

Nuevas tecnologías y aplicaciones del radio definido por software en entornos agrícolas: una revisión del estado del arte¹

New technologies and applications of software-defined radio in agricultural environments: a review of the state of the art

D.A. Galindo, S.A. Castro, K.C. Puerto y D. Guevara

Recibido: junio 15 de 2024 – Aceptado: junio 30 de 2025

Resumen—Se presenta una investigación de los avances que han tenido los sistemas de Radiocomunicaciones sobre el concepto de radio definido por software en el ámbito agrícola, en dispositivos de comunicación y aplicaciones para la toma de datos en sensores inalámbricos en los últimos años, conociendo de una mejor manera sus generalidades y aplicaciones. Por lo tanto, se sostiene que su acelerada difusión se debe a la facilidad de implementación en el ámbito agrario, tanto para aquellos con conocimientos básicos, expertos en la materia y en el contexto educativo relacionado con la agricultura. Esta revisión también contiene la información sobre los diseños del software de GNU radio, circuitos de redes de sensores, entre otros. Adicionalmente, estos sistemas de radio definida por software con GNU radio, han tenido un gran impacto en la actualidad a causa de sus múltiples beneficios, ya que cuenta con una programación de estructura de bloques. Por lo cual, este artículo permite contemplar la necesidad de cubrir las líneas de investigación referentes a esta temática con panoramas continentales con un intervalo de tiempo del 2012 al 2023, donde la búsqueda de la información se obtiene

de datos bibliográficos de alto impacto, para estar a la avanzada en la evolución tecnológica del mundo de las telecomunicaciones.

Palabras clave—Radio definido por Software, GNU Radio, Compostaje, Sistema Monitoreo Ambiental, Redes de sensores inalámbricos.

Abstract—This paper presents an investigation of the advances made by Radiocommunication systems on the concept of software defined radio in the agricultural field, in communication devices and applications for data acquisition in wireless sensors in the last years, knowing in a better way its generalities and applications. Therefore, it is argued that its accelerated diffusion is due to the ease of implementation in the agricultural field, both for those with basic knowledge, experts in the field, and in the educational context related to agriculture. This review also contains information on GNU radio software designs, sensor network circuits, among others. Additionally, these software-defined radio systems with GNU radio have had a great impact today because of its multiple benefits, since it has a programming block structure. Therefore, this article allows for contemplation of the need to cover the lines of research on this topic with continental overviews, with a time interval from 2012 to 2023, where the search for information is obtained from bibliographies of high impact, to be ahead in the technological evolution of the world of telecommunications.

Keywords—Software defined radius, Radio GNU, Composting, Environmental Monitoring System, Wireless sensor networks.

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones actualmente están avanzando a un ritmo acelerado gracias a uno de los factores más importantes que es la radiocomunicación, ¿Pero que es la radiocomunicación?, constituye a un método de comunicación para quienes necesiten respuesta al instante de sus equipos[1].

Por lo tanto, la radiocomunicación se ha convertido en una de las herramientas ampliamente utilizadas en el avance de los procesos de los campos agrícolas. En la actualidad gracias a la radiocomunicación, los agricultores cuentan con acceso a una amplia gama de variables de datos, análisis de datos y sistemas de monitoreo en tiempo real, como (IoT) Internet de las Cosas [2]. En los sistemas de monitoreo agroindustrial, se

¹Producto derivado del proyecto de investigación “Aplicación de radio definido por software con sensores aplicada al compostaje”, apoyado por la Universidad Francisco de Paula Santander a través de la Maestría en Investigación Operativa y Estadística.

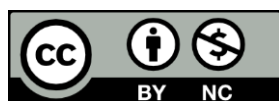
D. A. Galindo, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia, email: davidalexandergb@ufps.edu.co.

S. A. Castro, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia, email: sergio.castroc@ufps.edu.co.

K.C. Puerto, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia, email: karlaceciliapl@ufps.edu.co.

D. Guevara, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia, email: dinaelgi@ufps.edu.co.

Como citar este artículo: Galindo, D. A., Castro, S. A., Puerto, K. C. y Guevara, D. Nuevas tecnologías y aplicaciones del radio definido por software en entornos agrícolas: una revisión del estado del arte, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 19, no. 37, pp. 79-86, enero-junio 2025. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.3106>.



Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

emplea ampliamente el Radio Definido por Software (SDR), un sistema de radiocomunicación en el cual la mayoría de los componentes necesarios son implementados mediante software en lugar de hardware. Esta tecnología ha demostrado ser altamente eficiente y versátil en el ámbito agroindustrial, permitiendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la configuración y operación de los sistemas de monitoreo [3].

El término "Radio Definido por Software" (SDR) se refiere a un sistema de comunicación por radio que utiliza componentes de software para llevar a cabo la modulación y demodulación de señales de radio. Este enfoque se basa en el procesamiento digital de señales y en la utilización de dispositivos electrónicos reconfigurables, lo que permite la creación de una radio capaz de recibir y transmitir protocolos de radio mediante la ejecución de software específico como lo es, GNU Radio, el cuál es un conjunto de herramientas para el desarrollo de código abierto que proporciona bloques de procesamiento de señales [4]. Gracias a esta flexibilidad y adaptabilidad, los SDR pueden ser actualizados o reprogramados para diferentes aplicaciones o estándares de comunicación, lo que los convierte en una opción altamente versátil y eficiente en diversos entornos y escenarios de comunicación [5].

En contexto, las tecnologías basadas en radio definida por software han desempeñado un papel fundamental al brindar a los sistemas de comunicación una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación en función del canal, lo que les permite utilizar eficientemente los recursos limitados disponibles [6]. Además, se enfoca en el desarrollo de sistemas con diseños explícitos y eficientes. En este artículo se realiza un análisis de las tendencias y aplicaciones del radio definido por software en entornos agrícolas, a través de una exhaustiva revisión bibliográfica con un enfoque global que abarca América, Europa, Asia, África y Oceanía, considerando su proyección y desarrollo en sistemas de comunicaciones. Para llevar a cabo esta revisión, se seleccionaron documentos de reconocidas bases de datos bibliográficas como Springer Link, Elsevier, IEEEXplore, Google Scholar, aplicando un filtro de búsqueda mediante palabras clave y estableciendo criterios de inclusión para documentos publicados entre los años 2012 y 2023.

Posteriormente, se realizó una clasificación geográfica por continentes con el objetivo de analizar las tendencias del radio definido por software, así como la información relacionada con las aplicaciones específicas de esta tecnología en cada región.

II. ESTADO DEL ARTE

En esta sección, se analiza las investigaciones relacionadas con todo lo que tiene que ver con radio definido por software, comunicaciones inalámbricas, sistemas de redes, instrumentación electrónica, sensores industriales en un intervalo de tiempo. Se clasifica las descripciones de los panoramas en los 5 continentes con el objetivo de llevar un orden más adecuado, y revisar en que continente se habla más sobre los temas.

A. Panorama del Continente Asia

En [7] el año 2016 en la Universidad Yunnan MinZu en China, analizaron que los costos de energía en las redes de sensores inalámbricas heterogéneas, se desarrolló por medio del software de Matlab a través de un algoritmo en donde se obtiene que entre más baja sea la energía, más pequeña será la longitud promedio, mejor será el desarrollo de esta red modelo para un balance energético.

Por otra parte, en [8] Manado, Indonesia en el 2015 diseñó un radiotelescopio para un sistema de procesamiento de señales en frecuencias fijas; por medio del software de GNU Radio e implementado con un hardware USRP, proponiendo la detección de señales de frecuencias claramente entre los 322Mhz y los 406Mhz, los cuales utilizan normalmente los radiotelescopios estándares.

En Chengdu, China, desarrollan en el 2019 un nuevo algoritmo llamado EBCA (Algoritmo de agrupamiento de energía balanceado) fundamentado para una SDWSN (red de sensores inalámbricos definidos por software). Donde este algoritmo define y controla la radio comunicación para cada nodo según la distancia en función de cada nodo vecino hasta el nodo sumidero (grado de salida nulo y grado de entrada positivo) [9]. Jo, Riady Siswoyo et al, implementan en Malasia un sistema de monitoreo habilitado para el compost por medio de tecnologías (IoT) internet de las cosas en el 2019. Es un sistema que está desarrollado por medio de comunicación LoRa con un dispositivo MiFi, en donde los usuarios permiten monitorear los parámetros de forma remota [10]. En un informe que realizó la agencia de la protección ambiental en Madura; India, en el 2018 destacó que los vertederos año tras año se están viendo afectados por los desechos arrojados, esto ha llevado a un aumento en la contaminación. Entonces propusieron una opción en que los residuos que se tiraban a los vertederos fueran utilizables para un proceso de compostaje, gracias a un sistema de monitorización inteligente lo cual se proceden parámetros de forma remota por medio de la comunicación a internet [11]. También la agencia de protección ambiental en Bangluru, India con los investigadores R. Bhoir, R. Thakur, P. Tambe et al, buscaron en el 2020 una solución a la preocupación que está emitiendo el gas metano y otros contaminantes tóxicos debido a los desechos, entonces realizan una técnica para un compostaje inteligente lo cual distribuyen los desechos orgánicos, para lograr crear un compost, con el objetivo de monitorear la temperatura, la humedad y el nivel del agua controlando sus parámetros, a un futuro contrastar la contaminación de desechos orgánicos [12].

Se realizaron estudios en Turquía, en donde se define que las proporciones de combinación de composiciones óptimas para el compostaje de estiércol de ganado, es de un 60% y un 40% desechos de invernaderos, lo cual permite el proceso de temperatura y la descomposición de materias orgánicas que dan como resultado una mezcla óptima para un proceso de compostaje, todos estos fueron demostrado en el 2014 [13]. X. Bai, Liu, M. Cao et al, propone en China el despliegue de un esquema colaborativo en la estimación y actuación en redes inalámbricas con sensores y actuadores en la industria agrícola. Donde realizan un esquema propuesto por medio de un filtro Kalman para mejorar la transmisión de datos en

múltiples tasas para la eficiencia energética de una red inalámbrica en julio del 2017 [14].

En la Universidad de Correos y Telecomunicaciones en Pekín en diciembre del 2017 se realizaron simulaciones, propuestas por un algoritmo de eficiencia energética para la capa de energía y la radio de comunicaciones con ajuste dinámico, con nodos de capas de mayor energía por lo cual tiene la propiedad de transmitir datos a la hora de equilibrar un consumo de energía, en comparación con la mayoría de los algoritmos existentes, dando como resultado una eficacia más principal [15]. En Bangalore, India. Realizan la caracterización de canales inalámbricos hacia la agricultura, aplicado a un tratamiento conforme a simulaciones en diciembre del 2020. Usando DGE (Radio definido por Software) con el software GNU Radio, herramienta donde define formatos de modulación de parámetros del sistema RF para a un futuro realizar escenarios en tiempo real, con la configuración de hardware adecuado [16]. Venkatasreehari, R. Chakravarthi, M. Kalyanse dan a conocer un proyecto en donde el objetivo es reducir los parámetros industriales que provocan contaminación al medio ambiente en Kanyakumari, India en julio del 2014. Por medio de una monitorización de manera eficiente a través de la interfaz gráfica de LabVIEW mediante el uso del sistema GSM para la transferencia de información [17].

En [18] el 2020 en la India, diseñaron y ensamblaron el “Agribot”, es un Bot que realiza todas las operaciones multipropósitos agrícolas, conectado por medio de una red Wifi, para obtener una monitorización adecuada, con el objetivo de ahorra los métodos de cultivos tradicionales que consume mucho tiempo manualmente al agricultor. Se ha visto que en los últimos años se ha realizado investigaciones hacia la tecnología agrícola e industrial, J. Ying, X. Zhang, Y pan et al, en China diseñan y desarrollan una monitorización de humedad y temperatura en múltiples nodos en edificios industriales con el fin de obtener una precisión en los parámetros a un bajo consumo de energía a un bajo costo [19]. En el 2020 en la India, desarrollan un nuevo modelo implementado por IoT, aplicado en tres fases principalmente funcionales, donde la innovación a desarrollar es un sistema de monitoreo para la adquisición de parámetros del suelo como lo es la humedad y el PH en tiempo real, lo cual ayuda en el rendimiento de los cultivos y disminuya el desperdicio de los fertilizantes [20].

En Guiyang China en abril del 2020, se proyectaron a formar un centro de datos hacia la “gran agricultura”, para mejorar el sistema de servicios de información agrícola para compartir en internet y fabricar una plataforma hacia la nube para intercambiar y compartir datos realizando análisis multidimensional [21]. En Coimbatore, India en [22] marzo del 2015, propone realizar por medio del procesamiento de imágenes, la eliminación de la mala hierba que hay en un cultivo de campo, en donde construyen un robot para la toma de imágenes de un segmento de cultivo y ubicar la maleza en ciertas coordenadas presentes. Las imágenes obtenidas por medio de la cámara son comunicadas a través del módulo XBee hacia el robot para ubicar la coordenada en donde se encuentra la maleza para cortarla. W. Sensor, N. Lijun, Y. Zhang realizan una conferencia en Nagoya, Japón en el 2017, propone un diseño de un sistema de monitoreo ambiental para

un invernadero fundado en una red de sensores inalámbricos, con la ventaja de una estructura simple, bajo costo y confiable en comparación con la tecnología de monitoreo de cable existente. Utilizando como sensor de temperatura y humedad SHT11 y el sensor de intensidad de Luz BH1750 para el monitoreo de variables, también el microprocesador CC2530 y el software LabVIEW como interfaz gráfica [23].

En Indore, India utilizaron en el 2012 un sistema de una red de sensores sin cable de interconexión llamado “Wireless Sensor Network (WSN)” con el módulo de National Instruments con la ayuda de la plataforma del Software de LabVIEW. Con el objetivo de solucionar un monitoreo remoto en niveles de temperatura y humedad en diferentes áreas de una planta de fabricación de montajes de instrumentos electrónicos [24]. En el 2018 en Batman, India por medio de R. Hudhajanto, N. Fahmi, E. Prayitno et al. Implementaron un protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 para un sistema de monitoreo en tiempo real, con el medio ambiente a través de redes de sensores inalámbricos, gracias a un microcontrolador Arduino. Se recopilaron los datos para ser sincronizados en la nube y guardados en una base de datos a través de MySQL utilizando IoT [25].

W. Sung, C. Sung, C. Hsiao utilizan el concepto Internet de las cosas (IoT), lo cual establecen un sistema de monitoreo para el entorno hogareño, a través del módulo de red inalámbrico (NRF24L01) donde recibe información en múltiples módulos de sensores, incluyendo humedad, brillo, gas metano y temperatura por lo cual almacena múltiples datos, que se combina con el Software MySQL para una base de datos personal hacia la nube, para controlar los módulos del entorno hogareño, esto fue presentado en el 2018 en Taichung, Taiwán [26].

En el 2020 en Chengdu, China, el software LabVIEW lo utiliza como plataforma para desarrollar una variedad de controles integrados a instrumentos de prueba para organizar un sistema de medición completamente automatizado. Su comunicación lo realiza a través de diferentes modos de conexión por medio de la sentencia DLL y el puerto RS232. Los datos obtenidos, se almacena en un base de datos de MySQL y después a una tabla de Excel son organizados en tiempo real para ser presentado en la interfaz gráfica de LabVIEW [27]. K. Swain, G. Santamanyu, A. Senati en el 2017 en China presenta un monitoreo de contaminación por medio de un microcontrolador en donde recolectan parámetros de temperatura, humedad y dióxido de carbono para subirlos a una base de datos por medio MySQL. Todo este proceso de seguimiento es diseñado a través de un sitio web por medio de una aplicación de Android para incrementar la flexibilidad y la confiabilidad [28]. En la Universidad de Seúl, Corea del Sur en el 2019 los autores. S. Park, T. Park, H. Park et al mejoraron el desarrollo de un sensor inalámbrico, que cumple con una interfaz estándar de comunicación entre un nodo sensor y un controlador a la velocidad de transmisión para los datos en un invernadero. Realizaron también con éxito el mejoramiento de una biblioteca de C++ llamada libgnode, para la transmisión de datos que trabajo a un 100% a una distancia de los 25m entre el nodo sensor y el controlador [29].

En [30] el 2020 en Delhi, India P. Kumar realiza la revisión de cada aspecto de la WSN, en donde analiza el

diseño de motas (diseño de nodos), lo cual son utilizados para fines de monitoreo, también centraron su exploración en una aplicación para la producción de cultivos al dominio agrícola. O. Iru, P. Ri, I. Frp, plantean una solución basada en la nube para mejorar el rendimiento y el tiempo de respuesta de la base de datos de un sistema grande o pequeño. Para el desarrollo de esta solución se combinó el MySQL y la nube para administrar y almacenar los datos. Esta propuesta de solución fue realizada en Daca, Bangladesh Asia, donde funciona mejor que con solo MySQL [31]. El diseño de un modelo de compostador automático fue un gran avance a un proceso de un tratamiento de compostaje basado por medio de la IoT (Internet de las Cosas), fue realizado en Malasia por medio de Y. Pratama, E. Ariyanto, S. Karimah en donde los datos obtenidos fueron procesados por medio de la lógica difusa para determinar la humedad óptima y la temperatura hacia el compostaje, según los resultados este prototipo mejora la creación del compost en 14 días más rápido que a 33 días que es lo que tradicionalmente se demora [32]. Los nuevos desarrollos de las tecnologías de comunicación se enfocan en cuanto a la agricultura inteligente, donde en Wuhan, China los autores J. Yang, M. Liu, J. Lo et al en 2017 generan un enfoque para monitorear el entorno agrícola con tecnología M2M y IoT. Para obtener información sobre una base de datos ambientales como la humedad, temperatura e intensidad de iluminación y finalmente, extraen esa información para que sea utilizada en una gran cantidad de datos de detección para la tecnología big data y algoritmos de aprendizaje automático [33].

En Malasia, Lumpur del 2016 los autores J. Muslimin, A. Asnawi, A. Ismail et al, proporciona la idea de un transceptor basado en SDR con un sistema de modulación digital por medio de USRP y GNU Radio, con la intención de proporcionar como idea una plataforma altamente desarrollable para un sistema de comunicación [34]. Las SDR tiene como objetivo implementar componentes, los cual las SDR se divide en dos partes como lo es en Software y Hardware. Lo cual M. Server en enero del 2021 en Turquía presenta como una alternativa de Hardware los receptores Aselsan, como un componente muy importante para manejar con la GNU Radio siendo el Software, lo cual juntos, desarrollan un campo de las comunicaciones inalámbricas. Donde diseñaron un entorno de trabajo flexible, fácil y rápido gracias a GNU Radio como interfaz gráfica [35]. Chuensiri et al. presentan un sistema híbrido de bomba de calor geotérmica controlado por un Sistema Adaptativo de Inferencia Basada en Redes Difusas (ANFIS) para mejorar la eficiencia energética y el rendimiento en el 2022, utilizando sensores y un nano-computador Raspberry Pi, el sistema ajusta el flujo de agua para optimizar el proceso de compostaje y la refrigeración. ANFIS mostró mejoras significativas en el rendimiento del sistema y reducción del consumo energético, con una eficiencia superior en la función de membresía triangular [36].

B. Panorama del Continente América

En el año 2015 se demostraron que los SDR (Radio definido por software) demuestran varias ventajas con respecto a las radios tradicionales, en donde también se demuestra una reducción de costos y reconfiguración de desarrollos en tiempo de comercialización. Dando una ventaja

a disfrutar ciclos de vida, para necesidades futuras ofreciendo un ancho de banda efectivo dando una mayor calidad de servicio y una mayor seguridad [37]. Por otro lado, en el 2021 en las vegas desarrollan y observan que las topologías adaptables con las capacidades basadas en el aprendizaje con la ayuda de SD-WSN móvil. Emplea la noción de subgráficos, lo que otorga solides grafica en las redes biológicas [38].

En Canadá, en el 2015 propusieron un nuevo IIoT (Internet Industrial de las cosas) especificado por medio de un Software SD-IIoT, donde desarrollan competencias esenciales y proponen una arquitectura nueva en los sistemas IIoT cimentados en las últimas innovaciones en la red, desarrollando un nuevo esquema apoyado por CoAP (Protocolo de aplicación restringida) y SDN para solucionar problemas de QoS (Calidad de Servicios) [39].

En Washington, DC demuestran una comprobación en los desafíos de la SDWSN (Redes de sensores inalámbricos definidas por software) en aspectos de la gestión de red, seguridad y aplicación de la internet de las cosas (IoT). Lo cual al presentarse desafíos contemporáneos y realizan esfuerzos en donde encuentran soluciones eficientes y efectivas para respaldar una SDWSN más fija, encomendad y energéticamente eficiente en diciembre del 2018 [40].

El proceso de análisis del flujo de características de información y trazabilidad en aceites y granos en EE. UU es un gran reto a las industrias, entonces J. Xu, J. Han, Z. Qi et al. Proponen el concepto de conector Blockchain e internet industrial a una aplicación de red de cadena de investigación hacia el campo para la trazabilidad de granos y aceites en noviembre del 2020[41].

En Texas, USA. Realizaron K. Dagnon, M. Pickens, un análisis de un diseño y validación para un sistema de compostaje automatizado llamado AMUCS, donde vieron que el proceso de los envases biodegradables es de un alto potencial en la crisis de los residuos de plásticos no biodegradables. También realizaron por medio de la biodegradación de polímeros biodegradables un compost utilizando celulosa microcristalina. Los cuales sus resultados para condiciones de compostaje controlado arrojó un 72,05% [42]. En un sistema de monitoreo electrónico para identificar las fases del compostaje en la Universidad El Bosque del año 2023, utilizan sensores LM35 y amplificadores TL0741 para controlar la temperatura en tiempo real, optimizando la producción de compost de alta calidad. Este sistema es preciso, eficiente y fácil de implementar, permitiendo una gestión mejorada de residuos orgánicos y sensibilizando sobre la sostenibilidad. La tecnología demostró ser una herramienta eficaz para enfrentar desafíos ambientales actuales [43].

Gangopadhyay y Zhai (2022) proponen CGBNet, un marco de aprendizaje profundo para la clasificación de compost. El marco automatiza la clasificación de abono verde y marrón para mantener proporciones óptimas de carbono a nitrógeno, mejorando la calidad del abono y reduciendo los residuos en vertederos. Utilizando redes neuronales convolucionales y aprendizaje por transferencia, CGBNet logra una precisión del 95 %, mejorando la eficiencia de la clasificación del compost y apoyando los esfuerzos de conservación ambiental [44]. Este artículo, escrito en Bogotá, D.C., Colombia, revisa 56 estudios sobre compostaje de residuos de granjas porcinas entre 2017 y 2022. Se identifican 14 categorías de análisis, destacando la

gestión de la mortalidad porcina y otros residuos orgánicos para mejorar la calidad del suelo y cumplir con regulaciones ambientales [45].

C. Panorama del Continente África y Oceanía

En el 2019 en Marruecos, se demuestra un tratamiento de residuos orgánicos diseñado por medio de un compostador, en donde convierte todo residuo a un residuo orgánico para obtener un maduro compost de alta calidad en 4 semanas, este sistema se basa en la automatización y optimización de los parámetros del compostaje reduciendo hasta un 80% de residuos por día siendo un prototipo validado en el campo [46]. En Sídney, Australia propone un concepto de un sistema inteligente más flexible y confiable para los agricultores en noviembre del 2020, con IoT conectado con sensores inalámbricos al servidor central, de acuerdo con la entrada de datos propuestos, recopilan esos datos al servidor central en tiempo real y con el servidor primario se asignan tareas a dispositivos particulares [47].

D. Panorama del Continente Europa

Se presenta en Heraklion, Grecia se describen el procedimiento de un sistema de tramite virtualizado en la nube, calificado para monitorear sin problemas de forma remota en múltiples procesos del compostaje y demás actividades a desarrollar en la agricultura esto fue demostrado en el 2016[48]. Un tema para tratar ha sido el proceso de reducción en los vertederos y el tratamiento de los residuos que se encuentran como un punto clave en la política de producción más amplia en el medio ambiente. Un estudio realizado en Berlín en el 2016 demuestra que el costo a calcular de la calidad del compostaje disminuyó de un 87% a 84% dependiendo del material y el rendimiento del compostaje, lo que se demuestra que el sistema de evaluación del compost es útil y sostenible para los países en desarrollo [49].

En España, Catalunya en el 2014 la universidad politécnica describe el desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN), con el fin de proporcionar datos que ayuden al control y la gestión del proceso del compostaje. También una descripción detallada de cómo se utilizó el protocolo del sistema inalámbrico de DMAC para obtener una baja latencia, su hardware y software y sus componentes de red [50]. Uno de los avances que se realizó en España en el 2014 para el monitoreo en el proceso de compostaje fue a través de una WSN (Red de sensores Inalámbricos), ya que el monitorear algunos parámetros del compostaje en tiempo real se necesitaba de los empleados de tiempo completo, pero con este avance se obtuvieron datos de medición de temperatura y humedad en tiempo real para múltiples puntos del material del compostaje, en un sistema Compo-ball [51]. Los autores G. Patrizi, A. Bartoloni, L. Ciani et al de Italia. Expone un diseño de un WSN demostrado con sensores alimentados con PV (Energía Fotovoltaica) de baja potencia y bajo costo, calificado para adquirir una base de datos para los parámetros del suelo en condiciones ambientales en el 2022. Utilizando sensores de humedad debido a la calibración y fiabilidad de costos. También proponen un DL (Aprendizaje Profundo) basado en LTSM (Redes de memoria a corto plazo) y un sensor virtual para adquirir los datos[52]. En París, Francia en una conferencia

del 2019 demostraron investigaciones con NFV (Virtualización de funciones de Red) con IoT a través de una función completa, en donde las funciones fueron radio hasta procesamiento de capacidades de nuevos servicios, donde también fueron aplicados en la instrumentación de IoT genéricos. Lo cual proporcionó pruebas de concepto a demostrar a cadenas de funcionamiento para servicios con capacidad eficaz de extremo a extremo, usando el software GNU Radio como implementación y ejecución [53].

En las instalaciones de una finca a las afueras de Italia en el 2018, describen como se utilizaron tecnologías aplicadas hacia el compostaje, dando como resultado del análisis la sostenibilidad ambiental, económica y energética de 5 plantas de compostaje, que utilizan diferentes tecnologías y matrices, con el objetivo de resolver problemas críticos como la eliminación de desechos de ganado y residuos de cultivo [54].

En Portugal, Lisboa en el 2012 los Ingenieros H. Marque, B. Borges, P. Ramos et al, diseñan un convertidor de potencia resonante en serie DC-DC empleado como un cargador de batería (5Vdc – 1A) sin contacto para un dispositivo electrónico móvil. El sistema se desarrolló por medio de una carcasa esférica sellada que abarca con sensores inalámbricos a una frecuencia de 150kHz, para la toma de variables como lo es la humedad y la temperatura para un proceso de compostaje en tiempo real [55]. Hoy en día la agricultura intensiva y las instalaciones de compostaje son fuentes antropogénicas de bioaerosoles. Entonces P. Douglas, D. Fecht, D. Jarvis explican que las poblaciones que están cerca de las instalaciones del compostaje entre 250m a 4000m están cerca de áreas urbanas, ya que se realizaron estudios de salud comunitario que tienden a estar cerca de emisiones de bioaerosoles que con los efectos del compostaje a un futuro mejoraría la salud a la población, todo este estudio fue realizado en Londres, Inglaterra [56].

El desarrollo de los laboratorios virtuales en este tiempo ha demostrado ser importantes para realizar un modelo de simulación. El objetivo propuesto por J. Guzmán en Almería, España en septiembre del 2020, explica el diseño de un modelo de simulación virtual flexible basado en JavaScript por medio de la web para un digestor anaeróbico (AD), con el objetivo de proporcionar una interfaz fácil donde pueda cualquier dispositivo acceder a la web y ver sus resultados del AD [57]. J. Pilegaard, J. Ole, G. Rune et al realizan en el 2015 en Dinamarca una investigación en el ámbito agrícola, lo cual describe los desafíos a suministrar para una buena cobertura de red suficiente para un diseño físico en entornos hostiles, en donde una toma de datos fue reemplazo manualmente, obteniendo datos por medio de una red de sensores inalámbricos de forma continua, actualizada y automática para el provisionamiento de un cultivo [58].

La investigación y el desarrollo para WSN (Red inalámbrica de sensores) está trabajando en soluciones viables para aplicaciones innovadoras, entonces en el 2020 en Irlanda se reconocen los beneficios de usar SDR gracias a G. O'Mahony, P. Harris, Murphy, en el análisis de datos WSN/IoT en donde utilizaron pruebas de inclusión concentrándose en introducir varios comandos usando el software Simulink o GNU Radio, basándose en el procesamiento de señales para una de las principales debilidades de una WSN a la aceptación del protocolo ZigBee

[59]. Estuvieron viendo que los sistemas de radio definidos por software sean de redes de acceso de próxima generación, en todo tipo de sistema de comunicación. Entonces en el 2015 en Croacia, I. Vitas, D. Simunic, P. Knezevic evalúan una SDR en los entornos de los hogares inteligentes relacionados para la monitorización a un entorno de vida saludable, lo cual evalúan los beneficios y deficiencias en el uso SDR. También desarrollaron diferentes protocolos de comunicación inalámbrica en cuestión de pruebas [60].

III. CONCLUSIONES

Diversas aplicaciones como la monitorización de parámetros ambientales en invernaderos, la detección de señales de frecuencia en radiotelescopios, el compostaje inteligente, el monitoreo de parámetros del suelo y el control de malezas han sido exploradas para mejorar la eficiencia y productividad en la agricultura e industria. Estas soluciones tecnológicas permiten un monitoreo y control precisos, lo que contribuye a la optimización de recursos y reducción de la contaminación. No obstante, persisten desafíos en la integración de tecnologías y estandarización de protocolos.

Se han implementado redes de sensores inalámbricos y sistemas basados en IoT para la adquisición y transmisión de datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones y el control de parámetros clave. Herramientas de software como Matlab, GNU Radio y LabVIEW, junto con algoritmos avanzados como el EBCA, el filtro Kalman y la lógica difusa, se utilizan para mejorar la eficiencia y precisión de estos sistemas. La comunicación inalámbrica, utilizando tecnologías como IEEE 802.15.4, es esencial para la transmisión eficiente y confiable de datos.

Los avances tecnológicos han demostrado su eficacia en la optimización de procesos agrícolas e industriales, incrementando la eficiencia energética, reduciendo la contaminación y mejorando la productividad. A pesar de estos logros, es necesario superar desafíos relacionados con la integración de diversas tecnologías, la optimización de la gestión de datos y la reducción de costos para maximizar los beneficios de estas innovaciones.

REFERENCIAS

- [1] “¿Qué es la radiocomunicación? - TeamVOX.” Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: <https://teamvox.com/que-es-la-radiocomunicacion/>
- [2] “Soluciones de Comunicación por Radio - Hytera LATAM.” Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.hytera.com/la/home.html>
- [3] “Radio Definido por Software.” Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: <https://telecomunicaciones.edu.ec/repositorio/articulos-blog/redes/radio-definido-por-software>
- [4] “Acerca de Radio GNU.” Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.gnuradio.org/about/>
- [5] B. R. G. Machado and A. M. Wyglinski, “Software-Defined Radio : Bridging the Analog – Digital Divide,” 2015.
- [6] J. Jagannath, N. Polosky, D. O. Connor, L. N. Theagarajan, and B. Sheaffer, “Artificial Neural Network based Automatic Modulation Classification over a Software Defined Radio Testbed Artificial Neural Network based Automatic Modulation Classification over a Software Defined Radio Testbed,” 2021, doi: 10.36227/techrxiv.16837429.v1.
- [7] L. Zhang, J. Qu, and J. Fan, “Topology evolution Based on the complex networks of heterogeneous wireless sensor network,” 2016, doi: 10.1109/ISCID.2016.187.

- [8] B. I. Supriyatno, T. Hidayat, A. B. Susksmono, and A. Munir, “Development of Radio Telescope Receiver Based on GNU Radio and USRP.”
- [9] 2019 IEEE 5th International Conference on Computer and Communications (ICCC). IEEE.
- [10] IEEE Malaysia Section. Industrial Electronics & Industrial Applications Joint Chapter and Institute of Electrical and Electronics Engineers, ISCAIE 2019 : 2019 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics : 27th-28th April 2019, Kota Kinabalu, Malaysia.
- [11] IEEE Electron Devices Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, and Vaigai College of Engineering, *Proceeding of the 2018 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) : June 14-15, 2018*.
- [12] R. Bhoir, R. Thakur, P. Tambe, R. Borase, and S. Pawar, “Design and Implementation of Smart Compost System Using IOT,” in *2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology, INOCON 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2020. doi: 10.1109/INOCON50539.2020.9298219.
- [13] R. Külçü and O. Yaldiz, “The composting of agricultural wastes and the new parameter for the assessment of the process,” *Ecol Eng*, vol. 69, pp. 220–225, 2014, doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.03.097.
- [14] X. Bai, L. Liu, M. Cao, J. Panneerselvam, Q. Sun, and H. Wang, “Collaborative actuation of wireless sensor and actuator networks for the agriculture industry,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 13286–13296, Jul. 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2725342.
- [15] IEEE Staff, *2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)*. IEEE, 2017.
- [16] A. V. Pedapudi, S. T. Kurapati, G. Narayanan, and D. G. Kurup, “Performance Analysis of Sensor Communications for Agriculture Systems using SDR Platform,” in *2020 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, ICRAIE 2020 - Proceeding*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020. doi: 10.1109/ICRAIE51050.2020.9358312.
- [17] IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, I. IEEE International Conference on Control, and K. D. ICCICT 2014.07.10-11 Kumaracoi, *International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICT)*, 2014 10-11 July 2014, Kumaracoi, Thuckalay, Kanyakumari Dist., Tamil Nadu, India.
- [18] S. Gupta, R. Devsani, S. Katkar, R. Ingale, P. A. Kulkarni, and M. Wyawhare, “IoT Based Multipurpose Agribot with Field Monitoring System,” in *2020 International Conference on Industry 4.0 Technology, I4Tech 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2020, pp. 65–69. doi: 10.1109/I4Tech48345.2020.9102637.
- [19] Institute of Electrical and Electronics Engineers and Shenyang shi fan da xue, *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems : ICPICS 2020 : Shenyang, China, July 28-30, 2020*.
- [20] Institute of Electrical and Electronics Engineers. Madras Section and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP) : 28th - 30th July 2020, Melmaruvathur, India*.
- [21] Y. Wang, “Research on construction and management of intelligent agriculture cloud platform,” in *Proceedings - 2020 International Conference on Computer Information and Big Data Applications, CIBDA 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2020, pp. 340–343. doi: 10.1109/CIBDA50819.2020.00083.
- [22] B. Nagaraj et al., *ICIIECS'15 : DRDO sponsored 2015 IEEE International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems : 19th and 20th March 2015 : proceedings*.
- [23] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics : ICCAR 2017 : 22 Apr - 24 Apr, 2017, Nagoya, Japan*.
- [24] R. Agrawal and S. Mohan, “Complete Industrial Solution for Automation in Temperature and Humidity Monitoring using LabVIEW.”
- [25] Polibatam (Organization), Institute of Electrical and Electronics Engineers. Indonesia Section. CSS/RAS Joint Chapter, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceedings of the 2018 International Conference on Applied Engineering (ICAE) : Batam, Indonesia, October 3-4, 2018*.
- [26] W. T. Sung, C. W. Sung, and C. Y. Hsiao, “Environment monitoring system based on architecture of IoT by wireless sensor network,” in *Proceedings - 2018 International Symposium on Computer, Consumer*

- and Control, IS3C 2018, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2018, pp. 330–333. doi: 10.1109/IS3C.2018.00090.
- [27] P. Du and H. Li, “Design of an Integrated Control System for Multiple Test Instruments Based on LabVIEW,” in *Proceedings - 2020 13th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, CISP-BMEI 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020, pp. 904–908. doi: 10.1109/CISP-BMEI51763.2020.9263658.
- [28] St. Peter’s College of Engineering and Technology, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Council of Scientific & Industrial Research (India), and Indian Council of Medical Research, *Proceedings of 2017 Third IEEE International Conference on Sensing, Signal Processing and Security (ICSSS 2017): May 4th and 5th, 2017: St. Peter’s College of Engineering and Technology, Avadi, Chennai, Tamil Nadu, India-600054*.
- [29] S. H. Park, T. Park, H. D. Park, D. H. Jung, and J. Y. Kim, “Development of Wireless Sensor Node and Controller Complying with Communication Interface Standard for Smart Farming,” *Journal of Biosystems Engineering*, vol. 44, no. 1, pp. 41–45, Mar. 2019, doi: 10.1007/s42853-019-00001-5.
- [30] P. Kumar and S. R. N. Reddy, “Wireless sensor networks: a review of motes, wireless technologies, routing algorithms and static deployment strategies for agriculture applications,” *CSI Transactions on ICT*, vol. 8, no. 3, pp. 331–345, Sep. 2020, doi: 10.1007/s40012-020-00289-1.
- [31] Jāhāngīranagara Bīśvabidyālaya. Department of Computer Science and Engineering, Jāhāngīranagara Bīśvabidyālaya, South Asian University, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Bangladesh Section, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2016 International Workshop on Computational Intelligence: 12-13 December, Department of Computer Science and Engineering, Jahangirnagar University, Dhaka, Bangladesh*.
- [32] Universitas Telkom, Multimedia University, M. IEEE Systems, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2019 7th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT): July 24-26, 2019, Kuala Lumpur, Malaysia*.
- [33] J. Yang, M. Liu, J. Lu, Y. Miao, M. A. Hossain, and M. F. Alhamid, “Botanical Internet of Things: Toward Smart Indoor Farming by Connecting People, Plant, Data and Clouds,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 23, no. 2, pp. 188–202, Apr. 2018, doi: 10.1007/s11036-017-0930-x.
- [34] J. Muslimin, A. L. Asnawi, A. F. Ismail, and A. Z. Jusoh, “SDR-Based Transceiver of Digital Communication System Using USRP and GNU Radio,” in *Proceedings - 6th International Conference on Computer and Communication Engineering: Innovative Technologies to Serve Humanity, ICCCE 2016*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2016, pp. 449–453. doi: 10.1109/ICCCE.2016.100.
- [35] M. Sever and B. Tavli, “Use of GNU Radio as a Validation and Visualization Tool in Communications Electronic Support Project,” in *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2020 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020. doi: 10.1109/SIU49456.2020.9302461.
- [36] S. Chuensiri et al., “Implementation of Adaptive Network-Based Fuzzy Inference for Hybrid Ground Source Heat Pump,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 21052–21069, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3361669.
- [37] J. P. Juul, O. Green, and R. H. Jacobsen, “Deployment of Wireless Sensor Networks in Crop Storages,” *Wirel Pers Commun*, vol. 81, no. 4, pp. 1437–1454, Apr. 2015, doi: 10.1007/s11277-015-2482-3.
- [38] S. Roy, R. Dutta, N. Ghosh, and P. Ghosh, “Adaptive motif-based topology control in mobile software defined wireless sensor networks,” in *2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jan. 2021. doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369601.
- [39] IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband 2015 Montreal, Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband 2015.10.04-07 Montreal, and ICUWB 2015.10.04-07 Montreal, *2015 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB) proceedings: Montreal, Canada, 4-7 October 2015*. IEEE, 2015.
- [40] “Software Define Wireless Sensor Networks Mangement and Security Challenges a review”.
- [41] J. Xu et al., “A Reliable Traceability Model for Grain and Oil Quality Safety Based on Blockchain and Industrial Internet,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142215144.
- [42] K. Dagnon, M. Pickens, V. Vaidyanathan, and N. D’Souza, “Validation of an Automated Multiunit Composting System,” *J Polym Environ*, vol. 22, no. 1, pp. 9–16, Mar. 2014, doi: 10.1007/s10924-013-0596-9.
- [43] J. S. Sánchez Gómez, A. M. Romero Arias, J. L. Padilla Cochoero, and N. Díaz López, “Sistema de monitoreo electrónico para la identificación de las fases del compostaje de los residuos orgánicos en la Universidad El Bosque,” *Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI*, Sep. 2023, pp. 1–11. doi: 10.26507/paper.3145.
- [44] S. Gangopadhyay and A. Zhai, “CGBNet: A Deep Learning Framework for Compost Classification,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 90068–90078, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3201099.
- [45] A. Matiz-Villamil, K. J. Méndez-Carranza, A. F. Pascagaza-Pulido, T. Rendón-Rendón, J. Noriega-Noriega, and A. Pulido-Villamarín, “Trends in the management of organic swine farm waste by composting: A systematic review,” *Heliyon*, vol. 9, no. 8, Elsevier Ltd, Aug. 01, 2023. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18208.
- [46] A. El Hiboui, M. Essaïdi, Y. Zaz, International Solar Energy Society, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceedings of 2019 7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*.
- [47] T. M. Bandara, W. Mudiyanse, and M. Raza, “Smart farm and monitoring system for measuring the Environmental condition using wireless sensor network - IOT Technology in farming,” in *CITISIA 2020 - IEEE Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications, Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2020. doi: 10.1109/CITISIA50690.2020.9371830.
- [48] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2016 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU)*.
- [49] Y. Van Fan, C. T. Lee, J. J. Klemes, C. P. C. Bong, and W. S. Ho, “Economic assessment system towards sustainable composting quality in the developing countries,” *Clean Technol Environ Policy*, vol. 18, no. 8, pp. 2479–2491, Dec. 2016, doi: 10.1007/s10098-016-1209-9.
- [50] O. Casas et al., “Wireless sensor network for smart composting monitoring and control,” *Measurement (Lond)*, vol. 47, no. 1, pp. 483–495, 2014, doi: 10.1016/j.measurement.2013.09.026.
- [51] M. López et al., “Intelligent composting assisted by a wireless sensing network,” *Waste Management*, vol. 34, no. 4, pp. 738–746, 2014, doi: 10.1016/j.wasman.2013.12.019.
- [52] G. Patrizi, A. Bartolini, L. Ciani, V. Gallo, P. Sommella, and M. Carratu, “A Virtual Soil Moisture Sensor for Smart Farming Using Deep Learning,” *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 71, 2022, doi: 10.1109/TIM.2022.3196446.
- [53] *2019 IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft)*. IEEE, 2019.
- [54] M. Pergola et al., “Composting: The way for a sustainable agriculture,” *Applied Soil Ecology*, vol. 123, pp. 744–750, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.apsoil.2017.10.016.
- [55] H. Marques, I. Member, B. Borges, P. Ramos, and A. Martins, “Contactless Battery Charger for Composite Humidity and Temperature Wireless Sensors.”
- [56] P. Douglas, D. Fecht, and D. Jarvis, “Characterising populations living close to intensive farming and composting facilities in England,” *Front Environ Sci Eng*, vol. 15, no. 3, Jun. 2021, doi: 10.1007/s11783-020-1332-z.
- [57] J. L. Guzmán and B. Joseph, “Web-Based Virtual Lab for Learning Design, Operation, Control, and Optimization of an Anaerobic Digestion Process,” *J Sci Educ Technol*, vol. 30, no. 3, pp. 319–330, Jun. 2021, doi: 10.1007/s10956-020-09860-6.
- [58] J. P. Juul, O. Green, and R. H. Jacobsen, “Deployment of Wireless Sensor Networks in Crop Storages,” *Wirel Pers Commun*, vol. 81, no. 4, pp. 1437–1454, Apr. 2015, doi: 10.1007/s11277-015-2482-3.
- [59] G. D. O’Mahony, P. J. Harris, and C. C. Murphy, “Analyzing using Software Defined Radios as Wireless Sensor Network Inspection and Testing Devices: An Internet of Things Penetration Testing Perspective,” in *GIoTS 2020 - Global Internet of Things Summit, Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jun. 2020. doi: 10.1109/GIoTSS49054.2020.9119606.
- [60] I. Vitas, D. Šimunić, and P. Knežević, “Evaluation of Software Defined Radio Systems for Smart Home Environments.”



David Alexander Galindo Barrera. Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta-Colombia (2024). Se ha destacado por su participación en el desarrollo de su proyecto de pregrado, ponencia internacional y artículos en el Semillero de Investigación en Instrumentación Electrónica (SIINE) y en el Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones (GIDET). Actualmente se desempeña como Ingeniero

en la empresa Massa Group.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0793-110X>.



Sergio Alexander Castro Casadiego. Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta-Colombia (2008), Magister en Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira San Cristóbal-Venezuela (2014), y Doctor en Ciencias de la Educación de la Universidad Simón Bolívar Cúcuta-Colombia (2025). Tiene amplia experiencia como docente de educación media, técnica y universitaria. Actualmente es

Docente de la Secretaría de Educación Municipal de Cúcuta y además se desempeña como Docente e Investigador del Departamento de Electricidad y Electrónica, siendo director del Semillero de Investigación en Instrumentación Electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander. Ha participado en grupos de investigación categorizados de la Universidad Francisco de Paula Santander y además es reconocido como Investigador Asociado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación- Minciencias.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0962-9916>.



Karla Cecilia Puerto López. Recibió el título de Ingeniera Electrónica en el año 2008 de la Universidad Francisco de Paula Santander en Cúcuta, Colombia. Es Especialista en Servicios y Redes de Telecomunicaciones del año 2010 y de Magister en Ingeniería en Telecomunicaciones en el año 2014, en la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Es Doctora en Educación de la Universidad Francisco de Paula Santander del año 2025. Ha participado como

investigadora en el Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones (GIDET) y en el grupo de Investigación y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada y Control (GIDMAC), ambos grupos de la Universidad Francisco de Paula Santander, siendo reconocida como Investigadora Asociada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación- Minciencias. Actualmente es Docente de tiempo completo y además directora del Departamento de Electricidad y Electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3749-676X>.



Dinael Guevara Ibarra. Recibió el título de Ingeniero Electricista en el año 1989 de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Es Especialista en Teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, Colombia (2000). Es Magister Scientiarum en Ingeniería de Telecomunicaciones (2006) de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, en Barquisimeto, Venezuela y el obtuvo el título de Doctor en Ingeniería (2012) desde la

Universidad Pontificia Bolivariana en Medellín, Colombia. Es fundador, investigador y director del Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones (GIDET) de la Universidad Francisco de Paula Santander, donde se ha desempeñado como director del plan de estudios del programa de Ingeniería Electrónica y director del Departamento de Electricidad y Electrónica. Actualmente es Docente Titular de tiempo completo del Departamento de Electricidad y Electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3007-8354>.