

## Discusión sobre el diseño del prototipo de una etiqueta óptica para la identificación de ganado vacuno en corrales

Laura Ximena Losada Chala<sup>1</sup>  
Walter Daniel León-Salas<sup>2</sup>  
Martin Diomedes Bravo Obando<sup>3</sup>

### Resumen

El campesino, a través de la identificación y rastreo de animales de granja, puede monitorear la salud, realizar un rastreo de contacto, analizar comportamientos y relaciones sociales. De este modo se puede recopilar, analizar datos y crear soluciones para la prevención de enfermedades o el estudio de movimientos e interacciones. Para dichos propósitos se desarrollaron tecnologías enfocadas en la localización, principalmente basadas en radiofrecuencia (RF). Ejemplos de estas son los sistemas de posicionamiento global (GPS) o las etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID).

No obstante, las tecnologías basadas en frecuencias ópticas también son alternativas, pues poseen ciertas características físicas que las dejan en posición de ventaja, respecto a las comunicaciones por radiofrecuencia. Análogo a RFID, el laboratorio tinyLab de la Universidad de Purdue ha propuesto una tecnología de identificación basada en comunicación óptica, su nombre es OFID (Optical Frequency Identification). Esta tecnología persigue el mismo propósito de RFID, pero utiliza celdas solares para transmisión y recepción de datos y las aprovecha para almacenar energía.

En el presente artículo de reflexión se ha establecido una discusión sobre el proyecto de investigación desarrollado entorno a OFID, en mencionado laboratorio. El trabajo consistió en el diseño del prototipo de una etiqueta óptica para la identificación de animales de granja de corral. La discusión a continuación se centra en la importancia de identificar animales, argumentar por qué OFID es una alternativa a RFID en la identificación de animales, contar acerca del procedimiento y reflexión sobre los resultados de investigación y, para finalizar, cuál es el futuro, desde el punto de vista del investigador, de OFID en el desarrollo de las áreas priorizadas por el departamento del Huila.

**Palabras Clave:** OFID, RFID, Comunicaciones Ópticas, Identificación, Rastreo, Animales de granja, Ganado Vacuno.

### Abstract

*The farmer, through the identification and tracking of farm animals, can monitor the health, perform a contact tracing, analyze behaviors and social relationships. In this way you can collect, analyze data and create solutions for the prevention of diseases or the study of movements and interactions. For these purposes, technologies focused on location were developed, mainly based on radio frequency (RF). Examples of these are global positioning systems (GPS) or radio frequency identification (RFID) tags.*

*However, technologies based on optical frequencies are also alternatives, since they have certain physical characteristics that give them an advantage over radio frequency communications. Analogous to RFID, the tinyLab laboratory at Purdue University has proposed an identification technology based on optical communication, called OFID (Optical Frequency Identification). This technology pursues the same purpose as RFID but uses solar cells for data transmission and reception and harnesses these to energy harvesting.*

*In the following reflection article, a discussion about the research project developed around OFID in the laboratory has been established. The work consisted of the design of a prototype of an optical tag for the identification of barnyard farm animals. The following discussion focuses on the importance of identifying animals, arguing why OFID is an alternative to RFID in animal identification, talk about the procedure and reflection on the research findings and finally, what is the future, from the point of view of the researcher, of OFID in the development of the areas prioritized by the department of Huila.*

**Keywords:** OFID, RFID, Optical Communications, Identification, Tracking, Farm Animals, Cattle.

## Introducción

La identificación y rastreo de animales de granja de corral, permite monitorear signos vitales, comportamiento, realizar rastreo de contacto e identificar relaciones con otros individuos del mismo rodeo (Leon-Salas, Fan, Hidalgo, Peleato, Pablo, 2020). Para estos propósitos se han desarrollado técnicas de identificación entre las que resalta RFID (Radio-Frequency Identification). RFID es una tecnología que a través de las ondas de radio identifica personas, animales u objetos (Homeland Security, 2009). Un sistema básico RFID se compone de un lector (antena), una etiqueta (posicionada sobre el objeto a identificar) y un sistema de procesamiento de datos.

Sin embargo, en las últimas tres décadas, las comunicaciones ópticas inalámbricas (OWC), las cuáles reciben y envían datos codificados, han pasado por procesos de transformación y crecimiento al punto de ser competentes y/o complementarias, en ciertas ocasiones, a las comunicaciones inalámbricas por radiofrecuencia (Ghassemlooy, Zvanovec, Khaligui, Popoola, Perez Soler, 2017). En ese sentido, análogo a RFID, existe OFID (Optical Frequency Identification), una tecnología de identificación de objetos, basada en frecuencias de luz. A diferencia de RFID, OFID hace uso de celdas solares para transmitir y recibir información de un lector óptico (Leon-Salas Fan, 2018). La transmisión de datos es posible gracias a la modulación de las emisiones de electro y fotoluminiscencia de las celdas solares (Leon-Salas Fan, 2018). Además, según los autores, la recepción se ha indagado en previos estudios. Un ejemplo ilustrativo es el trabajo de (Arfan Lakshminarayana, 2018) donde proponen un sistema subacuático con dos componentes principales: un transmisor que capta audio y un receptor que decodifica la señal recibida. El emisor es una fuente de luz conmutando a alta velocidad y sincronizada con una onda de voz a transmitir. El receptor se compone de un fotodetector, un panel solar que recibe y convierte la señal óptica en eléctrica (Arfan Lakshminarayana, 2018).

De acuerdo con (Leon-Salas Fan, 2018), añadido a las tareas de transmisión y recepción, las celdas solares son reutilizadas para almacenar energía, función básica de cualquier celda solar. Dependiendo de las características de la celda solar, los dispositivos OFID pueden ser energizados por luz ambiente en aplicaciones exteriores; por luz artificial en aplicaciones de interiores; y en casos de ausencia de luz, llevarían una batería o super-capacitor para continuar transmitiendo datos (Leon-Salas Fan, 2018). Concluyendo, la identificación por frecuencias ópticas emplea celdas solares para tres propósitos: transmisión, recepción y almacenamiento de energía.

OFID, además de ser una alternativa para la identificación

de animales, puede ser empleada en otras aplicaciones IoT (Internet of Things) como es el caso del rastreo y monitoreo de alimentos perecederos, rastreo de grandes objetos (containers) y monitoreo de variables ambientales (como contaminantes de agua y aire) (Leon-Salas Fan, 2018).

OFID fue creada por el Walter Daniel Leon-Salas, PhD. y Xiaozhe Fan, PhD., e introducida al mundo académico en el año 2018. Además, Leon-Salas es el director del laboratorio TinyLab del Instituto Politécnico de la Universidad de Purdue, donde esta tecnología fue desarrollada.

En el marco de la convocatoria 868 Nexo Global Huila, se realizó una pasantía de investigación en el mencionado laboratorio, origen de OFID, bajo la mentoría Walter Daniel León-Salas, PhD. El trabajo de investigación consistió en el diseño y fabricación del prototipo de una etiqueta óptica que establece comunicación con un lector óptico, basado en una cámara, para la identificación de animales en corrales, especialmente de ganado vacuno. A diferencia de OFID, este diseño emplea celdas solares para solo dos propósitos: recepción de información y almacenamiento de energía; mientras la transmisión se hace a través de un LED Driver que controla el envío de datos en forma de pulsos (Modulación On-Off Keying).

El procedimiento se ejecutó en cuatro fases: fase 1 de reconocimiento de conceptos y revisión de literatura; fase 2 de diseño y fabricación de la primera versión del prototipo de la etiqueta; fase 3 de diseño y fabricación de la segunda versión del prototipo de la etiqueta; y fase 4 de obtención de resultados. A lo largo del desarrollo de las etapas se elaboraban reportes periódicos como prueba del avance de la investigación. El diseño de placas de circuito se construyó en el software KiCad; la programación de los sistemas se realizó en lenguaje C.

El objetivo de este artículo de reflexión es generar una discusión acerca de la importancia de identificar animales de granja; describir las posibles formas de realizar identificación y proponer y demostrar en qué sentidos OFID es una alternativa viable a las tecnologías basadas en radio frecuencias utilizadas hoy en día para identificación. Otra reflexión va orientada a la discusión de resultados obtenidos y su relación con el estado del arte de la tecnología. Un último argumento se centra en los siguientes pasos de la investigación y qué futuro tiene en la solución de problemáticas de las áreas de desarrollo priorizadas por el departamento del Huila.

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Surcolombiana. Semillero de Investigación en UNITCOM (Unificación de las Telecomunicaciones), Universidad Surcolombiana. tinyLab. Polytechnic Institute, Purdue University. Correo electrónico: u20161148652@usco.edu.com

<sup>2</sup> Tutor Universidad de Purdue.

<sup>3</sup> Tutor Universidad Surcolombiana

## Discusión

### Importancia de identificar animales de granja en corrales

Identificar y rastrear animales de granja de corral resulta útil por los siguientes motivos:

**Monitoreo de salud animal:** La salud de los animales de granja debe ser monitoreada en aras de prevenir enfermedades y complicaciones que causen la muerte de los individuos. Una pérdida, ya sea en la industria ganadera, avícola o porcícola, representa pérdidas económicas de inversión en cuanto a adquisición, alimentación y mantenimiento (Bouazza, Zerzouri, Bouya, Charoub, Hadjoudja, 2017) Los pollos, por ejemplo, suelen verse afectados por el virus de la gripe aviar. Este virus se clasifica en dos categorías: virus de la gripe aviar de baja patogenicidad (IABP) y virus de la gripe aviar de alta patogenicidad (IAAP). Ambos se contagian rápidamente en las manadas de aves de corral, pero la última categoría causa mortalidad de hasta el 90% o 100% (Centers for Disease Control and Prevention, 2017). En el año 2015, por otra parte, la causa principal de deceso en vacas en Estados Unidos fue por problemas respiratorios con un porcentaje del 23.9% (USDA, 2017). Estos son ejemplos que representan una problemática que requiere una necesidad de llevar control sobre la salud de los animales de campo.

**Rastreo de contacto:** En época de pandemia, el rastreo de contacto es fundamental para identificar a las personas que estuvieron en contacto con un paciente positivo COVID-19. El Centro de Control y Prevención de Enfermedades en su “Guía para el Rastreo de Contactos” enuncia que “el proceso de rastreo previene la transmisión de enfermedades al separar a las personas que tienen la enfermedad de las que no la tienen” (CDC, 2021). Por lo tanto, identificar una red de contactos en un mundo globalizado no presenta mayor dificultad, puesto que en su mayoría las personas portan dispositivos celulares que funcionan como identificadores y/o rastreadores. No obstante, en animales se puede seguir el mismo proceso sí y solo sí se utiliza alguna tecnología de tipo identificador.

**Comportamiento e identificación de relaciones sociales:** En el sector avícola, se necesita analizar cómo los pollos forman relaciones, principalmente para propósitos genéticos. Lori Marino en su artículo: “A review of cognition, emotion, and behavior in the domestic chickens” explora áreas como el aprendizaje social y el autocontrol a través del análisis de datos de personalidad en pollos (Marino, 2017). De otra manera, John Brunquell piensa que “los bajos niveles de estrés están relacionados con una alta productividad de huevos”. Por lo tanto, es crucial analizar los sis-

temas circulatorio y respiratorio junto con las interacciones sociales de los pollos para tener control sobre la productividad (Brunquell, 2018)

Por las razones anteriores, resulta conveniente utilizar tecnologías de identificación de animales para monitorear su salud y realizar un análisis de sus comportamientos. Los seres humanos hacen uso del dispositivo más frecuentado y portado: el celular. Sin embargo, los animales no tienen cómo sostener un identificador, de ahí la necesidad de desarrollar etiquetas para dicho propósito.

### ¿Cómo realizar identificación de animales?

En el campo, la forma más común de identificar vacas, por ejemplo, son las etiquetas de oreja que proveen identificación visual por un código predeterminado (Bouazza, Zerzouri, Bouya, Charoub, Hadjoudja, 2017). Sin embargo, en los últimos años se han utilizado otras técnicas más robustas que hacen uso de radio frecuencia. La primera de ellas es el GPS (Global Positioning System). De acuerdo con la información del gobierno oficial de los Estados Unidos, “GPS es una empresa estadounidense que proporciona a los usuarios servicios de posicionamiento, navegación y temporización”. (GPS.GOV, 2021). Con este sistema se logra posicionar a los animales y rastrear los lugares en los que han estado.

La segunda técnica es RFID. Con ella se puede identificar al animal, por medio de una comunicación establecida entre un lector y una etiqueta, posicionada sobre el animal. Algunas etiquetas tienen sensores para leer variables como temperatura. Una vez leídas, la información es analizada.

### OFID como alternativa a tecnologías de identificación basadas en radiofrecuencia

El mundo de las comunicaciones por radiofrecuencia enfrenta un problema de congestión en el espectro de radio por el aumento del tráfico de internet, de la migración de servicios hacia redes 4G/5G y del auge y continuo crecimiento de las aplicaciones IoT incorporadas a la vida de los seres humanos (Ghassemlooy, Zvanovec, Khaligui, Popoola, Perez Soler, 2017) Esta situación conlleva a que las comunicaciones se tornen lentas y en el caso de aplicaciones IoT, a desarrollar altos niveles de interferencia electromagnética, rendimientos más lentos junto con exigencia de mayores tasas de velocidad de transmisión (Leon-Salas Fan, 2018). Adicionalmente, las comunicaciones por RF presentan otros inconvenientes como: ancho de banda regulado, menor cobertura, velocidad de transmisión de datos baja a media (Mbps a pocos Gbps) y alto costo de implementación (Grandes, 2016).

En términos de identificación, una limitación de utilizar tecnologías por radiofrecuencia es el corto rango de escaneo de identificación, es decir que, para identificar a cierto animal, la etiqueta óptica debe posicionarse cerca al lector (León-Salas, comunicación personal, 26 de agosto de 2021). Lo anterior se debe a lo siguiente: RFID puede clasificarse en activo y pasivo. (Ohkubo Takiishi, s.f) describen que en modo pasivo la etiqueta envía un código identificador usando corriente eléctrica que es inducida en su antena por una señal RF que emite el lector. Y en activo, la etiqueta tiene su propia fuente de alimentación para generar la señal identificadora que transmite hacia el lector. Los autores concluyen entonces que RFID pasivo necesita que la distancia entre lector y etiqueta sea menor y en modo activo las distancias de comunicación pueden llegar a ser mayores ya que no existe esta necesidad de aproximación. En esta última, el consumo de potencia es elevado pues la etiqueta porta su propia fuente de alimentación para la generación de la señal ID (Identifier).

Según la NASA “la migración hacia comunicaciones ópticas proveerá múltiples beneficios a las misiones de los usuarios de SCaN (Space Communications and Navigation program)”. Uno de estos beneficios es que las terminales de vuelo de las comunicaciones ópticas reducen el tamaño, peso y la potencia de los usuarios ya que son más pequeños, livianos y consumen menos potencia que los equipos basados en comunicaciones por radio (NASA Monaghan, 2018).

A fin de sobrellevar las limitaciones de las comunicaciones por radiofrecuencia, resulta necesario plantear, estudiar y desarrollar investigación en tecnologías alternativas que desempeñen la misma función de identificación que posee RFID. Una de estas soluciones es OFID, basada en comunicaciones ópticas inalámbricas. Las comunicaciones ópticas inalámbricas ofrecen, entre muchas otras ventajas, tasas de velocidad superiores a RF (en el orden de Gigabits por segundo), espectro disponible y no regulado, mayor rango de cobertura, alivio de congestión de espectro, componentes pequeños de bajo costo y potencia y no interferencia electromagnética (Grandes, 2016), convirtiéndola en una perfecta alternativa a RFID.

## **Recuento del procedimiento y reflexión sobre resultados de la investigación**

El proyecto de investigación se enfocó en el desarrollo de un prototipo básico de una etiqueta óptica, sin embargo, no se empleó el concepto de OFID, pues es un estudio más complejo que requiere de estudios de posgrado. En su lugar, el trabajo asignado se especializó en una tarjeta de circuito impresa que emplea el mismo concepto de comunicación

óptica, de una forma más sencilla, pero que da paso a entender cómo es el funcionamiento de la tecnología OFID. Si el proyecto macro está planeado para utilizar dispositivos OFID, es decir, que manejan celdas solares para transmisión, recepción y almacenamiento de energía; la tarea del pasante fue utilizar celdas para recepción y almacenamiento, pero un LED Driver para transmisión. Además, por ser un estudio aún en desarrollo, el primer prototipo trabajado se pensó para la identificación de vacas. El motivo es que una vaca, por su tamaño, acepta etiquetas más grandes y esto, en efecto, facilita el diseño y fabricación de la etiqueta.

En primer lugar, para desarrollar la tarjeta, se realizó un estudio sobre microcontroladores. Se trabajó el software y hardware de sistemas embebidos que contenían micro controladores tales como el MSP430 de Microchip, el SAMD20 y SAM2L1 de ATMEL. Esta revisión de literatura permitió tener una visión más amplia sobre el funcionamiento de los microcontroladores, principalmente de su programación, ya que los ambientes de programación manejados (IAR Embedded Workbench y Atmel Studio) habían sido poco explorados durante el pregrado.

La segunda fase fue la más importante porque consistió en el diseño de la primera versión de la tarjeta de circuito impresa de la etiqueta. Cabe aclarar que, por ser una tecnología nueva, en estudios previos, se presentó OFID como una alternativa a RFID y se mencionó un poco sobre futuras aplicaciones. En este trabajo de investigación se desarrollan los indicios de la aplicación de identificación y rastreo de animales de granja.

Dicho esto, el prototipo se basó en la primera versión de un dispositivo OFID. La tarjeta cuenta con un microcontrolador para controlar las transmisiones de datos, una etapa de captación y almacenamiento de energía, un receptor que procesa la información que recibe de la celda solar y dos LED drivers que son energizados por un DC-DC converter programable por I2C (Inter-Integrated Circuit). Lo novedoso de esta última etapa es que es posible programar/regular la intensidad de luz con que se transmite. Esto proporciona una ventaja ya que en ambientes de poca luz o a distancia mayores, cuando la señal se empieza a atenuar, se aumentaría la intensidad y sería más sencillo para el lector óptico detectar el punto de luz que transmite. Con respecto a la estructura del diseño, el prototipo lleva a los lados dos celdas solares flexibles para construir la etiqueta en forma de collar que rodea el cuello de la vaca.

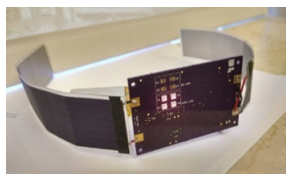


Fig. 1. Primer prototipo de la etiqueta óptica



Fig. 2. Ejemplo de cómo se posiciona la etiqueta en la vaca (BRUNOTICIAS, 2018)

En la capa superior de la tarjeta se ubicaron las etapas principales mientras que en la inferior se ubicaron los arreglos de LEDs que transmiten la información. Las celdas solares también están acomodadas de forma que puedan recibir la luz ambiente o artificial que proviene del lector óptico. Durante la fase de pruebas de transmisión se tomaron datos de distancia, para conocer a qué longitud se atenúa la señal que llega al receptor y durante la prueba de carga de la batería, se hicieron mediciones para comprobar que la celda solar sea capaz de cargar la batería.

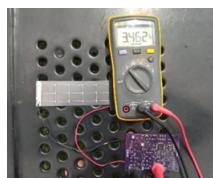


Fig. 3. Experimento de prueba para la etapa de almacenamiento de energía

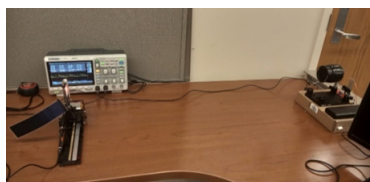


Fig. 4. Experimento de medición de amplitud de señal de salida del receptor, a diferentes distancias.

Los resultados se clasifican en tres fases: transmisión, almacenamiento de energía y recepción. La transmisión se

estableció con éxito y de allí se tomaron datos para análisis y planteamiento de mejoras futuras al prototipo. El almacenamiento de energía funcionó correctamente, generando un voltaje suficiente para que la batería se cargue. Sin embargo, la etapa de recepción, donde interviene nuevamente la celda solar, aún está en experimentación.

Con el propósito de mejorar el diseño del prototipo, se planea reemplazar el microcontrolador por una FPGA (Field Programmable Gate Array). El uso de ésta última es interesante pues proporciona mayor potencia o velocidad de procesamiento (Hopkins, 2021). Entonces, en la tercera fase de la investigación se diseñó una tarjeta de circuito compuesta por el diseño del receptor y el almacenador de energía de la tarjeta anterior. La transmisión la hace una pequeña placa FPGA de código abierto: UPDUINO (tinyvision.ai, 2021)

### Pasos futuros de la investigación

Ambas fases del estudio requieren revisiones y mejoras. La tercera fase es el comienzo del rediseño de la fase 2. En ese sentido, lo que se busca es migrar de microcontrolador a FPGA. A continuación, se mencionan algunos futuros pasos de los diseños: Establecer comunicación bidireccional con el lector óptico, basado en una cámara. Se busca también cambiar algunos componentes por otros con características mejores. Mejorar la estructura del prototipo para que los animales, como el ganado vacuno, no sufran incomodidad al portar el identificador. Finalmente, reducir el tamaño de las placas para aplicar la misma tecnología a otros animales de granja como pollos o cerdos.

### OFID en el departamento del Huila

Según la página web de la gobernación del Huila, “la economía del departamento del Huila se basa principalmente en la producción agrícola y ganadera, la explotación petrolera y el comercio” (Gobernación del Huila, 2021). Para mejorar la producción ganadera es fundamental implementar tecnologías que permitan un mejor desarrollo de la economía huilense. OFID, por sus características, supliría perfectamente las necesidades de monitoreo y rastreo de vacas en el sector ganadero. La identificación por frecuencias ópticas es una oportunidad para tecnificar la industria ganadera huilense.

Además de la ganadería, la página de la gobernación del Huila cita que La acuicultura es uno de los sectores más dinámicos del Departamento del Huila registrando un crecimiento del 9 al 10% promedio año, según el resultado de las evaluaciones agropecuarias por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; siendo el Huila el principal pro-

ductor piscícola con el 39% de la producción nacional representado en 64.641 TM... Este dato convierte al Huila en el principal productor de pescado a nivel nacional, principalmente de tilapia fresca (Gobernación del Huila, 2020). El reto asumido por la gobernación es continuar fortaleciendo el sector piscícola. Para cumplir con el reto, la tecnología es pieza clave. Utilizar comunicaciones ópticas para el control de calidad de los peces, es una propuesta considerable. De hecho, las comunicaciones ópticas bajo el agua han sido exploradas por investigadores del laboratorio tinyLab. Aprovechando las ventajas de la óptica sobre las ondas de radiofrecuencia bajo el agua, (la luz presenta mejor rendimiento bajo el agua ya que, las ondas de radio tienen baja resiliencia al agua y se propagan pobremente en ella (RF Ingenium Antenas, 2013)) se presentó una comunicación que estudia la radiación de foto luminiscencia de LEDs. El experimento concluye que aplicaciones de comunicación de rango corto bajo el agua pueden llegar a alcanzar velocidades de transmisión de uno pocos kilobits por segundo (Leon-Salas, Fan, Hidalgo, Peleato, Pablo, 2020). Los indicios de resultados de este último estudio amplían el rango de operación futura para la identificación por comunicaciones ópticas. No se puede descartar la aplicación a la identificación y control de calidad en cultivos de peces.

## Conclusiones

La identificación de animales en el campo es crucial para el monitoreo de la salud, rastreo de contactos y análisis de comportamiento e interacciones. En vacas, por ejemplo, aparte de la identificación convencional, eartags, existen otras tecnologías basadas en radiofrecuencia como el GPS y RFID. No obstante, las frecuencias de radio, por sus características físicas, presentan inconvenientes a nivel de rendimiento principalmente porque su rango de identificación es limitado y el consumo de potencia es elevado. En el área de las comunicaciones ópticas inalámbricas (OWC), análogo a RFID, se halla OFID. Esta última tiene características ventajosas respecto a RFID. Entre ellas están: mayor rango de cobertura, mayor velocidad de transmisión y menor consumo de potencia convirtiéndola en una alternativa a la identificación por frecuencias de radio.

En este trabajo de investigación se exploró el concepto de OFID a través del diseño de un prototipo simple de una etiqueta óptica. Se realizaron dos versiones. En la primera se testearon las fases de transmisión y captación de energía mientras que recepción no fue posible. En el segundo prototipo se probó la fase de transmisión, pero debido al tiempo, almacenamiento y recepción faltaron por experimentar. Se espera, por lo tanto, que estos diseños puedan ser mejorados y sus fases testeadas en su totalidad.

Para finalizar, se propusieron posibles aportes al desarrollo de las áreas priorizadas por el departamento del Huila, de lo que se espera poder aportar en el futuro.

## Agradecimientos

La pasantía de investigación fue realizada bajo la supervisión y tutoría de PhD Walter Daniel Leon-Salas, de la Universidad de Purdue. A quien quiero expresar mis más profundos agradecimientos por todas las enseñanzas, apoyo, dedicación y guía constante para hacer posible la culminación de este proyecto satisfactoriamente.

También quisiera agradecer a MsC Martín Diomedes Bravo Obando, mi tutor en la Universidad Surcolombiana, por ser mi instructor y formador en los conocimientos base, importantes para el desarrollo de mi pasantía internacional.

## Referencias Bibliográficas

- Arfan, M., Lakshminarayana, C. (2018). VLC for underwater operations: Li-Fi solution for underwater short-range communication. IEEE. doi:10.1109/ICECCOT43722.2018.9001519
- Bouazza, H., Zerzouri, O., Bouya, M., Charoub, A., Hadjoudja, A. (2017). A Novel RFID System for Monitoring Livestock Health State. International Conference on Engineering and Technology (ICET), 4. doi:10.1109/ICEngTechnol.2017.8308159
- Brunnquell, J. (2018, marzo 23). Managing Bird Behavior in Organic Production Systems. Retrieved from Zootécnica Internacional: <https://bit.ly/3sN0T25>
- BRUNOTICIAS. (2018). Prueban colocar rastreadores GPS...a las vacas. p. 1.
- CDC. (2021, febrero 25). Rastreo de contactos - Covid-19. Retrieved from Centros para el control y Prevención de enfermedades: <https://bit.ly/3zkMOLL>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2017). Influenza (Flu). Retrieved from Bird Flu in Birds: <https://bit.ly/38iwD5w>
- Ghassemlooy, Z., Zvanovec, S., Khaligui, M.-A., Popoola, W., Perez Soler, J. (2017, December). Optical wireless communication systems. *Optik*, 151, pp. 1-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.11.052>
- Gobernación del Huila. (2020, 07 27). Gobernación fortalecerá Cadena Piscícola del Huila. Retrieved from Huila Crece: <https://bit.ly/3mxSw9h>
- Gobernación del Huila. (2021, febrero 2017). Economía. Retrieved from huila.gov.co: <https://bit.ly/3sOEam4>

GPS.GOV. (2021, 02 22). What is GPS? Retrieved from Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics: <https://www.gps.gov/systems/gps/>

Grandes, B. L. (2016). Estudio del Estado del Arte de los sistemas de comunicaciones por luz visible. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. Retrieved from <https://bit.ly/3sPPe2q>

Homeland Security. (2009, July 06). Radio-Frequency Identification (RFID): What is it? Retrieved from Official website of the Department of Homeland Security: <https://bit.ly/3gABHhA>

Hopkins, J. (2021, abril 14). TOTAL PHASE. Retrieved from Comparing FPGA vs Microcontroller - Which is Best for Your Needs? <https://bit.ly/3yuTYff>

Leon-Salas, W. D., Fan, X. (2018). Exploiting Luminescence Emissions of Solar Cells for Optical Frequency Identification. *IEEE*, p. 5.

Leon-Salas, W. D., Fan, X., Hidalgo, J., Peleato, B., Pablo, J. M. (2020, octubre 12-14). Modulation of LED Photoluminescence for Underwater Optical Communications. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 5. doi:10.1109/ISCAS45731.2020.9180880

Marino, L. (2017). Thinking chickens: a review of cognition, emotion, and behaviour in the domestic chicken.

NASA, Monaghan, H. (2018, June 15). National Aeronautics and Space Administration. Retrieved from Optical Communications Benefits: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/opticalcommunications/benefits/>

NEDAP. (2021, Agosto). Identification (ISO) - Proven and unmatched electronic animal identification in all your automation applications. Retrieved from NEDAP: <https://bit.ly/3gwzYm4>

Ohkubo, S., Takiishi, K. (s.f). Technologies to Reduce Power Consumption of Active RFID Readers. *NTT DoCoMo Technical Journal* Vol. 8 No. 1, 8.

RF Ingenium Antenas. (2013, 11 29). Científicos desarrollan un sistema “WiFi submarino” para comunicaciones en aguas profundas. Retrieved from RF Ingenium Antenas: <https://bit.ly/3sWs5eH> tinyvision.ai. (2021). UPduino v3.0. Retrieved from tinyvision.ai: <https://bit.ly/3yfOvIN>

USDA. (2017). Death Loss in U.S Cattle and Calves Due to Predator and Nonpredator Causes, 2015. United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service. USDA. Retrieved from <https://bit.ly/3mEbHhM>

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Surcolombiana. Semillero de Investigación UNITCOM (Unificación de las Telecomunicaciones). Universidad Surcolombiana. tinyLab. Polytechnic Institute. Purdue University. Correo electrónico: [u20161148652@usco.edu.com](mailto:u20161148652@usco.edu.com)

<sup>2</sup> Tutor Universidad de Purdue

<sup>3</sup> Tutor Universidad Surcolombiana

---