

PROYECTO DE GRADO

**PROTOTIPO DEL SISTEMA INFORMÁTICO PARA MONITOREO DE
CONDICIONES AMBIENTALES EN EL BIOBANCO DE LA UNAB EMPLEANDO
HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE**

GIOVANNY JIMÉNEZ GÓMEZ

**BUCARAMANGA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
2016
PROYECTO DE GRADO**

**PROTOTIPO DEL SISTEMA INFORMÁTICO PARA MONITOREO DE
CONDICIONES AMBIENTALES EN EL BIOBANCO DE LA UNAB EMPLEANDO
HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE**

GIOVANNY JIMÉNEZ GÓMEZ

**DIRECTOR
RENÉ ALEJANDRO LOBO QUINTERO**

**BUCARAMANGA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
2016**

DEDICATORIA

El mundo no sería un lugar maravilloso de no ser por el amor, la fortaleza y entusiasmo que la mujer imprime en nuestro diario caminar, es por ello que quiero dedicar esta obra a un grupo de hermosas y valientes damas que han marcado mi vida y a quien les debo demasiado.

A mi mamá, por su sacrificio y todo el esfuerzo realizado en formar a sus hijos personas de bien, haciendo al mismo tiempo el papel de padre. Tus palabras impartidas desde mi niñez por amar el estudio, como única herramienta de salir adelante y ser un hombre de bien para la sociedad, calaron profundamente en mi vida. Tu labor solitaria de madre ha sido la piedra angular del hijo que hoy tiene la oportunidad de escribir estas palabras.

A María Celina Torres Serrano, por depositar su confianza en aquel joven que un día pidió su ayuda para dar un nuevo rumbo profesional a su vida, gracias, sin duda alguna, por la mediación de la tía Lola (QEPD). No era fácil abrir las puertas a la UNAB a alguien a quien no conocías muy bien, cuando su prestigio podría verse afectado por mi rendimiento laboral. Realizaste una apuesta a ciegas y parte del premio ha sido permitir cumplir el sueño de este hombre, ser colegas desde la profesión que nos une, además de nuestro vínculo familiar.

A María Mercedes Ruíz Cediél, mi primer jefe en UNAB Virtual, quien sembró la semilla para realizar mis estudios de ingeniería de sistemas en esta alma mater. Aún recuerdo las palabras que mencionó el día que se despidió de la UNAB, cuando dijo que su contacto conmigo había sido “amor a primera vista”, cuyo amor recíproco es de la misma forma compartido, no solo por esta bella obra que me inspiró iniciar y culminar, sino también por todas sus enseñanzas las cuales me llevaron a ponerme en los zapatos de aquellos que no tenían la oportunidad de una formación profesional presencial.

Igualmente para Claudia Patricia Salazar Blanco, directora en UNAB Virtual quien sucedió a María Mercedes, por continuar apoyando mi sueño de ser ingeniero de la UNAB. Un sentimiento inmenso de gratitud por su confianza y respaldo, siendo las flores más hermosas que podría ofrecerle, las cuales perdurarán por siempre en mi corazón.

A la docente Yaneth Lizarazo Ortega y la secretaria Nancy Leal Paez, del programa de Literatura; de quienes recibí un cariño especial y alegría reflejada en sus rostros por llegar hasta este punto de mi carrera profesional. Su delicioso café fue un gran energizante para hacer frente a las extenuantes jornadas de trabajo y estudio, aunque su amistad le ofrece ese gran aroma a esta bebida exquisita. Sin ella, su sabor sería insípido y poco agradable al paladar.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero de sistemas René Alejandro Lobo Quintero, director del proyecto; quien su confianza, guía y patrocinio incondicional durante la realización de la tesis, fue determinante para obtener el producto final. Mil gracias por su respaldo.

A la ingeniera de sistemas María Lucrecia Luna González, las doctoras Silvia Milena Becerra Bayona, Elizabeth Guio Mahecha y Norma Serrano Díaz, integrantes del Biobanco de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UNAB; por la oportunidad ofrecida de aprender temas transversales entre la tecnología y la medicina, de modo que pudiera ofrecer un grano de arena a una necesidad puntual que presentó el centro de investigación.

A la docente Martha Lucía Barrera Perez, docente del Departamento de Matemáticas y Ciencias Naturales; porque sus conocimientos impartidos en las cátedras de Electromagnetismo y, Ondas y partículas, fueron fundamentales para hallar una solución lógica a las dificultades presentadas durante las pruebas realizadas. Una fiel muestra para los ingenieros en formación, donde las ciencias básicas son la clave para la construcción del conocimiento científico.

Al biólogo Rafael Enrique Suarez Arias, profesional del Departamento de Currículo y docente del programa de Licenciatura en educación infantil de la UNAB; por los aportes y correcciones dados al momento de la redacción del presente documento.

A la ingeniera electrónica Liz Caterine Díaz Puentes, quien gracias a su profesión, permitió encontrar y corregir fallas durante el diseño del prototipo. Así mismo, por sus palabras de ánimo y entusiasmo recibidas durante el desarrollo del proyecto de grado.

A la señora Cecilia Álvarez, quien con su espiritualidad y cercanía con Dios, logró reanimarme en los momentos donde el cansancio físico y mental parecía derrotarme.

A la señorita Mercedes Gualdrón Lizarazo, su preocupación y oraciones fueron esenciales para no desfallecer ante los momentos de soledad y tristeza.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
3. OBJETIVOS	10
Objetivo general:.....	10
Objetivos específicos:	10
4. ANTECEDENTES	11
5. MARCO TEÓRICO	13
6. ESTADO DEL ARTE	16
7. METODOLOGÍA.....	21
8. RESULTADOS OBTENIDOS	23
9. CONCLUSIONES	56
10. TRABAJO FUTURO	58
11. BIBLIOGRAFÍA.....	59

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Colección de ultracongeladores	7
Figura 2: Registro y vista interna de uno de los ultra congeladores.	8
Figura 3. Último ultra congelador adquirido (izquierda) y registro manual de novedades (derecha)	9
Figura 4. El dispositivo interactivo (Imagen tomada del libro “Introducción a Arduino”, de Massimo Banzi).	14
Figura 5: Diseño metodológico.....	21
Figura 6: Registro de los valores de Temperatura y Humedad en ThingSpeak	29
Figura 7: Opciones de visualización de los datos capturados por el sensor de temperatura y humedad DHT11.	30
Figura 8: Exportar datos desde ThingSpeak.	30
Figura 9: Notificación generada por ThingSpeak, enviado a Twitter.	31
Figura 10: Modelo de arquitectura web.	32
Figura 11: Sensor de temperatura y humedad DHT11 de 3 pines.	34
Figura 12: Módulo MAX6675 y Termocupla tipo K.	36
Figura13: Sensor de lluvia LY-83	37
Figura 14: Módulo del sensor de agua. El potenciómetro que ofrece el grado de sensibilidad, es aquel que apunta con la flecha de color rojo.	38
Figura 15: Valor de 1023 visualizado por ThingSpeak cuando la tarjeta está completamente seca.	39
Figura 16: Valor de 1015 visualizado por ThingSpeak cuando la tarjeta detecta humedad del entorno donde se encuentra.	39
Figura 17: Valor de 350 visualizado por ThingSpeak cuando la tarjeta detecta cierta cantidad de agua.	40
Figura 18: Sensor de sonido..	41
Figura 19: Esquema del prototipo para el sistema de monitoreo	42
Figura 20: Identificación del canal en ThingSpeak.	45
Figura 21: Identificación del canal en ThingSpeak, establecido como una variable en el sketch de Arduino.	45
Figura 22: Shield de comunicación WiFi ubicada sobre la tarjeta Arduino Uno. ...	46
Figura 23: Fragmento de código para la configuración que permita la conexión a internet desde Arduino a ThingSpeak.	46
Figura 24: Fragmento de código para el envío de datos desde Arduino a ThingSpeak.	47
Figura 25: Fragmento de la librería para el sensor de temperatura y humedad DHT11.	49
Figura 26: Librería MAX6675 para el funcionamiento de la termocupla.	50
Figura 27: Sketch para el sensor de lluvia.	51
Figura 28: Sketch para el sensor de sonido.	52

Figura 29: Prototipo del sistema de monitoreo haciendo seguimiento en el ultracongelador que almacena material genético.	53
Figura 30: Prototipo del sistema de monitoreo para biobanco ubicado en uno de los ultracongeladores.....	54
Figura 31: Prototipo del sistema de monitoreo realizando pruebas.....	55

1. INTRODUCCIÓN

La investigación médica busca encontrar una solución para las diversas enfermedades que afectan al hombre. Una de las medidas con mayor uso e implementación ha sido el uso de vacunas, y la creación de antibióticos y fármacos para atacar los padecimientos que afectan la calidad de vida de las personas y su círculo familiar.

Estas medidas en la mayoría de los casos, buscan disminuir el efecto de la enfermedad, lo que se conoce como “buscar y destruir”, pero gracias al proyecto del genoma humano, fue posible determinar que el factor genético es una causa de enfermedades como las de tipo cardiovascular.

Para realizar este tipo de investigación médica, es necesario la recopilación de muestras biológicas de origen humano, de personas sanas y enfermas, con el fin de predecir factores de riesgo desde un enfoque genético. Este proceso tiene ciertas implicaciones jurídicas y éticas, pues se requiere del consentimiento del paciente como donante, y adicionalmente el registro de su historial médico, el cual va asociado a la muestra que ha sido tomada bajo estándares de calidad, de modo que no afecte la salud del paciente y del personal médico que realiza el procedimiento.

Con el fin de ofrecer buenos resultados en los estudios científicos realizados por el personal médico, es necesario disponer de una gran cantidad de muestras, las cuales se deben almacenar en un lugar seguro y en óptimas condiciones ambientales, con el fin de preservar el material biológico para investigaciones posteriores.

Sin embargo, a principios del siglo XX, las muestras de tejidos humanos eran conservadas en formol y dentro de bloques de parafina, según referencias de la Clínica Mayo, cuyo repositorio de muestras biológicas y banco de datos figura desde 1907 (Olson, Ryu, Johnson, & Koenig, 2013)

De este modo, surge la necesidad de conservar en condiciones de seguridad y calidad, con el propósito de asegurar a los investigadores la realización de su labor científica a partir de muestras biológicas que extraen desde un biobanco. Se denomina biobanco al conjunto de muestras biológicas asociadas a datos demográficos y clínicos, para uso en investigaciones futuras, según (Serrano-Díaz, Páez-Leal, Luna-González, & Guío-Mahecha, 2016)

Para facilitar la conservación de los especímenes, es necesario mantener unas condiciones de temperatura y humedad, tanto del entorno donde están ubicados los equipos que guardan las muestras, como del interior de los ultracongeladores.

Un sistema de monitoreo permite administrar y hacer seguimiento de variables medio ambientales y físicas, que unido al Internet de las Cosas (IoT) permite la recolección de datos, cuya efectividad en los procesos de monitoreo desde diversos componentes o sensores, favorece la toma de decisiones ante eventualidades que pongan en riesgo el material biológico.

Una investigación fiable para determinar diagnósticos y soluciones de manera temprana, por medio de una estrategia proactiva para prevenir y controlar con precisión una enfermedad, requiere que los materiales de investigación, que para el caso de estudio los más importantes son las muestras biológicas que almacena el biobanco, adscrito al programa Conocimiento y Acción para Reducir la Dimensión de la Enfermedad Cardiovascular en Colombia “Cardiecol”.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el Biobanco de la Clínica Mayo (Mayo Clinic Biobank, s.f.), un biobanco es una colección de muestras biológicas tales como sangre y datos médicos. Los tipos de información y muestras almacenadas dependen según el propósito del biobanco. Por ejemplo, para la Clínica Mayo, algunos biobancos están establecidos para alguna enfermedad particular como el cáncer. Otros biobancos en cambio, están basados en contener muestras e información sobre una región específica.

Sin embargo, la conservación de las muestras y tejidos humanos requieren de unas condiciones óptimas de temperatura y humedad que ayuden a prevenir la pérdida de dicho material biológico, cuyo propósito es para usos de investigación en salud pública (Mayo Clinic, 2013).

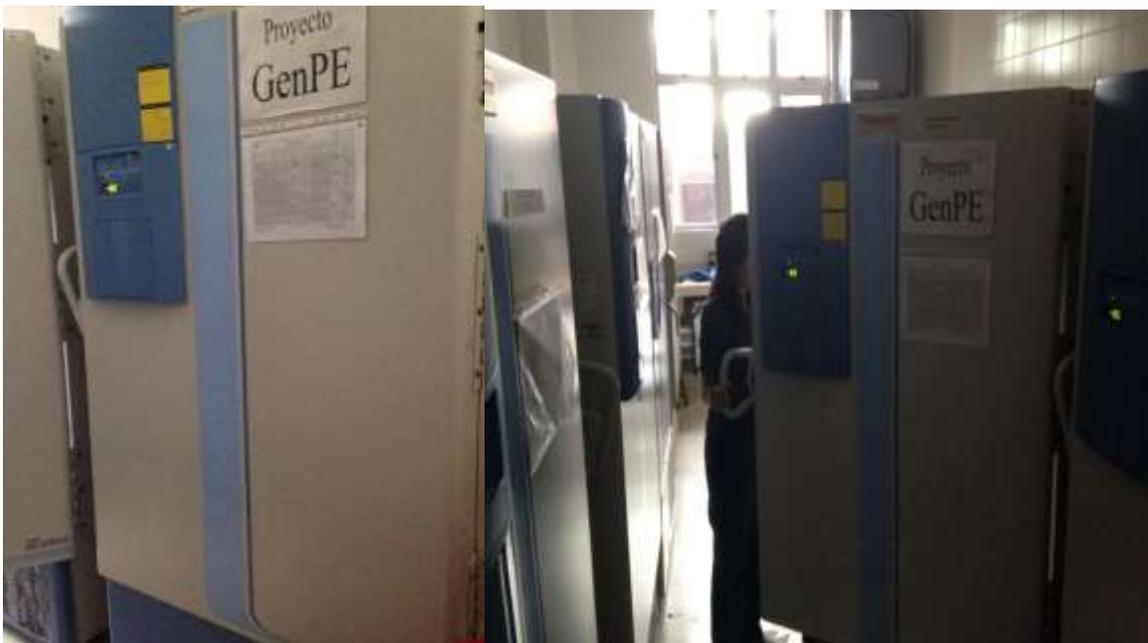
El programa Conocimiento y Acción para Reducir la Dimensión de la Enfermedad Cardiovascular en Colombia “Cardiecol” junto con la Universidad Autónoma de Bucaramanga, requiere un sistema de monitoreo para asegurar la calidad de las distintas muestras biológicas que se almacenan en el biobanco.

Empleando hardware y software libre, se busca diseñar un sistema de monitoreo que cumpla con los altos estándares de calidad manteniendo un costo reducido, en relación a los equipos y sensores ofrecidos en el mercado.

El presente proyecto hace parte de una de las etapas del proyecto macro aprobado por Colciencias denominado Biobanco Cardiecol: Herramienta para la investigación biomédica en enfermedad Cardio-Cerebro-Vascular, el cual hace parte del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de la Salud. Las entidades que hacen parte del proyecto son Unión Temporal Cardiecol, Universidad Autónoma de Bucaramanga y la Fundación Cardiovascular de Colombia.

En las siguientes imágenes se visualiza la colección de ultracongeladores disponibles en la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, en el Campus El Bosque; los cuales corresponden a los equipos del biobanco a los que se busca implementar el concepto de Internet de las Cosas; uno de los objetivos del presente trabajo de grado.

Figura 1: Colección de ultracongeladores



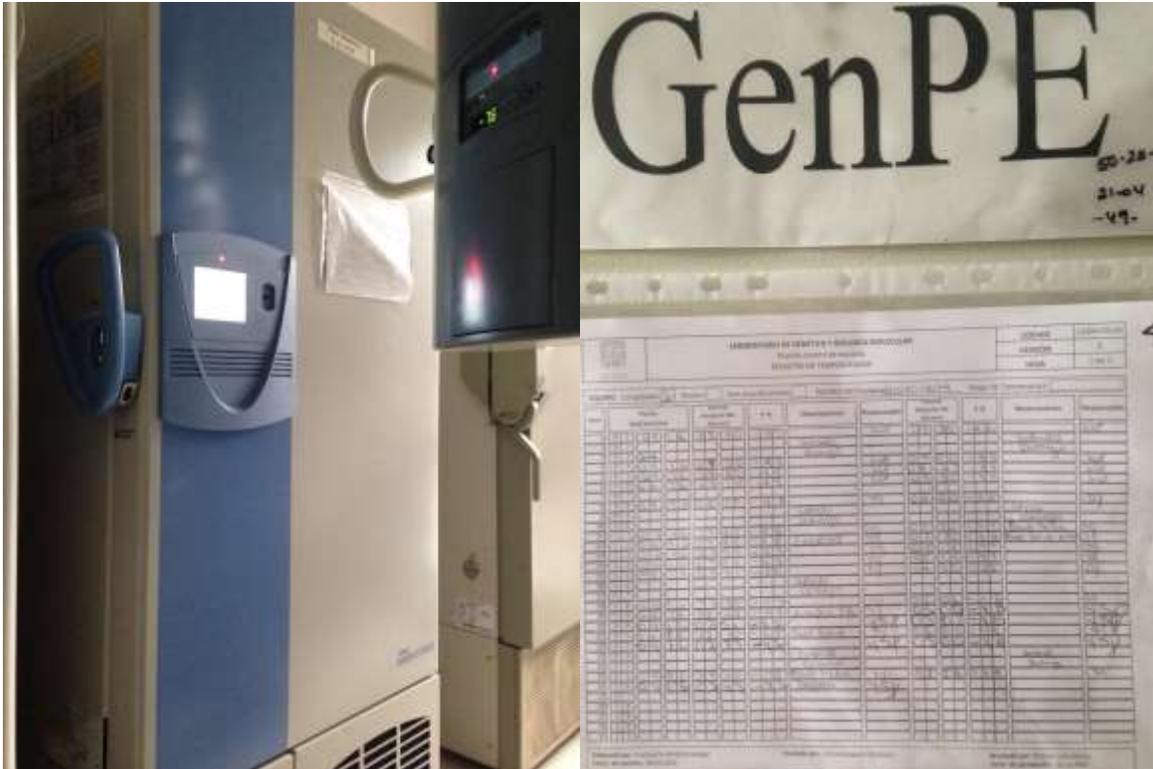
Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Figura 2: Registro y vista interna de uno de los ultra congeladores.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Figura 3. Último ultra congelador adquirido (izquierda) y registro manual de novedades (derecha)



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

3. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo para biobanco, el cual controlará las condiciones de temperatura, humedad, fallas eléctricas y aperturas involuntarias de la puerta del ultra congelador.

Objetivos específicos:

- Elaborar el estado del arte correspondiente al uso de sistemas de monitoreo basados en Internet de las Cosas, aplicado a biobancos.
- Diseñar el sistema informático en función de requerimientos funcionales, modelo de base de datos y arquitectura web.
- Diseñar el componente de hardware basado en los tipos de sensores de temperatura, humedad, fallas eléctricas y aperturas involuntarias de la puerta del ultra congelador.

4. ANTECEDENTES

Los proyectos de investigación relacionados con sistema de monitoreo, específicamente en biobanco, son mínimos, sin embargo a continuación se hace una descripción de los trabajos realizados a nivel de la UNAB, regional e internacional.

En el año 2005, los estudiantes Derly Carolina Vera Durán y Josue Barrios Rodríguez de la facultad de ingeniería de sistemas de la Universidad Autónoma de Bucaramanga desarrollaron el proyecto sistema de monitoreo en servidores con generación de reportes a telefonía inalámbrica y web. (Barrios Rodriguez & Vera Duran, 2005). En este proyecto se planteó la idea de implementar un sistema informático con la capacidad de monitorear servidores y verificar su continuo funcionamiento. Este proyecto brindó a los administradores de red una aplicación que les permitía tener acceso a la información de los servidores sin necesidad de trasladarse al lugar del suceso o falla. Además, el software desarrollado ofrecía la posibilidad de enviar comandos remotos para recuperar el servicio de algún servidor expuesto a alguna falla. (Calderón Calderón, 2015)

En el año 2006, los estudiantes Cesar Augusto López Cortes, Luis Carlos Rodríguez y Ricardo Bustos Barba de la facultad de Ingenierías Fisicomecánicas programa de ingeniería mecatrónica desarrollaron el proyecto sistema de monitoreo mediante cámaras inalámbricas para vigilancia. (Lopez Cortes, Rodriguez, & Bustos Barba, 2006). En este proyecto se planteó un hardware controlado por un sistema informático capaz de supervisar y vigilar un área de trabajo. Brindando a las personas encargadas de la seguridad y administradores tener vigilado un área de trabajo en específico. (Calderón Calderón, 2015)

Finalmente en el año 2008 los estudiantes Daniel Forero Vargas y Rafael Andrés Jaraba García de la facultad de ingeniería de sistemas de la Universidad Autónoma de Bucaramanga desarrollaron el proyecto Validación de una red de sensores inalámbricos para el control de la calidad del aire en la zona industrial de Bucaramanga. (Forero Vargas & Jaraba Garcia, 2008). Este proyecto buscó automatizar la medición y control de la concentración de monóxido de carbono de las emisiones atmosféricas de la ciudad de Bucaramanga. Este sistema permitía capturar los datos obtenidos y administrarlos luego en una interfaz amigable y así lograr optimizar el método actual de la regulación de la calidad del aire. (Calderón Calderón, 2015)

A nivel regional en el año 2016, las profesionales Norma C. Serrano Díaz, Elizabeth Guio Mahecha, María C. Páez Leal y María L. Luna González desarrollaron una serie de artículos científicos, publicados en la Revista Salud de la Universidad Industrial de Santander con el nombre de Biobanco: Herramienta fundamental para la investigación biomédica actual (Serrano Díaz, Guio Mahecha, Páez Leal, & Luna González, 2016). Los artículos hacen una revisión en torno a la gestión de los biobancos con fines de investigación. También propone una serie de guías de manejo del material biológico humano a conservar, desarrolladas en el marco del programa Cardiecol.

Desde un enfoque internacional, el diseño e implementación del biobanco realizado por la Clínica Mayo *The Mayo Clinic Biobank: A building block for individualized medicine.* (Mayo Clinic, 2013). El artículo hace mención sobre la ejecución de un bio repositorio denominado el Mayo Clinic Biobank, cuya planeación desde el año 2009 buscaba sustituir la forma como almacenaban las muestras biológicas humanas para el posterior tratamiento en investigación de las enfermedades por parte del profesional médico de la Clínica Mayo.

5. MARCO TEÓRICO

Para entender la orientación del presente trabajo de grado, es necesario conocer algunos conceptos claves, base de la tecnología a emplear en el desarrollo e implementación del Sistema de Monitoreo en Biobancos.

Arduino: Es una plataforma de prototipado de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las tarjetas Arduino son capaces de leer entradas - la luz de un sensor, un dedo o pulsación sobre un botón, o un mensaje de Twitter- , y convertirla en salida activando un motor o encendiendo un LED. Se puede interactuar con la tarjeta Arduino mediante el envío de instrucciones al microcontrolador ubicado sobre la tarjeta, a través de cable USB. Para ello se usa el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring), y el Entorno Integrado de Desarrollo (IDE) Arduino Software basado en Processing. (Arduino, 2016)

Arduino se basa en la tesis de Hernando Barragan sobre la plataforma Wiring, realizada mientras estudiaba con Casey Reas y Massimo Banzi (cofundador de Arduino) en IDII Ivrea. (Banzi, 2011)

Biobanco: Conjunto de muestras biológicas asociadas a datos demográficos y clínicos, para uso en investigaciones futuras (Serrano Díaz, Guio Mahecha, Páez Leal, & Luna González, 2016).

Internet de las cosas: Es un concepto emergente que hace referencia a los objetos cotidianos en red, que interconectados entre sí por sensores vía inalámbrica conectados a ellos.

Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) ha surgido como la siguiente gran novedad en Internet. Se prevé que billones de dispositivos u objetos físicos estarán equipados con diferentes tipos de sensores y actuadores y conectados a Internet mediante redes de acceso heterogéneo habilitado por tecnologías tales como sensores y actuadores embebidos, Identificación por Radio Frecuencia (RFID), sensor de redes inalámbricas, servicios web en tiempo real y semánticamente, etc. IoT es actualmente considerado como un conjunto de sistemas ciber-físicos o una red de redes. (Wang, y otros, 2013)

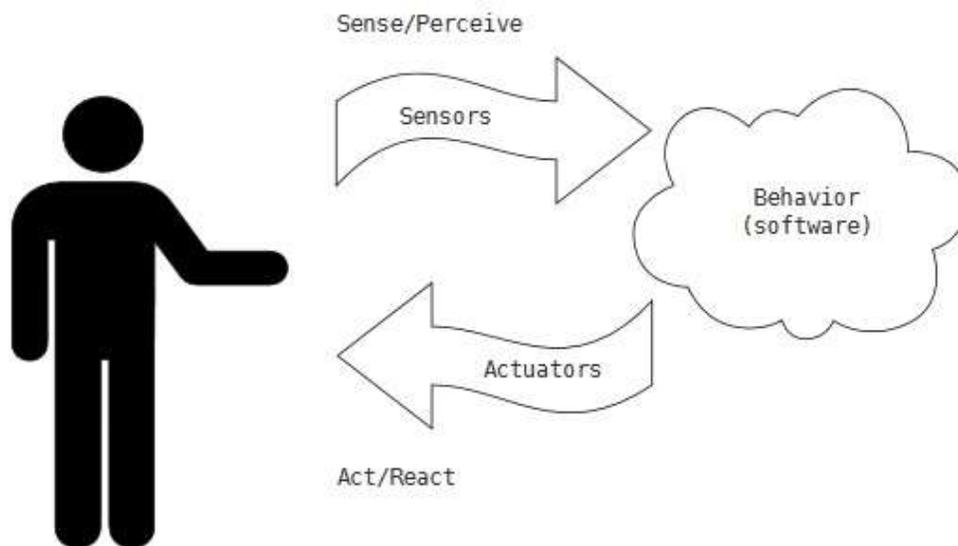
Sensores y activadores: Son componentes electrónicos que permiten a un elemento electrónico interactuar con el mundo. El microcontrolador al ser un equipo muy simple, solo puede procesar señales eléctricas, de manera que para detectar

cantidades físicas como la luz y la temperatura, necesita de un medio para convertir dichas señales en electricidad. A modo de ejemplo, los ojos convierten la luz en señales que se envían al cerebro a través de los nervios. De igual manera en electrónica, un dispositivo denominado Resistencia Dependiente de la Luz (LDR, Light Dependent Resistor) o fotoresistencia, puede medir la cantidad de luz que recibe y devolverla como una señal que entiende el microcontrolador.

Es así como el proceso de toma de decisiones lo controla el microcontrolador y la reacción se ejecuta a través de los activadores. Por ejemplo, los músculos reciben señales eléctricas del cerebro y posteriormente son convertidas en movimiento. En el mundo electrónico, estas funciones se ejecutan mediante una luz o un motor eléctrico. (Banzi, 2011, págs. 39, 40)

Sensores complejos: Se trata de pequeños circuitos con un microcontrolador en su interior, que procesa previamente la información. Algunos sensores complejos disponibles en el mercado son los medidores de distancia ultrasónicos (rangers), los medidores de distancia infrarrojos y los acelerómetros. (Banzi, 2011, pág. 75).

Figura 4. El dispositivo interactivo (Imagen tomada del libro “Introducción a Arduino”, de Massimo Banzi).



Fuente: (Banzi, Introducción a Arduino., 2011)

Sketch: Es un pequeño programa que se carga en la placa de Arduino y cuya función es indicar a la placa lo que tiene que realizar. (Banzi, 2011, pág. 31) Arduino se programa empleando el lenguaje C/C++, el cual debe ser verificado, compilado y subido a la placa base. Arduino permite el uso de librerías de terceros bajo licencias de software libre, facilitando ampliamente el desarrollo de sistemas complejos.

6. ESTADO DEL ARTE

La bibliografía relacionada con la temática de sistemas de monitoreo específicamente para biobancos es muy escasa, sin embargo se hace una compilación de investigaciones realizadas en diversas disciplinas clasificadas así: Biobancos, Sistemas de monitoreo e Internet de las Cosas. La integración de los conceptos y metodologías permite la comprensión y posterior desarrollo del sistema de monitoreo para biobancos, aplicando Internet de las Cosas.

I. Shickle, D., Griffin, M., & El-arifi, K. (2010). *Inter- and intra-biobank networks: Classification of biobanks. Pathobiology, 77(4), 181-90*

Según la Organización para el Desarrollo y Cooperación Económica (OECD por sus siglas en inglés), define biobanco humano y bases de datos de investigación como recursos estructurados que pueden ser usados para el propósito de estudios genéticos, los cuales incluye: a) materiales biológicos humanos y/o información generada del análisis de las muestras y b) información asociada extensiva (OECD, 2008).

Sin embargo, no existe una definición precisa. Por ejemplo, el Consejo Europeo tiene una definición separada para biobancos para cada conjunto de material biológico. También el término de biobanco no está restringido para muestras biológicas humanas, hay biobancos que almacenan muestras de otras especies animales, plantas y microbios. (Shickle, Griffin, & El-arifi, 2010)

II. Gaskell, G., Gottweis, H., Starkbaum, J., Gerber, M. M., Broerse, J., Gottweis, U., Soulier, A. (2013). *Publics and biobanks: Pan-european diversity and the challenge of responsible innovation. European Journal of Human Genetics : EJHG, 21(1), 14-20*

Los biobancos surgieron por las investigaciones en biotecnología y genética. En Europa, por ejemplo, los [Biobancos e Infraestructura de Investigación en Recursos BioMoleculares](#) (BBMRI, por sus siglas en inglés) facilitan la colaboración entre biobancos incrementando la cantidad de muestras, suministrando grandes oportunidades para subgrupos de investigación. Para que un biobanco exista se requiere de un gran número de participantes voluntarios, quienes realizan donaciones de sangre, tejidos, fluidos corporales y muestras de DNA. Estos especímenes, a pesar de tener un gran valor científico, son un desafío debido a la

información personal adherida a dichas muestras y con ella la protección y privacidad de dichos datos. (Gaskell, y otros, 2013)

- III. Olson, J. E., PhD., Ryu, E., PhD., Johnson, Kiley J.M.S., C.G.C., Koenig, B. A., PhD., Maschke, K. J., PhD., Morrisette, J. A., M.B.A., . . . Cerhan, James R.M.D., PhD. (2013). *The mayo clinic biobank: A building block for individualized medicine. Mayo Clinic Proceedings, 88(9), 952-62.***

El artículo ofrece como la Clínica Mayo diseñó e implementó durante un periodo de 3 años el Mayo Clinic Biobank, recopilando muestras de 21736 personas. Este centro clínico, que desde el año de 1907 tiene un historial valioso de especímenes biológicos y datos asociados a dichos ejemplares, almacenaba inicialmente las muestras en soluciones de formol y embebidos en bloques de parafina lo que permitía su disponibilidad a los médicos para el tratamiento de sus pacientes y las investigaciones para entender el proceso de las enfermedades. Sin embargo, después de varios años de planeación, en el año 2009, el Centro Clínico Mayo implementó un gran biorepositorio conocido como el Mayo Clinic Biobank (<http://www.mayo.edu/research/centers-programs/mayo-clinic-biobank/overview>) el cual almacena una gran variedad de investigaciones relacionadas con la salud, y uno de sus objetivos es suministrar una fuente para el registro específico de enfermedades, permitiendo su estudio que abarca desde diversos tipos de cáncer, enfermedades neurológicas y cardiovasculares. (Olson, y otros, 2013)

- IV. Shifeng Fang; Li Da Xu; Yunqiang Zhu; Jiaerheng Ahati; Huan Pei; Jianwu Yan; Zhihui Liu, "An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things," in *Industrial Informatics, IEEE Transactions on* , vol.10, no.2, pp.1596-1605, May 2014**

Esta investigación brinda una introducción a un Sistema de Información Integrado (IIS) que combina Internet de las Cosas (IoT), Computación en la Nube, Geo informática [Teledetección (RS), Sistema de Información Geográfica (GIS) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS)] y e-Science; para la administración y monitoreo medio ambiental, con un caso de estudio sobre cambio climático regional y sus efectos ecológicos. El artículo muestra que el trabajo de investigación es de gran beneficio a partir de como un IIS, no solo en la recolección de datos soportado por IoT, sino también en aplicaciones y servicios web basados en computación en la nube y plataformas e-Science, y la efectividad de procesos de monitoreo, permite mejorar evidentemente la toma de decisiones en cuanto al cambio climático en una región específica. Este trabajo científico suministra un prototipo IIS para la administración y monitoreo medio ambiental, ofreciendo un nuevo paradigma para

la práctica y futuras investigaciones, especialmente en la era del Big-Data e IoT. (Fang, y otros, 2014)

V. Zou Cheng-Jun. 2014. Research and Implementation of Agricultural Environment Monitoring Based on Internet of Things. In Proceedings of the 2014 Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA '14). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 748-752

La investigación de este artículo hace énfasis sobre los siguientes contenidos: según el campo de investigación de la condición del sistema de monitoreo en escena de la aplicación práctica, basado sobre la estructura EPC, estructura de red sistemática es diseñada y también el sensor de detección es diseñado. El sensor de detección debe recopilar en tiempo real, múltiple información importante del entorno el cual está relacionada a la producción agrícola y realizar la adquisición de imágenes de forma controlada en un formulario de cultivos. Entonces, diversos datos son enviados al servidor a través de la puerta de enlace del módulo de comunicación inalámbrica al servidor web de diseño en la capa de aplicación. Pruebas experimentales muestran que el prototipo del sistema puede precisamente recolectar la información del campo de entorno. Además, los datos pueden ser almacenados en un servidor central de monitoreo del medio agrícola. El usuario remoto desde internet puede acceder al servidor, coordinador y puerta de enlace a través del navegador web, controlar todo el sistema, navegar y descargar datos. Este sistema básicamente lleva a cabo un bajo consumo de energía así como su diseño objetivo ampliable y así poder satisfacer los requerimientos de monitoreo o vigilancia del medio agrícola. (Cheng-Jun, 2014)

VI. M. K. Gayatri, J. Jayasakthi, & G. S. Anandha Mala. (2015). Providing smart agricultural solutions to farmers for better yielding using IoT. Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), 2015 IEEE, 40-43

Ha habido muchas investigaciones y varias áreas en agricultura para aprovechar usando la nueva tecnología de IoT. Sin embargo, IoT para la agricultura ha sido considerada en un aspecto diferente por varios campos como el industrial y logística. Este artículo muestra el IoT basado en la producción agrícola para la cadena de suministro establecida y todos los requerimientos que es necesario para la producción de agricultura en el momento de desarrollo de sensores medioambientales y sistema de predicción para la maduración y la cantidad que será gastada para la producción de cultivos para recolectar toda la información necesaria con respecto al medio ambiente. La agricultura de precisión es un campo que usa medidas analíticas para optimizar decisiones de cultivo, es una gran

oportunidad de innovación de IoT. La ayuda de sistemas inalámbricos, conectividad a la nube en estos cultivos maximiza el rendimiento, el cual automatiza día a día las tareas agrícolas y ofrece monitoreo en tiempo real para tomar decisiones inteligentes.

Con el uso de dispositivos inalámbricos embebidos y otros sistemas automatizados, muchos prototipos pueden detectar fugas, medida de humedad, y administrar eficientemente el uso de la energía. (Gayatri, Jayasakthi, & Anandha Mala, 2015).

VII. L. Cheng, W. Sun, X. Zhang, M. U. Rehman and X. Yang, "Software design of a monitoring and management system in the Internet of Things," 2015 8th International Congress on Image and Signal Processing (CISP), Shenyang, 2015, pp. 1308-1312

El concepto de Internet de las Cosas puede ser aplicado a todos los aspectos de la vida, como es la electricidad, agricultura, transporte, energía y vivienda. La mayoría de los sistemas de monitoreo comunes en el Internet de las Cosas experimentan falta de versatilidad como se aplican a un área de aplicación en particular. El diseño de software del sistema de administración y monitoreo para el IoT, como propuesta en este artículo, tiene altos niveles de flexibilidad y pueden ser usados en diferentes escenarios de aplicación. El sistema basado en modo Navegador-Servidor, construye una plataforma web en la capa de aplicación. Después de ajustar el software en la capa de aplicación, configuramos el sensor de red en la capa de enlace o modificamos los parámetros de hardware y sensor. El sistema puede mostrar los datos en forma de lista, curva y vídeo. (Cheng, Sun, Zhang, Ur Rehman, & Yang, 2015)

El diseño del software del sistema propuesto en el artículo, implementa un sistema de monitoreo flexible el cual puede aplicar diferentes áreas en IoT, usando tecnología de desarrollo web en Java. Para diferentes áreas de aplicación puede ser fácilmente modificado, que aumenta considerablemente el alcance de adaptación de este sistema.

Tabla 1: Estado del arte. Los temas se clasifican según la siguiente numeración: 1. Biobanco, 2. Sistemas de monitoreo, 3. Internet de las Cosas.

No	AUTOR	AÑO	PAÍS	TEMA			TIPO DE DOCUMENTO
				1	2	3	
I	Shickle, D., Griffin, M., & El-arifi, K.	2010	Suiza	X			Revista
II	Gaskell, G., Gottweis, H., Starkbaum, J., Gerber, M. M., Broerse, J., Gottweis, U., . . . Soulier, A.	2013	Reino Unido	X			Revista
III	Olson, J. E., Ryu, E., Johnson, Kiley J,M.S., C.G.C., Koenig, B. A., Maschke, K. J., Morrisette, J. A., Cerhan, James R,M.D.,	2013	EEUU	X			Revista
IV	Shifeng Fang; Li Da Xu; Yunqiang Zhu; Jiaerheng Ahati; Huan Pei; Jianwu Yan; Zhihui Liu	2014	China			X	Revista
V	Zou Cheng-Jun	2014	EEUU		X	X	Conferencia
VI	M. K. Gayatri, J. Jayasakthi, & G. S. Anandha Mala	2015	India			X	Conferencia
VII	L. Cheng, W. Sun, X. Zhang, M. U. Rehman and X. Yang	2015	China		X	X	Conferencia

Fuente: (Jiménez Gómez, ThingSpeak, 2016)

7. METODOLOGÍA

Basado en las actividades realizadas para alcanzar los objetivos planteados del proyecto formulado, se estableció el diseño metodológico definiendo cada una de las labores llevadas a cabo durante las fases del proceso de investigación e implementación.

El diseño metodológico se ha desarrollado a través de las siguientes fases:

Figura 5: Diseño metodológico



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Este proyecto consiste en obtener y medir diferentes variables, ya sean medio ambientales o físicas, desde un sistema de monitoreo para un biobanco, ubicado en la Facultad de Ciencias de la Salud de la UNAB. Los datos fueron recolectados por medio de diferentes sensores, disponibles en una tarjeta de desarrollo basada en hardware y software libre. Los sensores se han ubicado en cada una de las posiciones del aula donde se encuentran los ultra congeladores, según los requerimientos establecidos.

Tabla 2: Ubicación del sensor

Localización	Sensor
Exterior del aula	Temperatura y humedad Sonido
Piso del aula	Lluvia
Ultra congelador	Termocupla

Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Todos los datos recibidos por cada uno de los sensores son enviados a través de comunicación WiFi, a una aplicación de libre acceso para Internet de las Cosas denominada ThingSpeak.

8. RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo a los objetivos planteados para el proyecto de investigación, a continuación se especifica los resultados alcanzados durante el diseño y desarrollo del prototipo del sistema de monitoreo para el biobanco.

1. Elaborar el estado del arte correspondiente al uso de sistemas de monitoreo, basado en Internet de las Cosas, aplicados a biobancos.

Actividades

1.1. *Buscar en las bases de datos bibliográficas, material de referencia el área de estudio en el presente proyecto.*

La búsqueda de información científica requiere de fuentes confiables donde se pueda consultar investigaciones llevadas a cabo por otras personas, o trabajos realizados en el área de estudio. Para la realización de este proyecto de investigación fue necesario acudir a bases de datos relacionadas con la tecnología, y su impacto en otras disciplinas, las cuales están disponibles en el Sistema de Bibliotecas UNAB.

Durante el proceso de búsqueda inicial de material de referencia, en relación al tema de biobancos, Proquest es la base de datos que cuenta con mayores investigaciones realizadas sobre este tema. Sin embargo, el tema de biobanco relacionado con sistemas de monitoreo e Internet de las Cosas es escaso de hallar en primera instancia en los recursos disponibles en la UNAB.

Esta novedad llevo a la exploración de otras bases de datos como IEEE y ACM, que al contar con gran cantidad de referencias en el campo de la tecnología, se recopiló una cantidad de información, cimiento para la investigación tratada en este documento.

1.2. *Determinar los artículos relacionados con el tema de estudio.*

La información recopilada requiere de análisis, con el fin de determinar la pertinencia con el tema de interés que se busca investigar y ofrecer posteriormente una solución a la problemática definida.

Los artículos se clasificaron según el tema de estudio, con la necesidad de fragmentar en tres secciones: Biobancos, Sistemas de monitoreo e Internet de las Cosas. Una vez realizada la división de las áreas de interés, se procede a determinar la viabilidad de asociar un sistema de monitoreo basado en Internet de las Cosas para biobanco,

el cual busca mantener en óptimas condiciones las muestras biológicas que almacenan los ultra congeladores.

El propósito de un sistema de monitoreo es capturar variables medio ambientales como temperatura, humedad, presión barométrica, entre otras, con el fin de tomar decisiones oportunas ante posibles eventualidades, que pongan en riesgo la población circundante. La recopilación de los datos capturados a través de los sensores específicos no ofrece gran ayuda, si estas medidas no son enviadas remotamente a una aplicación web, que por medio de un tratamiento estadístico, permiten visualizar los cambios que se presentan en el entorno donde se encuentra el sistema de monitoreo. Para el tema de investigación, basado en un biobanco, Internet de las Cosas permite la conexión de equipos diferentes a equipos de cómputo o dispositivos de redes, con el fin de medir y tomar decisiones de forma rápida y oportuna.

1.3. *Organizar y sintetizar los artículos más relevantes según su contenido.*

La organización de los artículos científicos, tomados como referencia bibliográfica de ACM (Association for Computing Machinery), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y Proquest; están clasificados según el tema de estudio.

A pesar de establecer el siguiente orden en la clasificación de los documentos:

1. Biobanco
2. Sistemas de monitoreo
3. Internet de las Cosas

Todos los temas tienen igual importancia, por lo que la numeración es un estándar de referencia, más no un orden de prioridad en la literatura científica.

Tabla 3: Estado del arte. Los temas se clasifican según la siguiente numeración: 1. Biobanco, 2. Sistemas de monitoreo, 3. Internet de las Cosas.

No	AUTOR	AÑO	PAÍS	TEMA			TIPO DE DOCUMENTO
				1	2	3	
1	Shickle, D., Griffin, M., & El-arifi, K.	2010	Suiza	X			Revista
2	Gaskell, G., Gottweis, H., Starkbaum, J., Gerber, M. M., Broerse, J., Gottweis, U., . . . Soulier, A.	2013	Reino Unido	X			Revista
3	Olson, J. E., Ryu, E., Johnson, Kiley J,M.S., C.G.C., Koenig, B. A., Maschke, K. J., Morrisette, J. A., Cerhan, James R,M.D.,	2013	EEUU	X			Revista
4	Shifeng Fang; Li Da Xu; Yunqiang Zhu; Jiaerheng Ahati; Huan Pei; Jianwu Yan; Zhihui Liu	2014	China			X	Revista
5	Zou Cheng-Jun	2014	EEUU		X	X	Conferencia
6	M. K. Gayatri, J. Jayasakthi, & G. S. Anandha Mala	2015	India			X	Conferencia
7	L. Cheng, W. Sun, X. Zhang, M. U. Rehman and X. Yang	2015	China		X	X	Conferencia

Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

2. Diseñar el sistema informático en función de requerimientos funcionales, modelo de base de datos y arquitectura web.

Actividades:

2.1. Manejo de los temas de estudio tales como Arduino, biobanco, Internet de las Cosas y sistema de monitoreo.

La elaboración de un proyecto de investigación requiere buscar en primera instancia, experiencias sobre trabajos desarrollados, facilitando la ampliación del conocimiento y el aprendizaje colaborativo en la comunidad científica. Por tanto, es necesario y obligatorio asimilar cada uno de los conceptos que abarcan la problemática y la solución a implementar, con el fin de satisfacer las necesidades del público objetivo.

Las referencias bibliográficas descritas en la Tabla 1 ofrecen una orientación básica, pero material de estudio como el libro de Introducción a Arduino, de Massimo Banzi (Co-fundador de Arduino) es fundamental para el desarrollo del prototipo del sistema de monitoreo, ofreciendo una orientación en la forma de establecer correctamente las conexiones entre los diferentes sensores; de manera que la interacción con cada una de las librerías correspondientes, permita la captura de los datos del entorno (temperatura, humedad, precipitaciones de agua, sonido).

El sistema requiere monitorear algunas variables físicas y medioambientales, cuyos datos capturados son enviados a una plataforma de libre acceso (ThingSpeak) que recolecta y guarda datos en la nube, desarrollada para aplicaciones IoT. La principal tarea y funcionalidad de un sistema de monitoreo es modelar y administrar los datos que captura, con el fin de ayudar a localizar y analizar fallas que se presentan en su entorno.

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones han facilitado la realización de múltiples tareas, acercar más a las personas, entre muchas otras labores, todo gracias a internet y al desarrollo de dispositivos electrónicos. Así mismo, en los últimos años internet ha permitido la comunicación de múltiples dispositivos independientes de equipos de cómputo, extendiendo a otros aparatos comunes a través de las redes inalámbricas, lo que se conoce como Internet de las Cosas.

Esta tecnología es capaz de realizar procesos de monitoreo y modelamiento, como soporte para tomar decisiones adecuadas, que al tener grandes avances en la administración y monitoreo en el medio ambiente, se implementa en la medición de variables físicas y ambientales para hacer seguimiento de problemas y predecir soluciones en el área física donde se ubican ultra congeladores, activos que hacen parte del biobanco anexo al convenio Cardiecol, cuya finalidad es almacenar muestras biológicas humanas (sangre, tejidos y material genético) para la investigación científica en salud pública.

2.2. *Recopilar y establecer los requerimientos funcionales y no funcionales por medio de entrevista con el personal encargado del Biobanco Cardiecol.*

Para crear un producto o servicio de excelente calidad, es necesario indagar con el cliente, que es la persona u organización que va a satisfacer sus necesidades según el núcleo del negocio o propósito que desea alcanzar.

El proceso de recolección de requerimientos se estableció a través de entrevista con la ingeniera Lucrecia Luna González y la doctora Silvia Milena Becerra Bayona, el día martes 26 de abril de 2016 en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Salud, en el campus El Bosque de la UNAB; lugar donde se encuentran los ultra congeladores que hacen parte del biobanco.

Los requerimientos del sistema de monitoreo para el biobanco permiten apreciar las exigencias funcionales que dan usabilidad al hardware y software, el cual busca cubrir las necesidades que va estar enfocado a detectar cambios de diferentes variables como temperatura interna del ultra congelador, temperatura ambiente y humedad relativa, precipitaciones de agua en el sitio donde están disponibles los equipos de enfriamiento y cambios en el flujo eléctrico.

2.2.1. Descripción general

El sistema de monitoreo para biobanco que se desea desarrollar e implementar, busca realizar las siguientes actividades:

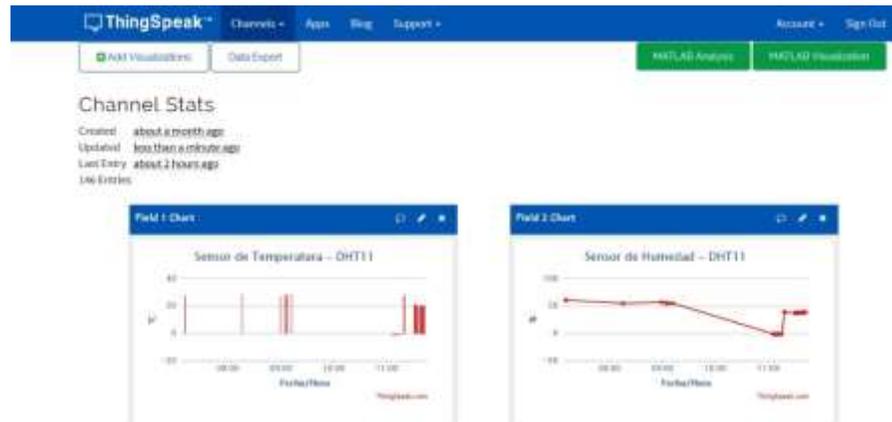
1. *Generar alertas al presentar cambios o alteraciones de: temperatura interna del ultra congelador, temperatura ambiente del recinto donde están ubicados los ultra congeladores que almacenan las muestras biológicas humanas, humedad relativa, precipitaciones de agua, flujo eléctrico y aberturas involuntarias del biobanco.*

Uno de los fines del sistema de monitoreo para el biobanco es hacer seguimiento de las diferentes variables (ambientales y físicas) capturadas por los sensores, de modo que ante cualquier eventualidad generada por los dispositivos, pongan en riesgo las muestras biológicas que almacenan los equipos de refrigeración. Inicialmente se presupuestó diseñar y desarrollar una aplicación web, con notificaciones push, que enviara al cliente las alteraciones generadas en el entorno donde se ubican los ultra congeladores, pero al realizar la búsqueda de aplicaciones de libre acceso que ofrezcan la captura de datos y posterior envío de alertas, se encontró la aplicación ThingSpeak, marca registrada de MathWorks Inc (empresa desarrolladora también del software Matlab).

ThingSpeak provee la función ThingTweet, que al enlazarse con la aplicación de microblogging Twitter, envía un tweet con la alerta configurada previamente.

2. *Registrar la actividad de las variables ambientales y físicas, capturadas a través de los sensores específicos.*

Dentro de los propósitos del sistema de monitoreo del biobanco, esta también hacer un registro de los datos capturados por los sensores que interactúan entre los equipos de refrigeración, correspondientes al hardware, y la aplicación Arduino y ThingSpeak en relación al software.

Figura 6: Registro de los valores de Temperatura y Humedad en ThingSpeak

Fuente: (Jiménez Gómez, ThingSpeak, 2016)

La visualización de los valores registrados en ThingSpeak es posible mostrar en línea, barra, columna y spline. Del mismo modo es posible exportar los valores registrados, de manera individual para cada sensor o el conjunto del sistema de monitoreo, de acuerdo al formato disponible por la aplicación: json, xml o csv.

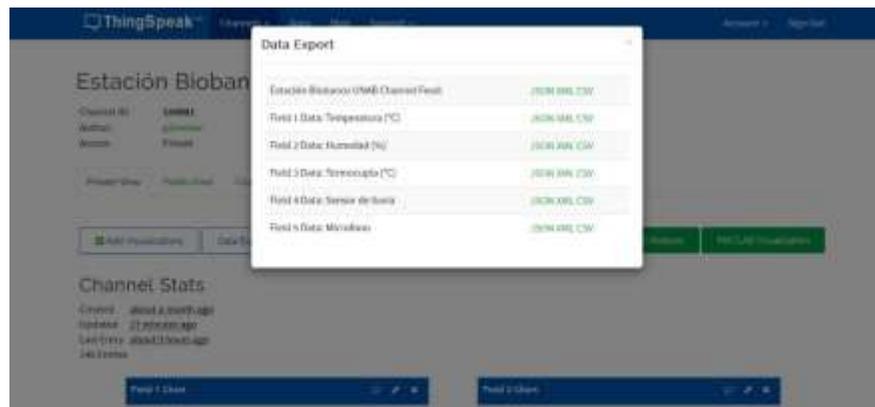
Figura 7: Opciones de visualización de los datos capturados por el sensor de temperatura y humedad DHT11.

Field 1 Chart Options ×

Title:	Sensor de Temperatura	Timescale:	
X-Axis:	Fecha/Hora	Average:	
Y-Axis:	°C	Median:	
Color:	#d62020	Sum:	
Background:	#ffffff	Rounding:	
Type:	column	Data Min:	
Dynamic?:	line bar	Data Max:	
Days:	column spline	Y-Axis Min:	
Results:	60	Y-Axis Max:	

(Jiménez Gómez, ThingSpeak, 2016)

Figura 8: Exportar datos desde ThingSpeak.



(Jiménez Gómez, ThingSpeak, 2016)

3. *Enviar notificaciones al administrador o personal responsable del funcionamiento óptimo de los equipos de enfriamiento, ante alteraciones presentadas en el ultra congelador o área física donde se encuentra disponible el módulo de refrigeración.*

La aplicación ThingSpeak ofrece la funcionalidad a través de la app ThingTweet, en asocio con Twitter, enviar notificaciones a modo de un tweet a la cuenta vinculada, con alertas previamente configuradas en el sistema de monitoreo, específicamente en la aplicación para Internet de las Cosas, ThingSpeak.

Figura 9: Notificación generada por ThingSpeak, de acuerdo a un evento presentado en el sensor de lluvia, enviado posteriormente a Twitter.



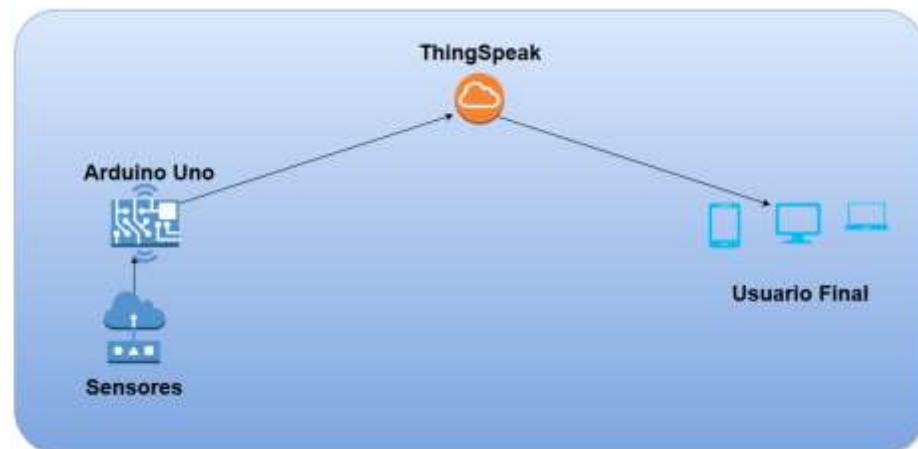
Fuente: (Jiménez Gómez, Twitter, 2016)

2.3. *Diseñar el modelo de base de datos y el modelo de arquitectura web.*

El sistema de monitoreo para el biobanco, dado el manejo de datos que tiene y la disponibilidad de visualización al cliente final, requiere una conexión a una base de datos y por tanto, el desarrollo web de la aplicación.

Teniendo en cuenta el servicio que ofrece ThingSpeak, respecto al registro de los datos recolectados del entorno por medio de los sensores y la exportación de los mismos en diversos formatos, así como la conexión a la red social Twitter para generar alertas; hace de esta plataforma para IoT de libre acceso, cumplir con las necesidades básicas para el proyecto de investigación.

Figura 10: Modelo de arquitectura web.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Por tanto, el modelo de base de datos y el modelo de arquitectura web está inmerso en el núcleo de la aplicación de ThingSpeak, que tanto para el usuario final como para la persona a cargo de la configuración de la plataforma web, son transparentes, sin importar los modelos o diseños en que se basa ThingSpeak para su funcionalidad.

3. Diseñar el componente de hardware basado en los tipos de sensores de temperatura, humedad, inundación y aperturas involuntarias de la puerta del ultra congelador.

Actividades:

3.1. Especificar los diferentes tipos de sensores a emplear y sus características.

La finalidad del sistema de monitoreo para el biobanco es detectar y capturar algunas variables físicas y ambientales, tanto del entorno como de los equipos de refrigeración que almacenan las muestras biológicas.

Para realizar la captura de los datos del medio ambiente y de los dispositivos de enfriamiento, se necesita una serie de sensores que realizan la labor de intermediarios entre la tarjeta Arduino (hardware) y la aplicación para Internet de las Cosas -IoT- (software).

3.1.1. Temperatura y humedad relativa

Para comprender el tipo de dato que va a ser capturado por el sensor respectivo, es conveniente establecer una definición de la variable que se busca medir.

Raymond Chang en su libro Química (Chang, 2002), define la temperatura como una propiedad física que tiene la facilidad de medir sin cambiar la composición o identidad de la sustancia. De manera similar, la Real Academia Española de la Lengua define la temperatura como una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (k).

Desde un enfoque de la fisicoquímica, Ira N. Levine (Levine, 2002) establece la temperatura como una propiedad termodinámica común a los sistemas en equilibrio térmico. Ahora, la termodinámica es el estudio del calor, el trabajo, la energía y los cambios que provocan en los estados de los sistemas.

Teniendo en cuenta que la temperatura es una propiedad medible, según los cambios que se producen en los sistemas, se requiere contar con un instrumento que permita medir la magnitud física según el trabajo y la energía de las moléculas que componen el

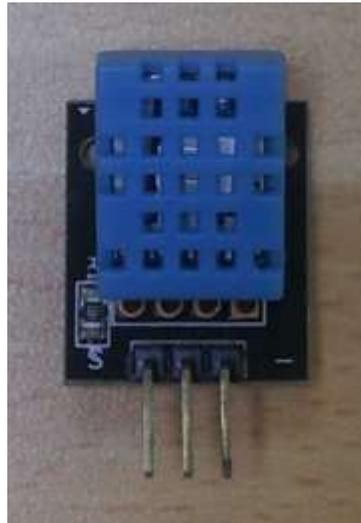
sistema de estudio. El termómetro es el instrumento que permite leer una escala de temperatura, sin embargo, no es práctico disponer de un termómetro de mercurio líquido para determinar el cambio físico en un tiempo específico.

Por otra parte, la humedad relativa es una propiedad física que permite medir el vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima cantidad de vapor de agua que puede alcanzar (Tesauro de la UNESCO, s.f.). La relación entre las dos cantidades (experimental y teórica) se da en términos de porcentaje.

Los grandes avances en el diseño y desarrollo de circuitos integrados, han llevado al impulso del Internet de las Cosas, el cual permite sustituir e implementar dispositivos de mayor volumen y riesgo medio ambiental (teniendo en cuenta la toxicidad del mercurio, en relación al termómetro de mercurio), por sensores de menor tamaño y gran precisión, así como de bajo costo en cuanto su adquisición en el mercado.

Para el prototipo desarrollado para el sistema de monitoreo del biobanco, se ha empleado el sensor de temperatura y humedad DHT11.

Figura 11: Sensor de temperatura y humedad DHT11 de 3 pines.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

El sensor DHT11 incluye un componente resistivo que detecta la humedad y un dispositivo de medición de temperatura NTC (D-Robotics UK) o termistor (Coeficiente de Temperatura Negativo), que en su conjunto están conectados con un microcontrolador de 8 bits de alto desempeño para realizar la conversión de la señal analógica a una señal digital.

El componente NTC varía su resistencia en función de la temperatura que percibe, de modo que al recibir una temperatura mayor que la del ambiente disminuye su valor óhmico, y al detectar una temperatura igual o menor a la temperatura ambiente, el valor de la resistencia aumenta. (Electrónica Fácil, s.f.)

Para el funcionamiento del sensor DHT11 se requiere alimentar por medio de un voltaje entre 3.3 V y 5 V y una corriente entre 0.5 mA y 2.5 mA.

Es necesario tener en cuenta estas características principalmente al integrar con otros sensores, debido a la capacidad de corriente que requiere trabajar cada componente, dado que se pueden presentar alteraciones en la toma de datos como ocurrió en la fase de desarrollo del prototipo.

El intervalo de temperatura que mide el componente DHT11 está entre 0°C y 50°C, con una precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$. En cuanto a la humedad, el rango de medición se encuentra de 20% a 90%.

Una buena captura de datos por parte del sensor implica tener unas condiciones ambientales óptimas, como exposición a material químico, teniendo en cuenta que la alta concentración de polución química perjudica la capa sensitiva del sensor. También una exposición prolongada a la luz solar o alta radiación ultravioleta, afecta el desempeño del componente.

3.1.2. Temperatura interna del ultracongelador

Los equipos de refrigeración que almacenan las muestras biológicas de origen humano requieren mantener una temperatura de -80°C , con el fin de conservar en óptimas condiciones el material de investigación del biobanco.

Por tanto, es importante hacer seguimiento de la temperatura interna del ultracongelador, cuya labor se realiza a través de un sensor que permita capturar temperaturas inferiores a 0°C .

La termocupla recibe una alimentación de 3.3 V a 5 V y la cantidad de corriente máxima que administra es de 50 mA. La temperatura que detecta el dispositivo, por ser un valor análogo, requiere ser digitalizada cuyo proceso se realiza a través de un Convertidor análogo-digital de 12 bit (ADC). (Adafruit)

La conversión de la temperatura se hace por medio de un módulo MAX6675, el cual incluye un hardware de acondicionamiento de señal para convertir la señal de la termocupla dentro de un voltaje compatible con los canales de entrada ADC.

Figura 12: Módulo MAX6675 y Termocupla tipo K.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

La termocupla está forrada con un material aislante para reducir el ruido, cuyo cable se divide en dos conectores que se insertan en el módulo para reducir los errores producidos por introducción de ruido, desde el cable que conduce la señal de la termocupla.

Para una lectura correcta de la temperatura desde la termocupla, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Utilizar el cable más largo posible alejado de fuentes de calor en la zona de medición.
- Si es requerido un cable pequeño, úselo solo en la región de la medición y utilice una extensión de cable para la región que no varíe la temperatura.

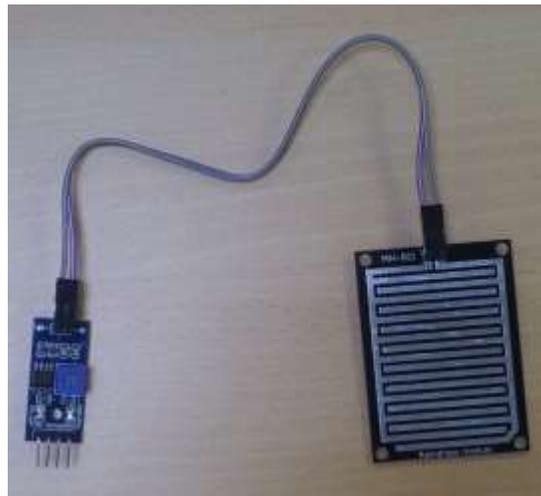
- Evitar el estrés mecánico y las vibraciones, lo cual puede tensionar el cable.
- Cuando use cable largo, use una extensión de cable de par trenzado.
- Evitar cambios bruscos de temperatura.
- Utilizar el material de revestimiento adecuado en entornos hostiles, para proteger el cable de la termocupla.
- Utilizar un cable de extensión solo para temperaturas bajas y en regiones de pequeños gradientes.
- Mantener alejados del módulo MAX6675, dispositivos o componentes que generen calor, porque se produce errores en la lectura de temperatura.

3.1.3. Precipitación o lluvia

El sensor de lluvia permite medir la humedad vía analógica, por medio de pines de salida y suministrando una salida digital cuando se ha excedido el límite de humedad.

El sensor en su conjunto está compuesto por: un módulo electrónico basado en un amplificador operacional LM393 y una tarjeta de circuito impresa que captura las gotas de agua. Como las gotas de agua son recogidas sobre la tarjeta, se crean caminos de resistencia en paralelo que son medidas por el amplificador operacional.

Figura13: Sensor de lluvia LY-83



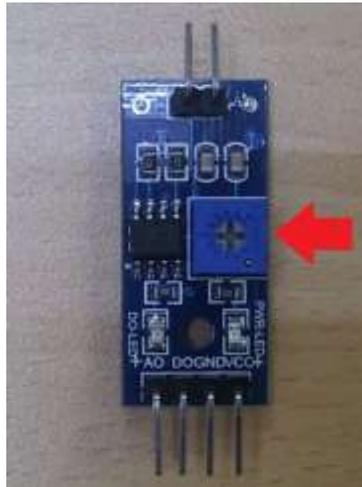
Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Cuanto menor sea la resistencia (o la mayor cantidad de agua), menor será el voltaje de salida. De manera inversa, a menor agua, mayor será el voltaje de salida en el pin análogo.

Cuando la tarjeta está totalmente seca, hará la salida del módulo de 5 voltios (Henry's Bench, s.f.).

Cabe mencionar que el módulo cuenta con un potenciómetro, el cual permite ajustar la sensibilidad al detectar el agua. Por tanto, en el sentido de las manecillas del reloj se adquiere mayor sensibilidad. En sentido anti horario, el agua se detecta a menor sensibilidad.

Figura 14: Módulo del sensor de agua. El potenciómetro que ofrece el grado de sensibilidad, es aquel que apunta con la flecha de color rojo.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

El nivel de humedad suministrado por la salida análoga del sensor, está establecido en 1023 cuando la tarjeta impresa se encuentra seca y disminuye a medida que la humedad aumenta (incluyendo la del entorno), hasta llegar a un valor de 0 cuando la tarjeta impresa está muy mojada.

Figura 15: Valor de 1023 visualizado por ThingSpeak cuando la tarjeta está completamente seca.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Figura 16: Valor de 1015 visualizado por ThingSpeak cuando la tarjeta detecta humedad del entorno donde se encuentra.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Figura 17: Valor de 350 visualizado por ThingSpeak cuando la tarjeta detecta cierta cantidad de agua.



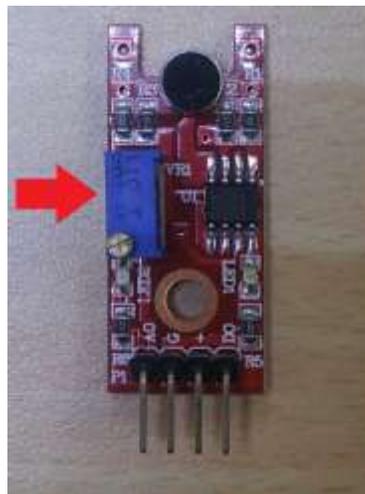
Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

3.1.4. Sonido

El sensor de sonido ofrece la funcionalidad de detectar cuando un sonido excede un valor configurado previamente. La manera de detectar el sonido es por medio de un micrófono y enviado a un amplificador operacional LM393.

De manera similar como ocurre con el sensor de lluvia, el punto de ajuste del nivel de sonido que se desea detectar es ajustado a través de un potenciómetro, ubicado en el módulo.

Figura 18: Sensor de sonido. La flecha de color rojo señala el potenciómetro para regular el nivel de sonido a detectar.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Una vez el nivel de sonido excede el punto de ajuste, el LED2 ubicado en el módulo se ilumina y se envía el dato (Henry's Bench, s.f.).

Ahora, dado que este componente mide si el sonido que detecta excede o no un límite, se determina previamente lo que se desea capturar, por ejemplo:

- Detectar si un motor está en ejecución o no.
- Al no detectar sonido, se puede crear un ambiente opcional activando la música deseada.

- Cuando no se presenta un sonido o movimiento, es posible habilitar el ahorro de energía en un recinto y apagar las luces.

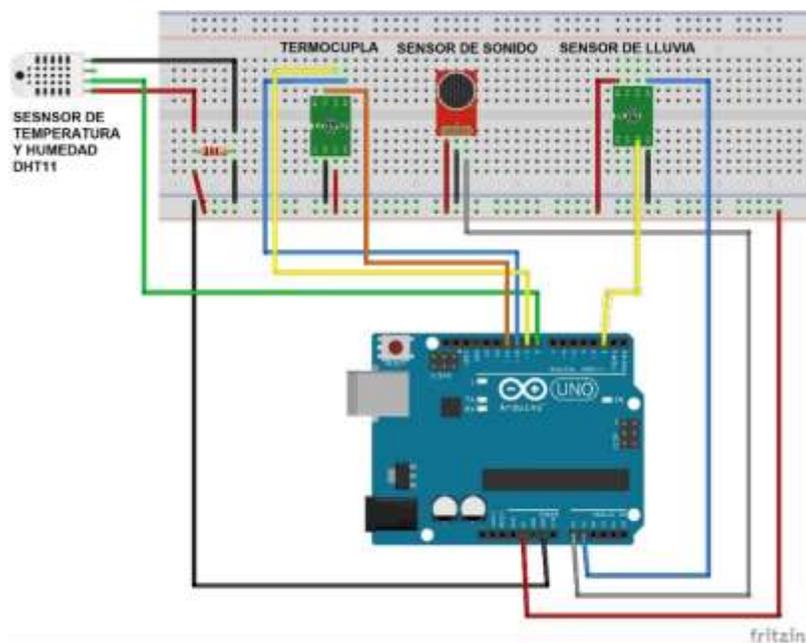
Entonces, dadas las condiciones del sonido que se requiere capturar por medio del sensor, es posible establecer un umbral en el sonido del ultracongelador, de modo que se determine si el equipo de enfriamiento emite o no una alarma. Sin embargo, para efectos del proyecto de investigación, no fue posible establecer el sonido característico de la alarma, por lo que queda pendiente para labores futuras.

3.2. Realizar el esquema de conectividad entre los sensores y el microcontrolador Arduino.

Cada uno de los sensores a emplear en el sistema de monitoreo es compatible con la placa de desarrollo Arduino, cuya conectividad se realiza según indicaciones en el código de programación, donde se especifica cada uno de los pines.

Con el fin de facilitar al lector del proyecto de investigación, a continuación se visualiza un esquema o mapa del prototipo del sistema de monitoreo para biobanco.

Figura 19: Esquema del prototipo para el sistema de monitoreo



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

La conectividad a la alimentación de energía de 5 voltios corresponde al camino de color rojo, en tanto la conexión a tierra se simboliza por la ruta de color negro. Inicialmente se realiza un puente entre la tarjeta Arduino y la protoboard, con el fin de realizar las distribuciones entre cada uno de los módulos que componen el sistema de monitoreo.

Para el sensor de temperatura DHT11, la comunicación digital se lleva a cabo a través del pin 8. En cuanto a la resistencia ($2k\Omega$) ubicada entre la alimentación y la tierra, se ha establecido con el fin de reducir el paso de corriente y de esta manera impedir la visualización de datos erróneos.

En cuanto a la termocupla, los pines a cargo de realizar la comunicación (serial, frecuencia de reloj y digital) se realiza por medio de los orificios 9, 10 y 11 respectivamente.

El sensor de sonido especifica la entrada análoga por medio del puerto A0 y para el sensor de lluvia corresponde al pin A1 de la tarjeta de desarrollo Arduino Uno.

3.3. *Recopilar las librerías a utilizar para cada sensor.*

Para el funcionamiento ideal del sistema de monitoreo del biobanco, cuya labor se realiza por medio de los sensores descritos en el numeral 3.1., es necesario habilitar cada uno de los dispositivos o módulos, de modo que tengan la funcionalidad de capturar las variables físicas y ambientales para hacer el seguimiento de los ultracongeladores y del espacio físico donde están ubicados.

Dado que el sistema de monitoreo se establece como un dispositivo interactivo, debido a que procesa la información que obtiene de ciertos sensores, los cuales convierten medidas del mundo real en señales eléctricas. Dicho proceso de la información se implementa a través de un software, que para cada sensor específico se denomina *librería*.

Todo componente de hardware que interactúa con la tarjeta Arduino requiere de una librería, cuya semejanza es igual a un equipo de cómputo, en donde cada componente hardware necesita de un controlador, que corresponde al software, de modo que los datos que captura por medio de los sensores sean enviados vía WiFi a la plataforma ThingSpeak.

Por tanto, desde la tarjeta de conexión WiFi hasta el enlace con ThingSpeak, necesitan de una librería, las cuales están disponibles en

la web y en algunos casos en la página del proveedor del componente hardware y de la plataforma de libre acceso para IoT.

Teniendo en cuenta que el sistema de monitoreo está basado Arduino, que es una plataforma de sistema informático físico de código libre (Banzi, 2011); se caracteriza por ser una comunidad de usuarios activa donde está disponible gran cantidad de librerías para cada sensor específico.

Sin embargo, a pesar de encontrar en internet diversidad de *sketch* para hacer posible el sistema interactivo, no todas se adaptaban a los requerimientos o no ejecutaban.

Debido a la situación que presentaba, fue necesario realizar un estudio rápido del lenguaje de programación C, núcleo del lenguaje Processing, en el cual está inspirado Arduino.

Por medio del autoaprendizaje de manera autodidacta, que a modo personal se denomina aprendizaje profundo, debido al corto tiempo en adquirir habilidades básicas en el lenguaje de programación C y su inserción en la librería.

3.3.1. *Plataforma para Internet de las Cosas ThingSpeak*

Para el proyecto de investigación, la librería que presentó mayor dificultad para enlazar con la tarjeta Arduino, fue la correspondiente a la plataforma de libre acceso para Internet de las Cosas –ThingSpeak-, cuya documentación disponible en la página web (The MathWorks, Inc, s.f.) así como los ejemplos (The MathWorks, Inc, s.f.), no se adaptan a la tarjeta de desarrollo Arduino empleada para el prototipo elaborado, basada en Arduino Uno.

Para realizar la conexión con el canal configurado en ThingSpeak, denominado Estación Biobanco UNAB, se debe crear una variable de tipo unsigned long (tipo de dato que usa 4 bytes de memoria para representar un número comprendido entre 0 y 4.294.967.295) que guarda el ID del canal –Chanel ID-.

Figura 20: Identificación del canal en ThingSpeak, para el sistema de monitoreo del biobanco.



Fuente: (Jiménez Gómez, ThingSpeak, 2016)

Figura 21: Identificación del canal en ThingSpeak, establecido como una variable en el sketch de Arduino, cuyo tipo de dato es unsigned long.

```
//ThingSpeak Settings Meat temp API Key
char thingSpeakAddress[] = "api.thingspeak.com";
String myWriteAPIKey = "T5H3BD4WIVM8BAB4";
unsigned long StationWeatherChanelNumber = 159001;
```

Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

La comunicación vía WiFi entre la tarjeta Arduino y la plataforma ThingSpeak requiere adicionalmente la librería de la shield WiFi (LinkSprite CC3000), configuración que se hace para la conexión a internet.

Figura 22: Shield de comunicación WiFi ubicada sobre la tarjeta Arduino Uno.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Figura 23: Fragmento de código para la configuración que permita la conexión a internet desde Arduino a ThingSpeak.

```

todo_en_uno Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

todo_en_uno
#include <string.h>

//Configuración para la conexión a internet
#define ADAFRUIT_CC3000_IRQ  3
#define ADAFRUIT_CC3000_VBAT 5
#define ADAFRUIT_CC3000_CS  10
Adafruit_CC3000 cc3000 = Adafruit_CC3000(ADAFRUIT_CC3000_CS,
                                         ADAFRUIT_CC3000_IRQ,
                                         ADAFRUIT_CC3000_VBAT, SPI_CLOCK_DIVIDER);

//Use these lines for network
#define WLAN_SSID  "AndroidAP"
#define WLAN_PASS
#define WLAN_SECURITY WLAN_SEC_WPA2

//ThingSpeak Settings Heat temp API Key
char thingSpeakAddress[] = "api.thingSpeak.com";

```

Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Una vez se ha establecido la configuración del canal y la configuración de la shield WiFi CC3000, se procede a enviar los datos que captura cada uno de los sensores, creando una instancia para cada variable, de modo que visualice cada captura en ThingSpeak.

Figura 24: Fragmento de código para el envío de datos desde Arduino a ThingSpeak.

```

todo_en_uno Arduino 1.6.6
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

todo_en_uno
delay(2000);

//Inicia envío de datos de temperatura a ThingSpeak
String tem = String(temperature, DEC);
String hum = String(humidity, DEC);

//Inicia envío de datos de la termocupla a ThingSpeak
String termo = String(ktc.readCelsius());

//Inicia envío de datos del sensor de lluvia a ThingSpeak
String lluvia = String(mRainVal);

//Inicia envío de datos del sensor de microfono a ThingSpeak
String micro = String(sensorValue, DEC);

Serial.print(F("spi-thingspeak.com -> "));

```

Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Aunque existen otras plataformas de libre acceso para Internet de las Cosas, se optó por escoger ThingSpeak debido a las siguientes características:

- Está centrada en el registro del sensor.
- Permite hacer seguimiento de la ubicación del sensor.
- Ofrece la funcionalidad de configurar activadores y alertas, por ejemplo a través de Twitter.
- Análisis de resultados aprovechando una versión de Matlab para Internet de las Cosas, aunque para tener todas las funcionalidades se requiere adquirir una licencia del software de análisis matemático. Sin embargo, se hace la aclaración que la UNAB cuenta con la licencia de Matlab, aunque su funcionamiento está restringido dentro de las instalaciones de los diversos campus de la Universidad; sin

posibilidad de realizar análisis de datos fuera del claustro universitario.

A continuación se hace una breve descripción de otras plataformas para Internet de las Cosas de libre acceso:

[AllSeen Alliance](#): Es una plataforma de código abierto ampliamente utilizada debido al framework de interoperabilidad AllJoyn, supervisado por AllSeen Alliance (ASA).

[DeviceHive](#): Es una plataforma de gestión de dispositivos que se ejecutan sobre servicios en la nube como Azure, Amazon Web Services, Apache Mesos y OpenStack. Su enfoque es el Big Data usando herramientas analíticas como Elasticsearch, Apache Spark, Cassandra y Kafka. También existe un componente de puerta de enlace que se ejecuta sobre cualquier dispositivo que corre Ubuntu Snappy Core.

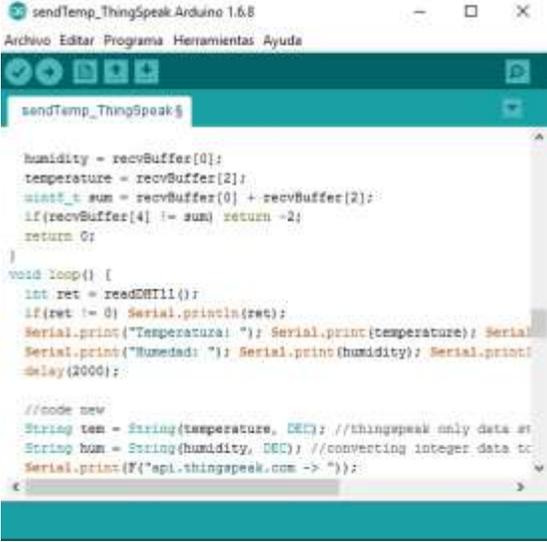
[Eclipse IoT \(Kura\)](#): La vertiente del proyecto Eclipse para IoT esta construida en Java/OSGi, basada en la plataforma contenedora Kura API.

Las referencias anteriores han sido tomadas de Linux Foundation (The Linux Foundation, s.f.), donde se menciona otros servicios para Internet de las Cosas con pago de licencia como [Amazon AWS IoT](#) y [Verizon's ThingSpace](#).

3.3.2. Sensor de humedad y temperatura DHT11.

Para realizar la conectividad entre el sensor de temperatura y humedad se incluyó en la tarjeta de desarrollo la librería DHT, con la novedad tanto para este componente como para los demás módulos utilizados en el proyecto de investigación, se realizaron pruebas de conectividad a ThingSpeak, por lo que se incluye también la librería de la plataforma para IoT.

Figura 25: Fragmento de la librería para el sensor de temperatura y humedad DHT11.



```
sendTemp_ThingSpeak Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sendTemp_ThingSpeak

humidity = recvBuffer[0];
temperature = recvBuffer[2];
uint_t sum = recvBuffer[0] + recvBuffer[2];
if(recvBuffer[4] != sum) return -2;
return 0;
}

void loop() {
  int ret = readDHT11();
  if(ret != 0) Serial.println(ret);
  Serial.print("Temperatura: "); Serial.print(temperature); Serial
  Serial.print("Humedad: "); Serial.print(humidity); Serial.print
  delay(2000);

  //code new
  String tem = String(temperature, DEC); //thingspeak only data st
  String hum = String(humidity, DEC); //converting integer data to
  Serial.print(F("api.thingspeak.com -> "));
```

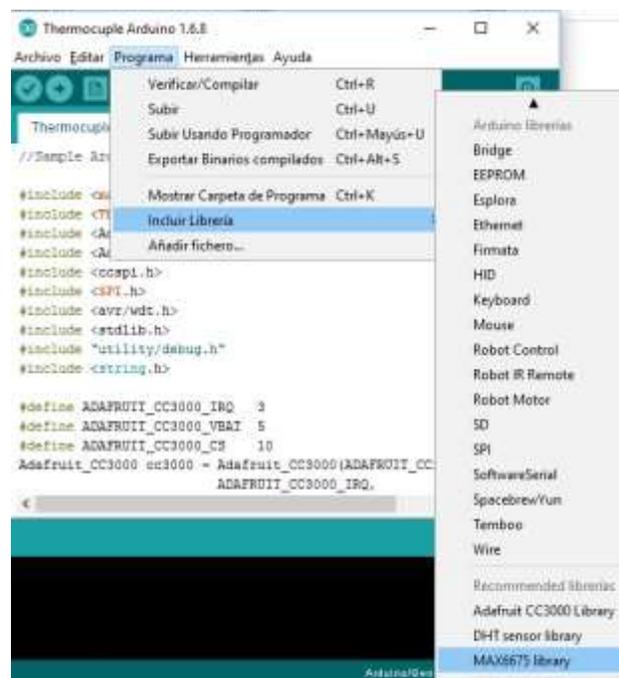
Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

3.3.3. Sensor de la termocupa.

El controlador para facilitar la interacción entre la termocupa tipo K y la tarjeta Arduino Uno es la librería max6675, denominada de manera similar al módulo que hace parte del componente en su conjunto.

La librería max6675 fue tomada del sitio web Henry's Bench (Henry's Bench, s.f.), aunque para hacer la conectividad con ThingSpeak fue necesario realizar unas modificaciones en el código.

Figura 26: Librería MAX6675 para el funcionamiento de la termocupa.



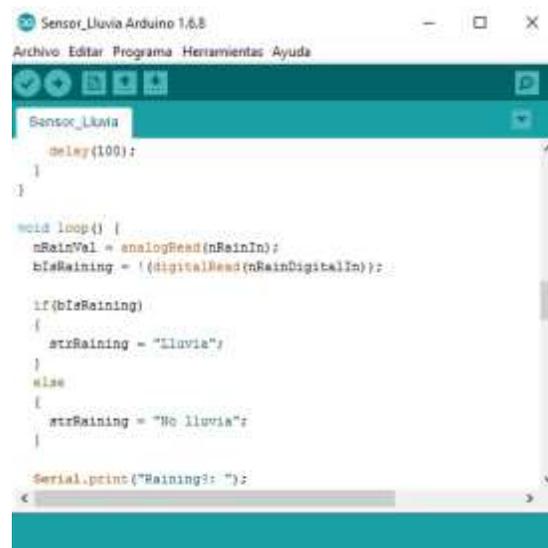
Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

3.3.4. Sensor de lluvia.

En los sistemas de cómputo actualmente existen una diversidad de dispositivos que una vez son conectados, el sistema operativo Windows instala automáticamente el controlador requerido para el hardware. Esta tecnología se conoce como Plug-and-Play.

De manera similar se evidencia este comportamiento para el sensor de lluvia, en cuyo código creado para su interactividad con la tarjeta Arduino Uno, no requiere una librería específica para su operación, aunque el código específico se encuentra disponible en la web (Henry's Bench, s.f.)

Figura 27: Sketch para el sensor de lluvia.



```
Sensor_Lluvia Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Sensor_Lluvia
delay(100);
}

void loop() {
  nRainVal = analogRead(nRainIn);
  bIsRaining = (digitalRead(nRainDigitalIn));

  if (bIsRaining)
  {
    strRaining = "Lluvia";
  }
  else
  {
    strRaining = "No lluvia";
  }

  Serial.print("Raining?: ");
```

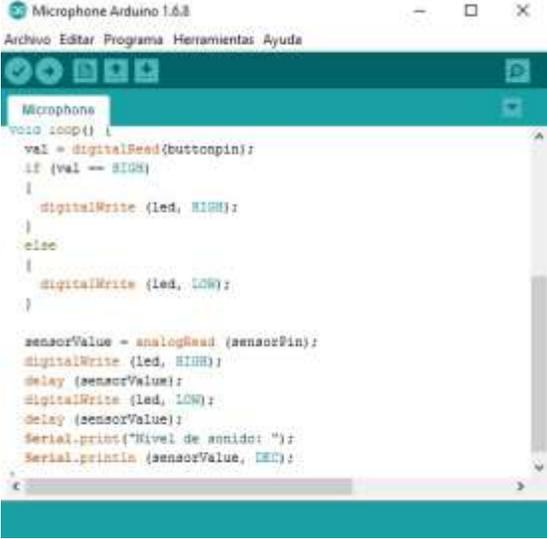
Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

3.3.5. Sensor de sonido.

El sensor de sonido tiene un comportamiento similar al sensor de lluvia, dado que no necesita una librería específica para su ejecución, al menos de manera evidente no se detecta.

Para permitir la interacción entre el sensor y la tarjeta Arduino, se basó en la ayuda disponible en la comunidad Arduino a través de la página web (Henry's Bench, s.f.).

Figura 28: Sketch para el sensor de sonido.



```
Microphone Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Microphone
void loop() {
  val = digitalRead(buttonpin);
  if (val == HIGH)
  {
    digitalWrite (led, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite (led, LOW);
  }

  sensorValue = analogRead (sensorPin);
  digitalWrite (led, HIGH);
  delay (sensorValue);
  digitalWrite (led, LOW);
  delay (sensorValue);
  Serial.print("Nivel de sonido: ");
  Serial.println (sensorValue, DEC);
}
```

Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

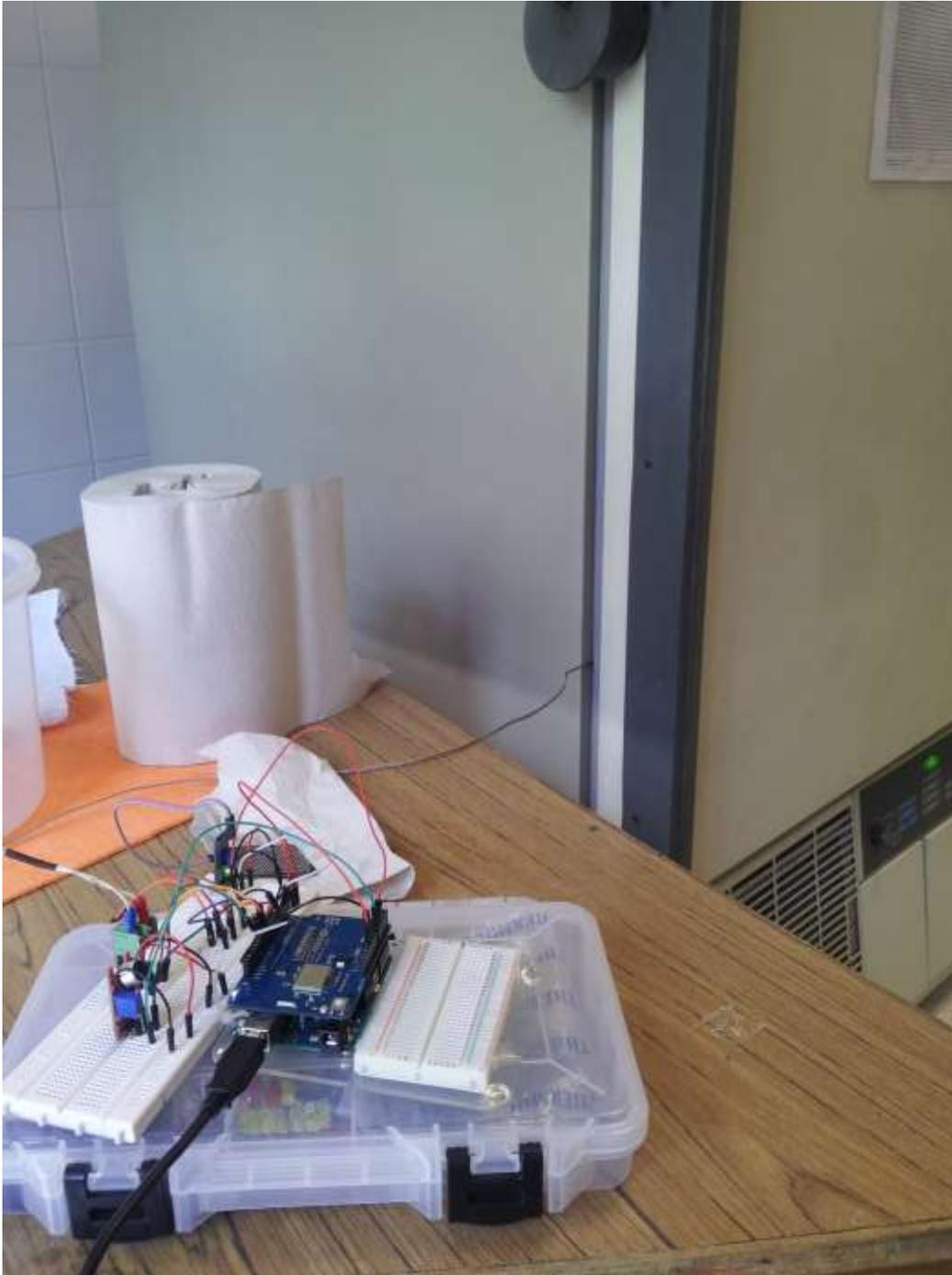
El prototipo del sistema de monitoreo fue probado en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UNAB, en el campus El Bosque, donde está ubicado el biobanco, donde se determinó que se requiere que el circuito en su conjunto insertado en una caja, de modo que brinde protección a maniobrabilidad al dispositivo que va a desempeñar el respectivo seguimiento, tanto del entorno como de los equipos de conservación de las muestras biológicas.

Figura 29: Prototipo del sistema de monitoreo haciendo seguimiento en el ultracongelador que almacena material genético.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Figura 30: Prototipo del sistema de monitoreo para biobanco ubicado en uno de los ultracongeladores. El cable que va de la protoboard al ultracongelador hace parte de la termocupla.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

Figura 31: Prototipo del sistema de monitoreo realizando pruebas. El sensor de lluvia se encuentra sobre una servilleta, luego de haber pasado la prueba de agua.



Fuente: (Jiménez Gómez, 2016)

9. CONCLUSIONES

- La literatura científica relacionada con sistemas de monitoreo para biobanco, basada en Internet de las Cosas, es nula en las bases de datos bibliográficas, por lo menos en los servicios en línea de ACM, IEEE y Proquest; los cuales fueron base de búsqueda para el proyecto de investigación. Por tanto, el presente trabajo de grado se puede considerar un inicio para este tema de estudio que tiene aplicación para la investigación médica, así como para la industria de conservación de alimentos y materias primas.
- El proyecto Arduino permite aplicar la electrónica y la programación a proyectos diversos como en el área de la salud, agricultura, seguridad, hogar, entre otros; a costos muy bajos en relación a las placas de desarrollo (hardware), que en comparación con sistemas de monitoreo comerciales de mayor inversión, realizan las misma funcionalidad con posibilidad de asimilar a las necesidades de las organizaciones.
- La plataforma de libre acceso para Internet de las Cosas ThingSpeak ofrece varias aplicaciones que además de realizar el registro de los datos capturados por los sensores de temperatura y humedad, temperatura interna del ultracongelador, precipitaciones y sonido (en relación a la alarma generada por la apertura de la puerta; permite hacer el análisis de datos a través del software de análisis matemático Matlab y el envío de notificaciones a Twitter. Dadas estas ventajas al utilizar servicios y software fiable, dan seguridad al manejo de los datos y al envío de alertas ante eventos que al presentarse, generen riesgo a la conservación de las muestras biológicas almacenadas en cada uno de los ultracongeladores.
- La plataforma de ThingSpeak a pesar de tener una interfaz gráfica básica para la visualización de los datos, se requiere hacer una serie de modificaciones en el servicio web, de modo que se adapte a las necesidades del personal que administra el biobanco, según recomendaciones dadas por las profesionales que realizaron la labor de validación del sistema de monitoreo.

- Para realizar una captura de datos de los diversos sensores y posterior visualización de datos fiables, se requiere hacer una revisión periódica de los pines que hacen la conexión con la placa de desarrollo Arduino, con el fin de remover rastros de sulfatos. Durante la realización de las pruebas con los mismos sensores, se encontró que la superficie sulfatada altera la lectura de los datos tomados por los sensores correspondientes al sistema de monitoreo para el biobanco.
- La ventaja del proyecto Arduino es la comunidad abierta de usuarios que permite el aprendizaje colaborativo, por tanto es posible encontrar en los tableros de discusión gran cantidad de librerías (software) que permiten la interacción de los sensores con el mundo físico. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto de investigación se evidenció la dificultad para hacer la conexión de la tarjeta de red inalámbrica con la tarjeta Arduino Uno, para el posterior envío de los datos a ThingSpeak.
- Para realizar el diseño del prototipo del sistema de monitoreo es esencial tener conocimientos sobre las corrientes consumidas por cada sensor. No tener en cuenta esta recomendación, genera fallas en la lectura de cada sensor. El componente pasivo resistivo reduce el paso de corriente en cada sensor y por consiguiente, la visualización de datos fiables en la plataforma ThingSpeak.
- La tecnología de Internet de las Cosas permite la conexión de dispositivos, diferentes a los equipos de cómputo y equipos de redes, gracias al auge de internet. Aunque el paradigma del Internet de las Cosas es facilitar la vida de las personas, del mismo modo ayuda a la investigación en salud, específicamente en hallar el origen de enfermedades cardiovasculares (ECV), a nivel local mediante el programa Cardiecol.
- La programación de componentes electrónicos (microcontroladores) ha estado restringida para profesionales de la electrónica, cuyo lenguaje de programación más usado es C/C++. Sin embargo la plataforma Arduino permite la programación de sistemas interactivos, cuyo requisito básico es tener pasión y entusiasmo por aprender un nuevo lenguaje de programación, el cual permite crear dispositivos electrónicos a bajo costo en comparación con los productos comerciales. La programación enfocada hacia el Internet de las Cosas cobra “vida”, al evidenciar como unas líneas de código permiten la interacción con el entorno.

10. TRABAJO FUTURO

Teniendo en cuenta la experiencia durante el desarrollo del proyecto de investigación y las mejoras para el sistema de monitoreo del biobanco, se mencionan a continuación las mejoras que se consideran pertinentes:

- Disponer de un encapsulado de menor tamaño, donde se encuentren agrupados la tarjeta de desarrollo Arduino y los sensores respectivos.
- Realizar el análisis del gran volumen de datos capturados por medio de los sensores, utilizando la tecnología de Big Data y por consiguiente su analítica de datos.
- Desarrollo e implementación de dispositivos actuadores, con la funcionalidad de responder a las alertas emitidas por el sistema de monitoreo, ante eventos que se presenten en el área donde reposan los ultracongeladores.
- Implementar el sistema de monitoreo móvil, especialmente cuando se requiere el traslado de muestras biológicas, con el propósito de hacer seguimiento desde el punto de partida de los especímenes hasta la recepción del material biológico.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Adafruit. (s.f.). Obtenido de <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MAX6675.pdf>
- Arduino. (2016). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Banzi, M. (2011). *Introducción a Arduino*. O'Reilly Media, Inc.
- Banzi, M. (2011). *Introducción a Arduino. La revolución del hardware libre en el diseño industrial y el arte interactivo*. En *Introducción a Arduino. La revolución del hardware libre en el diseño industrial y el arte interactivo*. (págs. 39, 40). Madrid: O'Reilly Media.
- Barrios Rodriguez, J., & Vera Duran, D. C. (2005). *Sistema de monitoreo en servidores con generación de reportes a telefonía inalámbrica y web*. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Calderón Calderón, C. R. (2015). *Prototipo de sistema informático para la captura de información ambiental en espacios cerrados y monitoreo en tiempo real*. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Chang, R. (2002). *Química* (7 ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Cheng, L., Sun, W., Zhang, X., Ur Rehman, M., & Yang, X. (2015). Software design of a monitoring and management system in the Internet of Things. *8th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*, (págs. 1308-1312). Shenyang. doi:10.1109/CISP.2015.7408084
- Cheng-Jun, Z. (2014). Research and Implementation of Agricultural Environment Monitoring Based on Internet of Things. *Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications* (págs. 748-752). Hunan, China: IEEE. doi:10.1109/ISDEA.2014.170
- D-Robotics UK. (s.f.). Obtenido de <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- Electrónica Fácil*. (s.f.). Obtenido de <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Resistencias-no-lineales.php>
- Fang, S., Da Xu, L., Zhu, Y., Ahati, J., Pei, H., Yan, J., & Liu, Z. (2014). An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1596-1605. doi:10.1109/TII.2014.2302638

- Forero Vargas, D., & Jaraba Garcia, R. A. (2008). Validación de una red de sensores inalámbricos para el control de la calidad del aire en la zona industrial de Bucaramanga. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Gaskell, G., Gottweis, H., Starkbaum, J., Gerber, M., Broerse, J., Gottweis, U., . . . Snell, K. (2013). Publics and biobanks: Pan-European diversity and the challenge of responsible innovation. *European Journal of Human Genetics : EJHG*, 21(1), 14-20.
doi://dx.doi.org.aure.unab.edu.co/10.1038/ejhg.2012.104
- Gayatri, M., Jayasakthi, J., & Anandha Mala, G. S. (2015). Providing Smart Agricultural solutions to farmers for better yielding using IoT. *IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)* (págs. 40-43). IEEE. doi:10.1109/TIAR.2015.7358528
- Henry's Bench. (s.f.). Obtenido de <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/arduino-rain-sensor-module-guide-and-tutorial/>
- Henry's Bench. (s.f.). Obtenido de <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/arduino-sound-detection-sensor-tutorial-and-user-manual/>
- Henry's Bench. (s.f.). Obtenido de <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-temperature-measurements/max6675-temp-module-arduino-manual-and-tutorial/>
- Henry's Bench. (s.f.). Obtenido de <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/arduino-sound-detection-sensor-tutorial-and-user-manual/>
- Jiménez Gómez, G. (2016). Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Jiménez Gómez, G. (2016). ThingSpeak. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Jiménez Gómez, G. (2016). Twitter. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Levine, I. (2002). *Fisicoquímica* (5 ed., Vol. 1). Madrid, España: McGraw-Hill.
- Lopez Cortes, C. A., Rodriguez, L. C., & Bustos Barba, R. (2006). Sistema de monitoreo mediante cámaras inalámbricas para vigilancia. Bucaramanga, Santander, Floridablanca.
- Mayo Clinic. (2013). The Mayo Clinic Biobank: A Building Block for Individualized Medicine. *Mayo Clinic Proceedings*, 952.
- OECD. (2008). Organisation for Economic Cooperation and Development: Draft guidelines for human biobanks and genetic research databases.

- Olson, J., Ryu, E., Johnson, K., & Koenig, B. (2013). The Mayo Clinic Biobank: A Building Block for Individualized Medicine. *Mayo Clinic Proceedings*, 88(9), 952-963.
- Olson, J., Ryu, E., Johnson, K., Koenig, B., Maschke, K., Morrisette, J., . . . Sharma, R. (September de 2013). The Mayo Clinic Biobank: a building block for individualized medicine. *Mayo Clinic proceedings*, 88(9), 952-962. doi:10.1016/j.mayocp.2013.06.006
- Serrano Díaz, N., Guio Mahecha, E., Páez Leal, M., & Luna González, M. (2016). Biobanco: Herramienta fundamental para la investigación biomédica actual. *Salud UIS*.
- Serrano-Díaz, N., Páez-Leal, M., Luna-González, M., & Guío-Mahecha, E. (2016). Biobanco: Herramienta. *Rev Univ Ind Santander Salud*, 48(2), 97-117.
- Shickle, D., Griffin, M., & El-arifi, K. (2010). Inter- and Intra-Biobank Networks: Classification of Biobanks. *Pathobiology*, 77(4), 181-190. doi://dx.doi.org.aure.unab.edu.co/10.1159/000292651
- Tesoro de la UNESCO. (s.f.). *UNESCO Thesaurus*. Obtenido de <http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/search?clang=es&q=humedad>
- The Linux Foundation. (s.f.). Obtenido de <https://www.linux.com/news/21-open-source-projects-iot>
- The MathWorks, Inc. (s.f.). Obtenido de <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/?requestedDomain=www.mathworks.com>
- The MathWorks, Inc. (s.f.). Obtenido de <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/examples.html>
- Wang, C., Daneshmand, M., Dohler, M., Mao, X., Mukhopadhyay, S. C., Qingyang Hu, R., & Wang, H. (2013). Guest Editorial - Special Issue on Internet of Things (IoT): Architecture, Protocols and Services. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), 3505-3510. doi:10.1109/JSEN.2013.2274906