación parte entera.

**Tabla 9. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Los Sistemas Embebidos Programables.**

| Tecnología.      | Costo asociado. | Consumo energético. | Procesamiento de información. | Memoria. | Tamaño físico. | Facilidad de programación. |
|------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------|----------------|----------------------------|
| Arduino          | 0.64            | 0.33                | 0.32                          | 0.20     | 0.56           | 1.00                       |
| TTGO             | 0.98            | 0.70                | 0.68                          | 0.80     | 0.91           | 1.00                       |
| Teensy           | 0.77            | 0.57                | 0.68                          | 1.00     | 0.98           | 1.00                       |
| MSP432           | 0.84            | 1.00                | 0.68                          | 0.40     | 0.05           | 0.00                       |
| Particle         | 0.76            | 0.56                | 0.68                          | 0.63     | 1.00           | 1.00                       |
| Sparkfun things  | 0.83            | 0.37                | 0.68                          | 0.80     | 0.98           | 1.00                       |
| Adafruit Feather | 0.87            | 0.05                | 0.68                          | 0.05     | 1.00           | 1.00                       |
| STM32 Discovery  | 0.88            | 0.45                | 0.68                          | 0.36     | 0.34           | 0.00                       |
| Silicon labs     | 0.05            | 0.64                | 0.68                          | 0.32     | 0.26           | 0.50                       |
| Microchip        | 0.45            | 0.82                | 0.68                          | 0.32     | 0.45           | 0.00                       |
| NodeMCU          | 1.00            | 0.57                | 0.68                          | 0.40     | 0.94           | 1.00                       |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 10. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Los Protocolos De Comunicación.**

| Tecnología. | Nodos de conexión. | Volumen de envío de información. | Consumo energético. | Radio de alcance. | Costo asociado. |
|-------------|--------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| ZigBee      | 0.89               | 0.28                             | 0.22                | 0.06              | 1.00            |
| WiFi        | 0.27               | 0.95                             | 0.17                | 0.05              | 0.00            |
| Bluetooth   | 0.76               | 0.36                             | 0.27                | 0.05              | 1.00            |
| Móvil       | 1.00               | 0.55                             | 0.29                | 0.43              | 0.00            |
| Neul        | 0.10               | 0.23                             | 0.74                | 0.24              | 1.00            |
| LoRaWAN     | 0.39               | 0.21                             | 0.23                | 0.33              | 1.00            |
| NFC         | 0.10               | 0.30                             | 0.24                | 0.05              | 1.00            |
| Sigfox      | 1.00               | 0.10                             | 1.00                | 1.00              | 0.50            |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 11. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Software De Programación.**

| Tecnología. | Facilidad de uso del lenguaje. | Recurrencia de uso. | Conexión a la nube. |
|-------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Python      | 1.00                           | 1.00                | 0.70                |
| Java        | 1.00                           | 0.60                | 0.90                |
| JavaScript  | 0.80                           | 0.40                | 0.80                |
| C           | 0.70                           | 0.20                | 0.00                |
| PHP         | 0.80                           | 0.20                | 0.60                |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 12. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Ordenador De Placa Reducida.**

| Tecnología.  | Costo asociado. | Consumo energético. | Velocidad de procesamiento. | Memoria. | Tamaño físico. | Periféricos. |
|--------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|----------|----------------|--------------|
| Raspberry Pi | 0.78            | 0.40                | 1.00                        | 1.00     | 0.97           | 1.00         |
| BeagleBone   | 1.00            | 1.00                | 0.50                        | 0.05     | 1.00           | 0.60         |
| PcDuino      | 0.76            | 0.70                | 0.50                        | 0.11     | 0.55           | 0.50         |
| Pandaboard   | 0.05            | 1.00                | 0.50                        | 0.11     | 0.05           | 0.50         |

Fuente: Autores, 2020.

Con los datos obtenidos de las ponderaciones individuales, se pudo establecer los valores de las probabilidades conjuntas  $p(LOC)$ , respecto a cada característica en los 4 grupos de tecnologías.

Estas probabilidades se detallan en las Tablas 13 a 16, identificando la probabilidad calculada sin una característica (respecto a la que se va a evaluar), por lo que cada columna identifica la probabilidad sin la característica que se menciona (Ejemplo, Sin costo asociado se refiere a la  $p(LOC)$  de las otras características que se asocian a la característica Costo asociado, como se detalló en la Tabla 5).

**Tabla 13. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Los Sistemas Embebidos Programables.**

| Tecnología.      | Sin costo asociado. | Sin consumo energético. | Sin procesamiento de información. | Sin memoria. | Sin tamaño físico. | Sin facilidad de programación. |
|------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------|
| Arduino          | 0.41                | 0.55                    | 0.51                              | 0.53         | 0.49               | 0.47                           |
| TTGO             | 0.78                | 0.90                    | 0.87                              | 0.86         | 0.85               | 0.85                           |
| Teensy           | 0.78                | 0.75                    | 0.79                              | 0.75         | 0.75               | 0.77                           |
| MSP432           | 0.56                | 0.55                    | 0.66                              | 0.69         | 0.78               | 0.69                           |
| Particle         | 0.72                | 0.80                    | 0.74                              | 0.75         | 0.70               | 0.72                           |
| Sparkfun things  | 0.67                | 0.85                    | 0.73                              | 0.72         | 0.70               | 0.71                           |
| Adafruit Feather | 0.44                | 0.77                    | 0.58                              | 0.65         | 0.53               | 0.57                           |
| STM32 Discovery  | 0.41                | 0.62                    | 0.56                              | 0.60         | 0.63               | 0.61                           |
| Silicon labs     | 0.50                | 0.24                    | 0.30                              | 0.34         | 0.37               | 0.33                           |
| Microchip        | 0.57                | 0.43                    | 0.51                              | 0.55         | 0.55               | 0.56                           |
| NodeMCU          | 0.68                | 0.87                    | 0.80                              | 0.84         | 0.78               | 0.78                           |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 14. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Los Protocolos De Comunicación.**

| Tecnología. | Sin nodos de conexión. | Sin volumen de envío de información. | Sin consumo energético. | Sin radio de alcance. | Sin costo asociado. |
|-------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| ZigBee      | 0.40                   | 0.49                                 | 0.38                    | 0.65                  | 0.29                |
| WiFi        | 0.17                   | 0.07                                 | 0.14                    | 0.25                  | 0.25                |
| Bluetooth   | 0.42                   | 0.51                                 | 0.39                    | 0.65                  | 0.29                |
| Móvil       | 0.28                   | 0.26                                 | 0.24                    | 0.37                  | 0.52                |
| Neul        | 0.58                   | 0.64                                 | 0.43                    | 0.62                  | 0.34                |
| LoRaWAN     | 0.49                   | 0.57                                 | 0.47                    | 0.53                  | 0.30                |
| NFC         | 0.40                   | 0.47                                 | 0.37                    | 0.49                  | 0.15                |
| Sigfox      | 0.75                   | 0.81                                 | 0.56                    | 0.69                  | 0.88                |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 15. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Software De Programación.**

| Tecnología. | Sin facilidad de uso del lenguaje. | Sin recurrencia de uso. | Sin conexión a la nube. |
|-------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Python      | 0.80                               | 0.85                    | 1.00                    |
| Java        | 0.80                               | 0.95                    | 0.87                    |
| JavaScript  | 0.67                               | 0.80                    | 0.67                    |
| C           | 0.07                               | 0.35                    | 0.53                    |
| PHP         | 0.47                               | 0.70                    | 0.60                    |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 16. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Ordenador De Placa Reducida.**

| Tecnología.  | Sin costo asociado. | Sin consumo energético. | Sin velocidad de procesamiento. | Sin memoria. | Sin tamaño físico. | Sin periféricos. |
|--------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------|------------------|
| Raspberry Pi | 0.85                | 0.89                    | 0.91                            | 0.53         | 0.80               | 0.79             |
| BeagleBone   | 0.66                | 0.76                    | 0.88                            | 0.86         | 0.77               | 0.83             |
| PcDuino      | 0.49                | 0.58                    | 0.67                            | 0.75         | 0.61               | 0.62             |
| Pandaboard   | 0.26                | 0.19                    | 0.20                            | 0.69         | 0.19               | 0.12             |

Fuente: Autores, 2020.

Con los valores obtenidos de las ponderaciones individuales y las agrupadas, se pudo determinar el gráfico estadístico para cada situación. Con estos gráficos estadísticos se pudo evidenciar comportamientos singulares para cada tipo de tecnología, estableciendo así las ventajas prominentes en cada situación, y con cada tipo de característica. Para este análisis, se diferenciaron los agrupamientos dados por las Tablas 5 a 8.

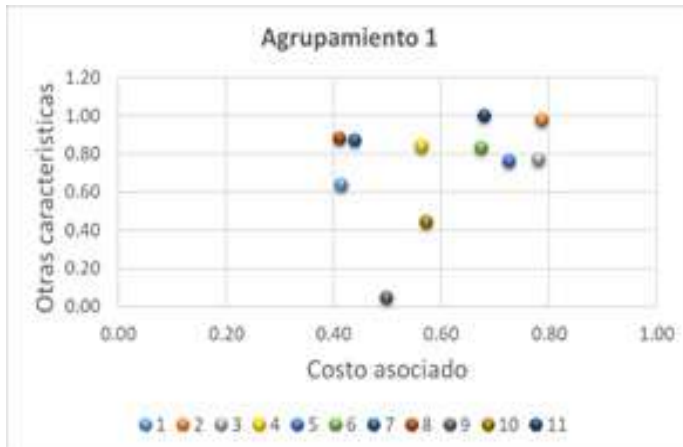
**Tabla 17. Numeración Para Los Sistemas Embebidos Programables.**

| Tecnología.      | Numeración. |
|------------------|-------------|
| Arduino          | 1           |
| TTGO             | 2           |
| Teensy           | 3           |
| MSP432           | 4           |
| Particle         | 5           |
| Sparkfun things  | 6           |
| Adafruit Feather | 7           |
| STM32 Discovery  | 8           |
| Silicon labs     | 9           |
| Microchip        | 10          |
| NodeMCU          | 11          |

Fuente: Autores, 2020.

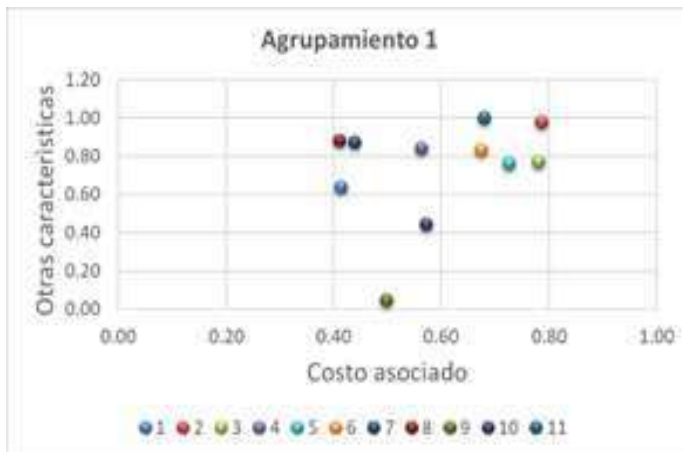
El primer caso corresponde a la tecnología de Sistemas Embebidos Programables, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 1 a 6. Para poder identificar los sistemas embebidos elegidos, se le ha asignado un número a cada uno, con el motivo de permitir una mejor lectura de los gráficos de agrupamiento que se presentan a continuación. La numeración se da como se observa en la Tabla 17.

**Gráfica 1. Agrupamiento del parámetro Costo asociado respecto a las otras características.**



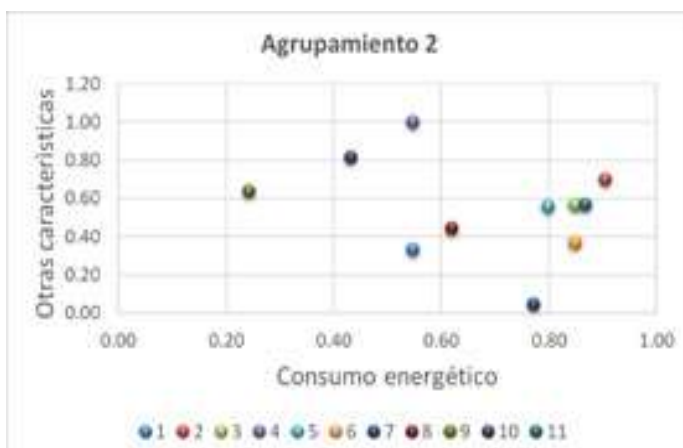
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 2. Agrupamiento del parámetro Consumo energético respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 3. Agrupamiento del parámetro Procesamiento de información respecto a las otras características.**



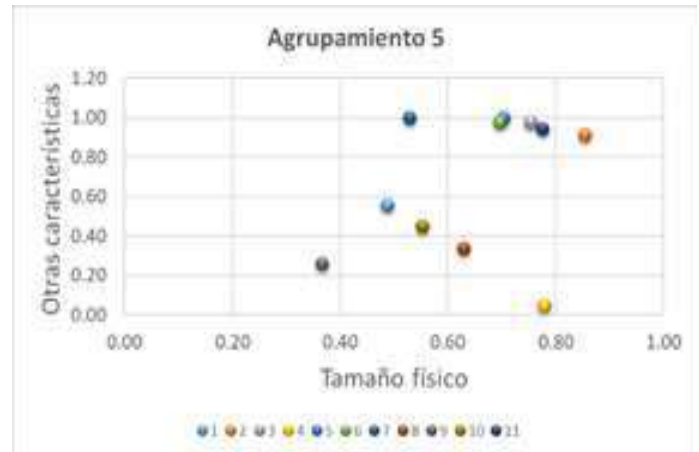
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 4. Agrupamiento del parámetro Memoria respecto a las otras características.**



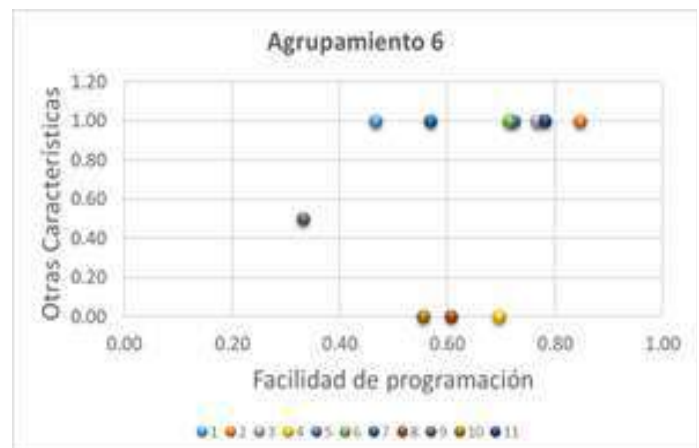
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 5. Agrupamiento del parámetro Tamaño físico respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 6. Agrupamiento del parámetro Facilidad de programación respecto a las otras características.**

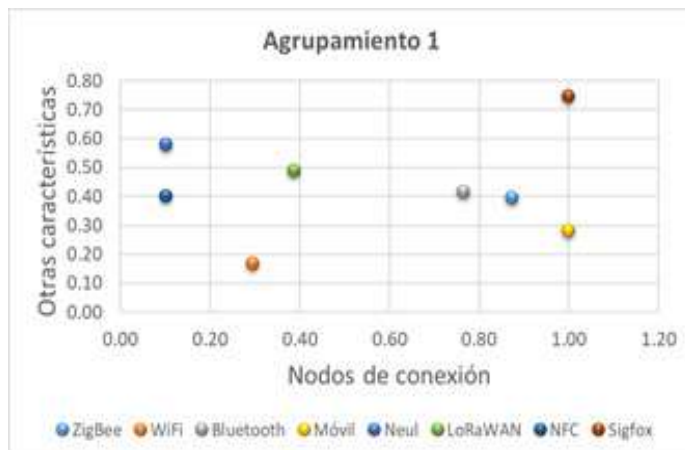


Fuente: Autores, 2020.

De acuerdo con las gráficas expuestas, en el caso de la primera tecnología -Sistemas Embebidos Programables- es evidente que en la mayoría de los agrupamientos hay una herramienta que se mantiene muy cerca a la coordenada (1,1), que implica tener mejores prestaciones y condiciones (100% de favorabilidad). La tecnología número 2 en la mayoría de los casos evidencia ponderaciones muy cercanas a 1 respecto a las demás características, por lo que se puede deducir en principio que es la más adecuada para una aplicación de IoT en agricultura.

El segundo caso corresponde a la tecnología de Protocolos de Comunicación, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 7 a 11. En cada gráfico se puede observar el color que identifica cada tecnología.

**Gráfica 7. Agrupamiento del parámetro Nodos de conexión respecto a las otras características.**



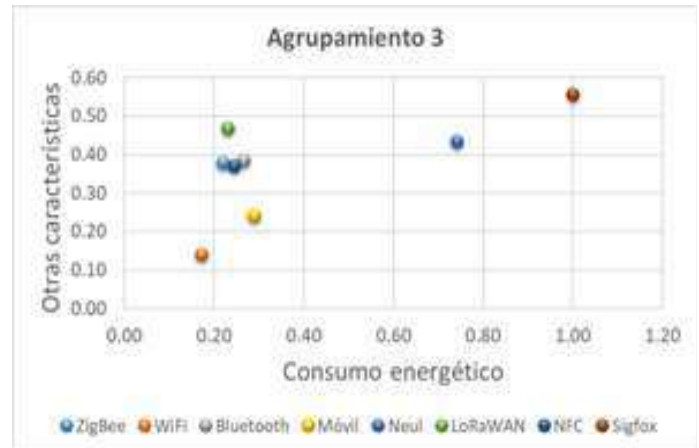
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 8. Agrupamiento del parámetro Volumen de envío de información respecto a las otras características.**



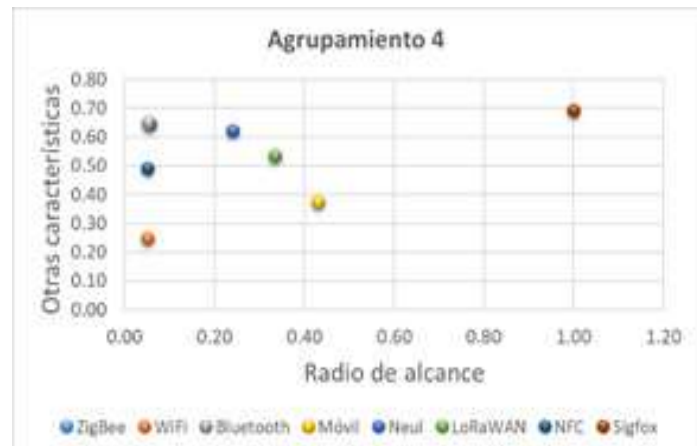
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 9. Agrupamiento del parámetro Consumo energético respecto a las otras características.**



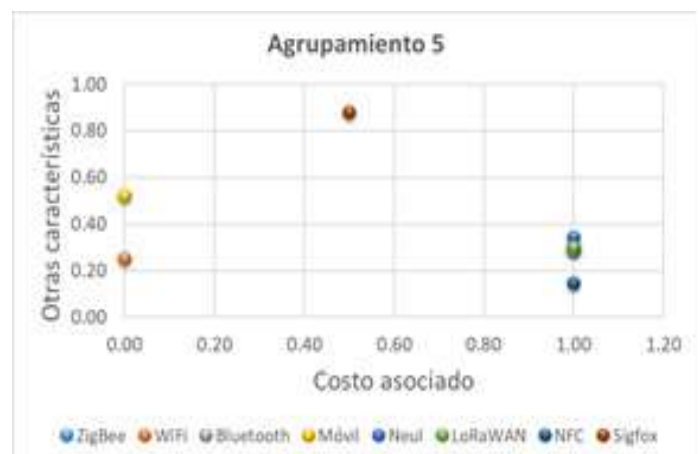
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 10. Agrupamiento del parámetro Radio de alcance respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 11. Agrupamiento del parámetro Costo asociado respecto a las otras características.**

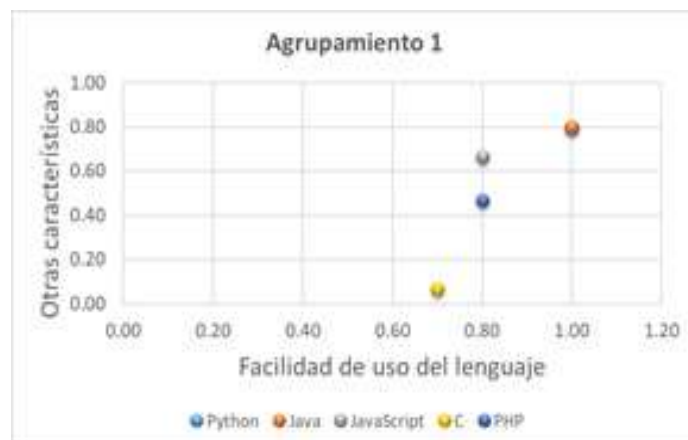


Fuente: Autores, 2020.

De acuerdo con los agrupamientos de las gráficas 7 a 11, se puede observar que el comportamiento de la tecnología sigfox es el más consistente y que está muy cercano a la

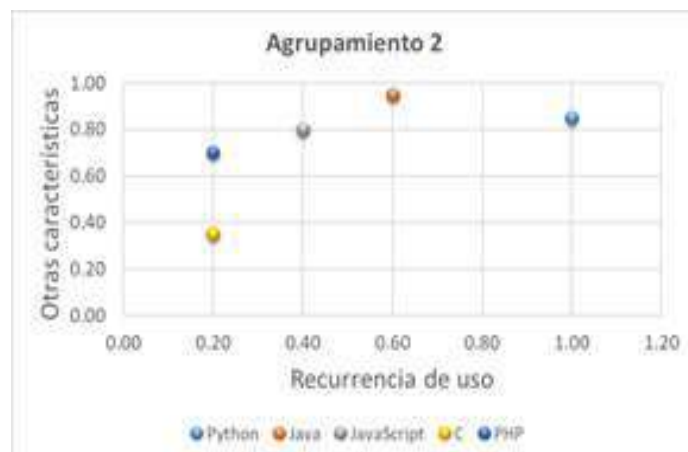
coordinada (1,1), estableciendo así su posible elección para plataformas IoT como protocolo de comunicación. El tercer caso corresponde a la tecnología de Software de Programación, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 12 a 14. En cada gráfico se puede observar el color que identifica cada software del análisis.

**Gráfica 12. Agrupamiento del parámetro Facilidad de uso del lenguaje respecto a las otras características.**



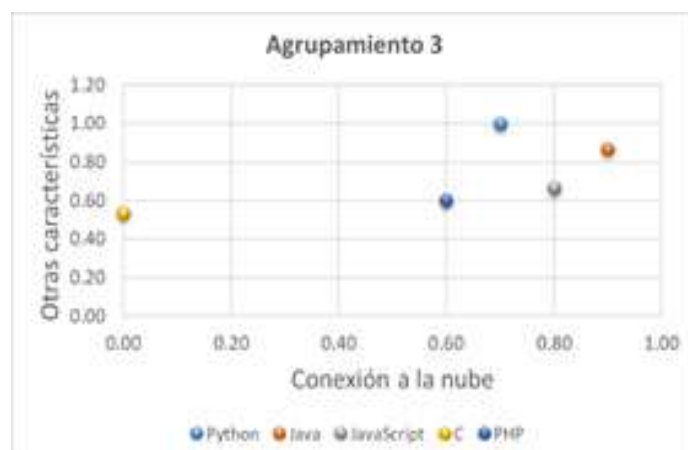
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 13. Agrupamiento del parámetro Recurrencia de uso respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 14. Agrupamiento del parámetro Conexión a la nube respecto a las otras características.**

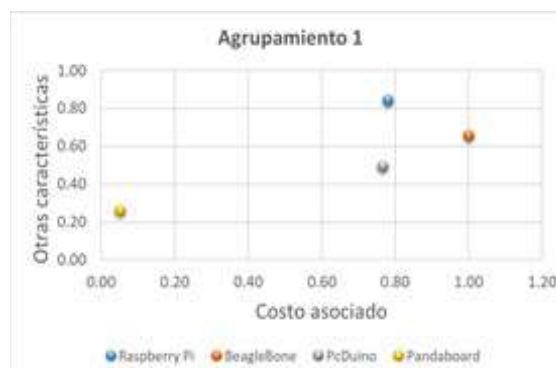


Fuente: Autores, 2020.

Para este grupo de tecnología, se puede observar que existen dos lenguajes de programación que tienen comportamientos similares: Python y Java. Sin embargo, mediante los agrupamientos no es posible determinar cual de los programas de software tiene mayor ventajas frente a los demás, por lo que sólo con los gráficos estadísticos no es posible determinar la tecnología de software adecuada, por lo que se deja para el análisis final de la probabilidad total de cada tecnología, con el motivo de tener un criterio fundamentado en el análisis estadístico y de ponderaciones.

Finalmente, el último caso corresponde a la tecnología de Ordenadores de placa reducida, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 15 a 20. En cada gráfico se puede observar el color que identifica cada software del análisis.

**Gráfica 15. Agrupamiento del parámetro Costo asociado respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 16. Agrupamiento del parámetro Consumo energético respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 17. Agrupamiento del parámetro Velocidad de procesamiento respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 18. Agrupamiento del parámetro Memoria respecto a las otras características.**



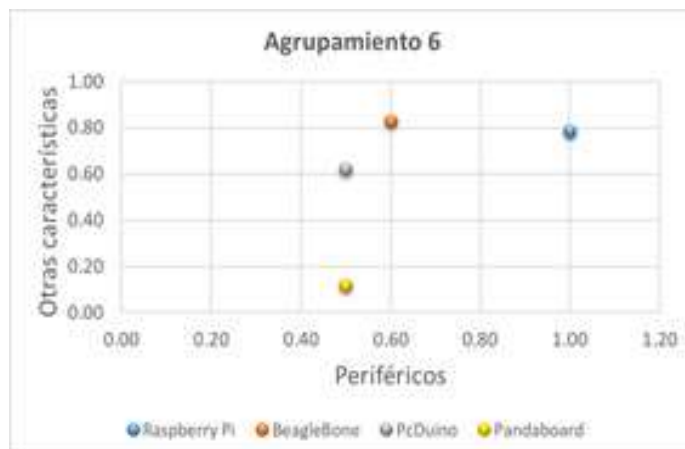
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 19. Agrupamiento del parámetro Tamaño físico respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 20. Agrupamiento del parámetro Periféricos respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

En este último grupo, existe una tecnología que tiene consistencia en las ponderaciones de los 6 agrupamientos, la Raspberry Pi, detallando que, en varios de los estadísticos observados en las Gráficas 15 a 20, su ponderación asociada está muy cerca de la coordenada (1,1), evidenciando que tiene ventajas sobre las demás tecnologías.

Para determinar la elección de las tecnologías, no se hace uso exclusivo de los agrupamientos, sino que, se calcula la probabilidad total con la ecuación 1, cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 18.

**Tabla 18. Ponderaciones Totales Para Las Tecnologías De Cada Grupo.**

| Tecnología.      | Probabilidad total. | Tecnología. | Probabilidad total. | Tecnología. | Probabilidad total. | Tecnología.  | Probabilidad total. |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Arduino          | 0.49                | ZigBee      | 0.47                | Python      | 0.88                | Raspberry Pi | 0.82                |
| TTGO             | 0.85                | WiFi        | 0.19                | Java        | 0.88                | BeagleBone   | 0.80                |
| Teensy           | 0.78                | Bluetooth   | 0.47                | JavaScript  | 0.72                | PcDuino      | 0.60                |
| MSP432           | 0.66                | Móvil       | 0.39                | C           | 0.32                | PcDuino      | 0.18                |
| Particle         | 0.74                | Neul        | 0.51                | PHP         | 0.6                 |              |                     |
| Sparkfun things  | 0.73                | LoRaWAN     | 0.47                |             |                     |              |                     |
| Adafruit Feather | 0.59                | NFC         | 0.36                |             |                     |              |                     |
| STM32 Discovery  | 0.58                | Sigfox      | 0.78                |             |                     |              |                     |
| Silicon labs     | 0.34                |             |                     |             |                     |              |                     |
| Microchip        | 0.53                |             |                     |             |                     |              |                     |
| NodeMCU          | 0.79                |             |                     |             |                     |              |                     |

Fuente: Autores, 2020.

En la Tabla 18, las ponderaciones que se ubican en **negrita** corresponden a las tecnologías que mejor puntuación han obtenido una vez se ha aplicado los modelos matemáticos de ponderación, y su correspondiente probabilidad total con los pesos asociados a cada característica. De acuerdo con los resultados, se puede reforzar algunas deducciones que se habían determinado previamente con los agrupamientos.

En el caso de la tecnología de sistemas embebidos programables, se establece que, la tarjeta de desarrollo TTGO, si cumple criterios que le dan una amplia ventaja respecto a otras tarjetas, dando así un candidato óptimo como sistema embebido para plataformas de IoT en agricultura.

Por otra parte, respecto a los protocolos de comunicación, se evidencia de acuerdo con la Tabla 18, que efectivamente, el protocolo de comunicación sigfox si cumple las expectativas para ser catalogado como una tecnología adecuada para el paradigma IoT en agricultura, debido a la puntuación positiva que ha obtenido, así como su amplia ventaja en la ponderación obtenida respecto a los demás protocolos de comunicación.

En el caso de software de programación, no se tiene una única tecnología que sea ventajosa para el IoT, sino que, se observa que dos lenguajes de programación tienen la misma ponderación, como lo son el lenguaje Python y el lenguaje Java, cuyo análisis no fue concluyente en los agrupamientos, y gracias a la probabilidad total, se evidencia que ambos son factibles para su uso en aplicación de IoT en agricultura.

Por otra parte, para el caso de los ordenadores de placa reducida, aunque no existe una ventaja amplia, la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, tiene mejores prestaciones que la tarjeta BeagleBone, como se observa en la ponderación final. Así mismo, existen características que potencializan a la Raspberry Pi respecto a sus contendores como, por ejemplo, velocidad de procesamiento y memoria, lo que se evidencia claramente en las Gráficas 17 y 18 de los agrupamientos.

Finalmente, con las ponderaciones y los estadísticos terminados, se definió la propuesta de red IoT para un modelo de aplicación de agricultura 4.0 teniendo en cuenta factores como prestaciones de las tecnologías y su costo asociado. La plataforma propuesta se observa en la Ilustración 1.

**Ilustración 1. Modelo propuesto para una plataforma de agricultura 4.0 con tecnologías del paradigma IoT.**



Fuente: Autores, 2020.

#### 4.CONCLUSIONES

Las tendencias de la nueva era digital, enmarcadas en el contexto de la cuarta revolución industrial, han propuesto desarrollos a nivel tecnológico en diferentes áreas de conocimiento, entre las cuales se puede destacar la agricultura. Un concepto novedoso y que ha hecho eco en la última década es la Agricultura 4.0, que puntualiza en el uso de herramientas de la era digital para potenciar procesos de producción, logística, manufactura y abastecimiento en diferentes aplicaciones del agro.

No obstante, la aplicación de tecnologías en el sector rural a nivel latino américa, y más específicamente en las labores de agricultura en Colombia, aún sigue siendo un problema de equidad social, que no encuentra apoyo institucional y legislativo para facilitar la producción de los cultivos agrícolas. Así mismo, una porción de la población campesina, con pequeñas parcelas o cultivos de menor extensión, se ven relegados en la competitividad, dado que sus labores siguen realizándose a través de labores manuales y artesanales, y en muchas ocasiones, no pueden incrementar su producción, o se ven obligados a llevar pérdidas, ya sea por que no pueden competir con otros precios, o porque se dañan sus cultivos. Este efecto social y económico no se ha tratado desde la perspectiva adecuada, y tampoco se ha potencializado la innovación social y tecnológica del campo. Es por ello por lo que, es muy importante subrayar que la tecnología per sé no disminuirá la brecha digital del sector rural, tampoco se puede aducir en su totalidad, que las herramientas de la era digital necesariamente permitirán facilitar las labores de logística del pequeño o mediano productor campesino. Lo anterior debido a que, aún en la actualidad hace falta un mayor conocimiento de las condiciones del campo en Colombia, con el fin de poder abordar con una estrategia integral las diferentes problemáticas sistémicas de la producción de los pequeños y medianos productores del campo.

Dado lo anterior, la presente investigación pretendió abordar la innovación tecnológica para una potencial aplicación de agricultura basada en la era digital, entendiendo en primer lugar, que las condiciones sociales y económicas del campo colombiano son completamente distintas a la de un productor a gran escala o un terrateniente. Factores fundamentales como, el costo económico, el consumo energético, la facilidad de uso, y por supuesto, la capacidad tecnológica para tomar decisiones, son características que se han tenido en cuenta, y que, dentro de la literatura, se ha referido por parte de otros autores, que han trabajado en contextos similares al colombiano, en aplicaciones de agricultura. Por tanto, las tecnologías y herramientas que se han definido como óptimas, y que han sido parte del análisis estadístico, y posterior selección, no solamente han derivado de la búsqueda documental, sino que, también van acorde a las necesidades locales, y que son requeridas para que un pequeño o mediano productor pueda acceder a ellas, las pueda entender, y las pueda utilizar de una manera sencilla.

De lo anterior surge la estrategia que se ha propuesto en este capítulo, con el fin de tener un criterio de selección de las tecnologías ajustado a una estadística descriptiva, con base en características puntualizadas que permiten determinar la mejor decisión para la plataforma planteada y que sea acorde a las necesidades del sector agrícola: costo asociado, la facilidad de implementación, el bajo consumo energético y que sea en lo posible hardware y software de uso libre.

Estas características, también permiten obtener una innovación tecnológica que pueda combatir la inequidad digital, dado que, en su mayoría, son tecnologías a las que se puede acceder muy fácilmente, y en términos económicos se pueden adquirir a costos muy bajos. Así mismo, entendiendo que la población rural y que la gran mayoría de pequeños y medianos productores no han podido acceder a una educación plena y completa, las herramientas deben ser fáciles de entender, de abstraer y de manejar, para que posteriormente, no se genere una brecha aún más grande, al obtener acceso a las plataformas tecnológicas, pero continuando con el analfabetismo tecnológico.

Este último punto, ha sido también una de las mayores discusiones en torno a la implementación de tecnología en las zonas rurales, y que sigue siendo un talón de Aquiles por la falta de compromiso estatal para fortalecer la educación en el campo y, por tanto, permitir que esta población pueda tener las mismas ventajas tecnológicas que otros sectores de la población.

Así entonces, y con las consideraciones que se han mencionado, se logró identificar las diferentes tecnologías para la plataforma de agricultura 4.0 que pueden proveer mejores prestaciones para la gestión y análisis de cultivos de pequeña y mediana escala. Finalmente, la propuesta planteada incluye las diferentes tecnologías que se utilizan en el paradigma IoT con el fin de implementar herramientas de la era digital que permiten fortalecer las labores agrícolas y potenciar la producción y la gestión de cultivos para pequeños y medianos productores del campo, debido a que se puede obtener una plataforma de análisis y monitoreo con tecnologías de bajo costo.

Este capítulo es producto del proyecto de investigación “Aplicación de un desarrollo IoT con técnicas de agricultura de precisión para un cultivo de flores”, del grupo de investigación EIDOS de la Fundación de Educación Superior San José.



## REFERENCIAS



- Ahelerooff, S., Xu, X., Lu, Y., Aristizabal, M., Velásquez, J. P., Joa, B., and Valencia, Y. (2020). IoT-enabled smart appliances under industry 4.0: A case study. *Advanced Engineering Informatics*, 43, 101043.
- Bing, F. (2017). The research of IOT of agriculture based on three layers architecture. *Proceedings of 2016 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things, CCIOT 2016*. <https://doi.org/10.1109/CCIOT.2016.7868325>
- Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J., and Garcia, L. (2017). An IoT service-oriented system for agriculture monitoring. *IEEE International Conference on Communications*. <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7996640>
- Fahmideh, M., and Zowghi, D. (2020). An exploration of IoT platform development. *Information Systems*, 87, 101409.
- FAO. (2017). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/3/a-I7658s.pdf>
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., and Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23–37.
- Lezoche, M., Hernandez, J. E., Díaz, M. del M. E. A., Panetto, H., and Kacprzyk, J. (2020). Agri-food 4.0: a survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, 117, 103187.
- Math, R. M., and Dharwadkar, N. V. (2020). An Intelligent Irrigation Scheduling and Monitoring System for Precision Agriculture Application. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 11(4), 1–24.
- Nukala, R., Panduru, K., Shields, A., Riordan, D., Doody, P., and Walsh, J. (2016). Internet of Things: A review from 'Farm to Fork.' 2016 27th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), 1–6.
- Pathak, A., AmazUddin, M., Abedin, M. J., Andersson, K., Mustafa, R., and Hossain, M. S. (2019). IoT based smart system to support agricultural parameters: A case study. *Procedia Computer Science*, 155, 648–653.
- Patil, K. A., and Kale, N. R. (2017). A model for smart agriculture using IoT.
- Proceedings - International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication, ICGTSPICC 2016. <https://doi.org/10.1109/ICGTSPICC.2016.7955360>
- Popović, T.,
- Latinović, N., Pešić, A., Zečević, Ž., Krstajić, B., and Djukanović, S. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008>
- Rahman, A., and Suryanegara, M. (2017). The development of IoT LoRa: A performance evaluation on LoS and Non-LoS environment at 915 MHz ISM frequency. *Proceedings - International Conference on Signals and Systems, ICSigSys 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICSIGSYS.2017.7967033>
- Suprem, A., Mahalik, N., and Kim, K. (2013). A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector. In *Computer Standards and Interfaces*. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2012.09.002>
- Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., Quiroz, L. A., Hoyos, A., and Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. In *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>
- Tovar Soto, J. P., Solórzano Suárez, J. de los S., Badiño Rodríguez, A., and Rodríguez Cainaba, G. O. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, 22, 86–105.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., and Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. In *Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., and Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming-a review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.