

Sistemas de alerta temprana como herramienta de prevención de infecciones respiratorias agudas con IoT.

**Laura Elizabeth Salgado Bohórquez
Johan Mateo Moreno Rojas**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS PROGRAMA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA BOGOTÁ D.C.
2022**

Sistemas de alerta temprana como herramienta de prevención de infecciones respiratorias agudas con IoT.

**Laura Elizabeth Salgado Bohórquez
Johan Mateo Moreno Rojas**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Electrónicos.

**Director
Ing. Walder de Jesús Canova**

**Codirector
Ing. John Petearson Anzola Anzola**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS PROGRAMA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA BOGOTA D.C.
2022**

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C., 2022

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia por el apoyo constante.

A todas las personas que hicieron posible que las mujeres seamos Ingenieras.

~ Laura Salgado ~

Agradezco a mi familia y a todas aquellas personas que aportaron a mi crecimiento profesional y a la universidad Fundación Universitaria los Libertadores por cada uno de los servicios brindados.

~ Mateo Moreno ~

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	OBJETIVOS.....	7
2.1.	OBJETIVO GENERAL	7
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
3.2.	JUSTIFICACIÓN.....	9
3.3.	ALCANCE Y DELIMITACIONES	10
4.	TRABAJOS REALIZADOS.....	11
5.	MARCO TEÓRICO	14
5.1.	DEFINICIÓN DE INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS (IRA)	14
5.1.1.	ASPECTOS ETIOLÓGICOS	14
5.1.2.	MODO DE TRANSMISIÓN	14
5.1.3.	VIABILIDAD DE LOS VIRUS EN LA HUMEDAD RELATIVA.....	15
5.2.	VARIABLES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA	16
5.2.1.	HUMEDAD	16
5.2.2.	TEMPERATURA.....	16
5.2.3.	RELACIÓN ENTRE HUMEDAD Y TEMPERATURA.....	16
5.3.	IOT	16
5.3.1.	PROTOCOLOS DEL IOT.....	17
5.3.1.1.	MQTT.....	17
5.3.1.2.	COAP	18
5.3.1.3.	WEBSOCKET	19
5.3.2.	COMPARATIVA DE PROTOCOLOS IOT	19
5.4.	TECNOLOGÍAS BASADAS EN LA NUBE	20
5.4.1.	AMAZON WEB SERVICES (AWS).....	20
5.4.2.	MICROSOFT WINDOWS AZURE.....	20
5.4.3.	GOOGLE CLOUD COMPUTING.....	21
5.4.4.	COMPARATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS BASADAS EN LA NUBE.....	22
5.5.	BASES DE DATOS TEMPORALES Y GRAFANA	23
5.5.1.	INFLUXDB	23
5.5.2.	PROMETHEUS.....	23
5.5.3.	OPENTSDB.....	24
5.5.4.	COMPARATIVA DE BASES DE DATOS NO RELACIONAL	24
5.5.5.	GRAFANA DASHBOARD.....	25

5.6.	DISPOSITIVOS Y EQUIPOS	26
5.6.1.	SENSORES.....	26
5.6.1.1.	HIGRÓMETRO.....	26
5.6.1.2.	TERMÓMETRO DIGITAL.....	26
5.6.1.3.	SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD SERIE SHT3X.....	27
5.6.2.	TARJETAS DE DESARROLLO PARA IOT	27
5.6.2.1.	MÓDULO <i>ESP32</i>	27
5.6.3.	EQUIPAMIENTO REQUERIDO	27
6.	MODELO Y EXPERIMENTOS	29
6.1.	MODELO	29
6.2.	MODELO CONECTIVIDAD.....	29
6.3.	PLANTEAMIENTO DEL EXPERIMENTO	30
6.3.1.	EXPERIMENTO 1.....	30
6.3.2.	EXPERIMENTO 2.....	31
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
7.1.	FASE 1: RESULTADOS DEL AMBIENTE SIN ALTERACIONES	34
7.2.	FASE 2: RESULTADOS DEL AMBIENTE ALTERADO POR EL HUMIDIFICADOR	34
8.	SISTEMA DE CONTROL Y ALERTAS TEMPRANAS	40
9.	CONCLUSIONES.....	41
9.1.	POSIBLES MEJORAS Y RECOMENDACIONES	41
10.	REFERENCIAS	42
11.	ANEXOS.....	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MODELO DE CONECTIVIDAD.	30
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DE SENSORES SALA - COMEDOR	31
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE SENSORES EN HABITACIÓN.....	31
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA POR CUADRÍCULAS.	32
FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DURANTE LOS TRES PERIODOS DE EXPERIMENTACIÓN.	33
FIGURA 6. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE LOS TRES PERIODOS DE EXPERIMENTACIÓN.....	33
FIGURA 7. HUMEDAD EN SU ESTADO NATURAL.	34
FIGURA 8. TEMPERATURA EN SU ESTADO NATURAL.	34
FIGURA 9. HUMEDAD ALTERADA POR DISPOSITIVO HUMIDIFICADOR.	35
FIGURA 10. TEMPERATURA ALTERADA POR DISPOSITIVO HUMIDIFICADOR.	35
FIGURA 11. TEMPERATURA ALTERADA POR DISPOSITIVO DESHUMIDIFICADOR.....	36
FIGURA 12. HUMEDAD ALTERADA POR DISPOSITIVO DESHUMIDIFICADOR.....	36
FIGURA 13. DISPERSIÓN DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL MEDIO SIN ALTERAR.	37
FIGURA 14. HUMEDAD POR CUADRANTE EN EL PERIODO 2 DE EXPERIMENTACIÓN.	38
FIGURA 15. TEMPERATURA POR CUADRANTE EN EL PERIODO 2 DE EXPERIMENTACIÓN.	38
FIGURA 16. HUMEDAD POR CUADRANTE EN EL PERIODO 3 DE EXPERIMENTACIÓN.	39
FIGURA 17. TEMPERATURA POR CUADRANTE EN EL PERIODO 3 DE EXPERIMENTACIÓN.	39

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS IOT.....	19
TABLA 2. COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS BASADAS EN LA NUBE.....	22
TABLA 3. COMPARACIÓN DE BASES DE DATOS NO RELACIONES.....	25
TABLA 4. HUMEDAD DEL AMBIENTE SIN ALTERAR.....	37
TABLA 5. TEMPERATURA DEL AMBIENTE SIN ALTERAR	37

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo de grado se diseñó un sistema IoT de alerta temprana que permite el control de humedad relativa para reducir la probabilidad de contagio de los microorganismos patógenos de la Infección Respiratoria Aguda (IRA) en un ambiente interior en la ciudad de Bogotá, controlando el cambio de humedad al alterarse con un dispositivo humidificador y deshumidificador. El sistema implementado recibe la información leída por los sensores de humedad relativa y temperatura que se pretenden usar durante el análisis, esta información se almacenó con el fin de generar alertas tempranas que permitan activar el dispositivo humidificador y deshumidificador, variando la concentración de agua particulada en el ambiente como se describe en el capítulo 6.

Se llevó a cabo en diferentes entornos de un hogar en la ciudad de Bogotá, con lo que se pretende fortalecer el ambiente interior de los hogares en la ciudad, aportando la humedad necesaria, para que se reduzca de forma significativa la probabilidad de contagio por agentes patógenos respiratorios que puedan causar graves enfermedades.

El proceso a implementar inició con la recolección de datos de humedad de diferentes espacios del hogar en prueba en su estado natural, luego alterando la humedad del ambiente con humidificadores y deshumidificadores, que aportaron o redujeron las partículas de agua en el entorno, estos datos serán analizados estadísticamente con el fin de crear un sistema de alertas, que permita activar un control para el funcionamiento del humidificador y deshumidificador durante el tiempo requerido, para alcanzar la humedad característica sugerida en diferentes estudios realizados a nivel mundial descritos en el capítulo 4.

Ya que la IRA constituye el grupo de enfermedades que mayor tasa de morbilidad y mortalidad tiene a nivel mundial y en el país, se buscó que, a partir de la interconexión de dispositivos electrónicos a través del internet, se pueda brindar una herramienta para disminuir la probabilidad de contagio. Para la implementación del trabajo de grado se diseñó y construyó un dispositivo deshumidificador, se adquirieron sensores de humedad y temperatura, un dispositivo humidificador y una tarjeta ESP32, que permitió la adquisición de datos y la acción de control, además se adquirió una membresía de los servicios de *Amazon Web Services* (AWS), que nos brindaron los recursos computacionales necesarios para la implementación de la red de comunicación de los dispositivos. Los registros se almacenaron en una base de datos que facilitó el análisis y proyección de los mismos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de alerta temprana en ambientes interiores basada en la humedad relativa para detectar valores anómalos de humedad que puedan facilitar la propagación de virus causantes de infecciones respiratorias agudas.

2.2. Objetivos específicos

- Acondicionar y almacenar los datos de humedad relativa y temperatura de un espacio interior en su estado natural y alterado por un humidificador y deshumidificador.
- Analizar el comportamiento de los datos registrados de temperatura y humedad relativa en su estado natural y alterado.
- Diseñar e implementar una estrategia de control que mantenga rangos de humedad relativa que permita mitigar la propagación de infecciones respiratorias agudas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la salud pública se ha visto afectada por un grupo de enfermedades que se producen en el aparato respiratorio, denominadas infecciones respiratorias agudas (IRA), consideradas como una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo. Según la organización mundial de la salud las infecciones respiratorias agudas son el grupo de enfermedades más letal, tan solo en el año 2016 causaron tres millones de muertes en el mundo[1]. La etiología más común de IRA es causada por diferentes microorganismos respiratorios como virus y bacterias, encontrando que en gran parte las infecciones respiratorias son causadas por virus, tales como el virus sincitial respiratorio, rinovirus, influenza y metaneumovirus. El ministerio de salud colombiano indicó que en el 2010 la incidencia de IRA fue causada en un 62% por el virus sincitial respiratorio, seguido de la influenza por un 18%, influenza tipo A estacional 6%, influenza tipo B 3% y los adenovirus 3% [2].

Algunos microorganismos causantes de IRA pueden mutar en agentes patógenos existentes o desconocidos en cualquier parte del mundo y suelen manifestarse inicialmente como una gripe, que puede llegar a ser leve, moderada o grave. Tal es el caso del coronavirus (SARS-CoV-2), que ha sido catalogado por la Organización Mundial de la Salud como una emergencia en salud pública de importancia internacional (ESPII). El 24 de abril del año 2020 ha dejado 2,4 millones de personas infectadas y más de 160 mil muertes en el mundo[3].

El principal modo de transmisión de los virus, se realiza a través de las microgotas de un portador que tose o estornuda, en otros casos se produce por medio del contacto incluyendo la contaminación de las manos con secreciones respiratorias, seguida de la autoinoculación de la conjuntiva o la mucosa de la nariz o boca, estos tipos de secreción se transportan en el aire hasta llegar a cualquier superficie[4]. Debido a los diferentes patógenos respiratorios el periodo de incubación se contempla entre uno a diez días, de igual forma sucede con el periodo de contagiosidad que puede iniciar desde 24 horas antes de los primeros síntomas y hasta cinco días después[5].

3.1. Formulación del problema

En Colombia la población más vulnerable son los niños menores de 5 años y adultos mayores de 60, produciendo costos sociales y económicos altos en el sistema de salud, por lo tanto, se requiere tomar las medidas necesarias que permitan disminuir la incidencia de IRA en dicha población con el fin de minimizar el riesgo de contagio en otros individuos[6]. Estudios a nivel internacional señalan que existe una correlación negativa entre los niveles de humedad relativa en el ambiente y la incidencia de IRA.

Un estudio realizado por la universidad de Yale encontró que numerosas investigaciones correlacionan la viabilidad del virus de la influenza, suspendido en una

matriz de gotas con el grado de evaporación de gotas y el grado asociado de sobresaturación. En adición el estado de equilibrio de vapor en el ambiente expresado como índice de saturación o humedad relativa (HR), afecta las pequeñas gotas contaminadas con el virus respiratorio, independientemente de su fuente y ubicación. Por lo que la HR afecta todas las formas de transmisión, pero en mayor proporción por vía aérea, Estudios realizados de transmisión en animales revelaron que el estado de equilibrio en la HR alta (> 60%) y la HR baja (< 40%) parece permitir la viabilidad del virus de la influenza en gotitas, mientras que en al HR intermedia (40% a 60%) se inactiva[7]. Con base en lo anterior se plantea el siguiente interrogante: **¿Cómo proporcionar a la población más vulnerable de la ciudad de Bogotá un sistema de alerta temprana, que permita mantener la humedad relativa ideal con el fin de minimizar la posibilidad de contraer una infección respiratoria aguda (IRA)?**

3.2. Justificación

Según los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (por sus siglas en inglés CDC), los niveles de bioseguridad se han establecido desde el nivel I hasta el IV, sin bien éstos fueron implementados para el cuidado y manejo del equipo de laboratorio, sirven también como recomendaciones para concientizar y tener un impacto en la vida diaria. El nivel I, hace referencia al nivel bajo de contagiosidad y se trabaja con agentes que presentan un peligro mínimo para el personal y el ambiente. El nivel II, es el nivel moderado de contagiosidad, donde se trabaja con patógenos asociados con enfermedades humanas. El nivel III, es el nivel alto de contagiosidad y se trabaja en pacientes infectados por patógenos que pueden causar daño serio y son potencialmente mortales por medio de la exposición. Por último, el nivel IV, se define como el máximo nivel de contagiosidad, se trabaja con microorganismos altamente agresivos y con pacientes infectados de patógenos que son extremadamente peligrosos y que pueden infectar a través del aire[8].

Ya que la vía de transmisión de los virus causantes de IRA es principalmente aérea y el periodo de contagiosidad se encuentran entre las 24 horas anteriores a los primeros síntomas y puede llegar a durar unos 14 días. Se propone un sistema de alerta temprana que permita regular la humedad variando la concentración de agua particulada en el ambiente, dificultando el transporte de partículas contagiadas con virus, con el fin de favorecer los hogares vulnerables en la ciudad de Bogotá.

En la actualidad, pocas personas son ajenas a la problemática de salud pública causada por el COVID-19. Diferentes estrategias de control de propagación del virus se están llevando a cabo en todas partes del mundo y consultando la literatura, se encontró que la humedad relativa, mantenida en ciertos rangos disminuye el nivel de propagación del virus. Razón por la cual, se plantea un sistema que reduce la transmisión de microorganismos causantes de infecciones respiratorias agudas y puede ayudar a contrarrestar la propagación del mismo, como ejemplo: no es lo mismo que una persona con COVID-19 estornude en una recepción (ambiente

interior) y su rango de propagación por aspersión tenga un alcance de 10 metros, sin control de humedad. Si, la recepción cuenta con un control de humedad la dispersión por el estornudo de una persona se podría limitar a un par de metros. No se anula la dispersión ni propagación, pero se limita su campo de acción.

Con base en los resultados exploratorios obtenidos se puede llegar a formular como trabajo futuro un prototipo, una metodología o un modelo que contemple la ubicación estratégica de humidificadores, deshumidificadores, sensores de temperatura y humedad relativa, que permitan obtener una cobertura en ambientes internos con humedad constante en diferentes tipos de distribución y área de uso.

El sistema puede ser implementado en ambientes internos, tales como: en su fase inicial en apartamentos, en fase posteriores: en recepciones de hoteles, empresas o sitios públicos, en áreas de hospitales tales como: pasillos, salas de espera, cuartos de recuperación, entre otros.

3.3. Alcance y delimitaciones

No se planteará el diseño de un control de humedad en ambientes internos como objetivo principal, ya que la primera fase de desarrollo consiste en un sistema de monitoreo o seguimiento de la variable de humedad relativa, estimando como alcance un tiempo de desarrollo de seis meses.

El sistema planteado no se definirá como prototipo ni de hardware ni de software, ya que los autores y director de proyecto hacen referencia a un sistema que conlleva una serie de pruebas y experimentos en los que se espera obtener un modelo de comportamiento del sistema, que puede ser usado para entenderlo completamente o extraer ciertos aspectos de él. Adicionalmente, el trabajo planteado representa un sistema, aunque no es un sistema completo, posee las características que puede poseer un sistema final.

En ningún caso se pretenderá el trabajo directo con pacientes que tengan alguna infección respiratoria aguda. En contexto, se trabajará con datos de humedad relativa que se encuentran en la literatura y contemplan como evidencia de rangos de humedad relativa en los que cierta clase de virus se puede propagar en el ambiente por aspersión y los valores de humedad relativa pueden limitar el rango de alcance, en cuanto a su propagación.

El proyecto no contemplará la calibración y caracterización de los sensores por los costos que se incurriría en un laboratorio de metrología.

El trabajo planteado es exploratorio como fase previa a un prototipo o modelo, que por limitaciones en tiempo no se planteó como prototipo o modelo.

4. TRABAJOS REALIZADOS

- A nivel internacional se han realizado diferentes investigaciones que sustentan la hipótesis de que la humedad y temperatura inciden sobre la propagación de los diferentes patógenos de IRA, como lo es la reciente investigación, “*Seasonality of Respiratory Viral Infections*”, por los autores *M. Moriyama, W. J. Hugentobler y A. Iwasaki* [7], se revisó la evidencia de cómo los climas exteriores e interiores se relacionan con la estacionalidad de las infecciones respiratorias virales, donde se discutió a profundidad los diferentes estudios recientes en el campo, dejando como interrogante cómo este tipo de estudios pueden ampliar el conocimiento para prevenir el contagio de virus patógenos de enfermedades respiratorias.
- El artículo “*High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19*” por los autores *J. Wang, K. Tang, K. Feng y W. Lv* [8], estimó el intervalo de serie de COVID-19 de 105 pares recolectados a mano del portador del virus y los infectados, además se calculó el número reproductivo diario R para cada una de las 100 ciudades chinas con más de 40 casos con un intervalo de tiempo del 21 al 23 de enero del 2020. Encontraron que bajo un marco de regresión lineal de alta temperatura y alta humedad reduce significativamente la transmisión de COVID-19. El aumento de 1°C de la temperatura y el aumento del 1% de la humedad relativa más baja, arrojó un R por 0.225 y 0.0158, respectivamente. Este resultado es consistente, ya que la alta temperatura y la alta humedad reducen la transmisión de la influenza y el SARS.
- El trabajo titulado “*Temperature, Humidity and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19*” por los autores *M. M. Sajadi, P. Habibzadeh, A. Vintzileos, S. Shokouhi, F. Miralles-Wilhelm, and A. Amoroso* [9], buscó predecir áreas con alto riesgo de transmisión significativa en comunidades por el COVID-19, debido a que la distribución de brotes característicos a lo largo de la latitud, temperatura y humedad, son consistentes con el comportamiento de los virus respiratorios estacionales. Se examinó los datos climáticos de las ciudades con una propagación significativa del COVID-19, realizando la reanálisis de ERA-5 y se comparó con áreas que no están afectadas. Los resultados arrojan que en las comunidades y regiones distribuidas a lo largo de los 30-50°N’ han tenido una importante propagación del SARS-Cov2, que tienen patrones climáticos similares, con temperaturas y humedades bajas.
- El artículo “*Dynamics of Airborne Influenza A Viruses Indoors and Dependence on Humidity*” por los autores *W. Yang and L. C. Marr* [10], explicaron como un mecanismo preciso puede manipular la humedad para que influya en la transmisibilidad del virus de la influenza A través de la ruta del aerosol. El modelo une la transformación del tamaño de la gotas que contiene el virus debido a la evaporación y la eliminación por asentamiento gravitacional, ventilación e inactivación del virus, los resultados muestran que la concentración del virus en

el aire es 2.4 veces mayor con una HR del 10% que a 90% de HR después de 10 minutos en un ambiente interior, la tasa de inactivación aumentó linealmente con la HR alta y puede eliminar hasta un 28% del virus en 10 minutos, con lo que se concluyó que manteniendo un tasa de alta de HR y ventilación se pueden reducir las posibilidades de infección del virus.

- La investigación “*Humidity as a non-pharmaceutical intervention for influenza A*” por el autor *J. M. Reiman* [11], probó que la hipótesis de elevar la humedad absoluta por encima de las bajas estacionales afectaría la supervivencia y transmisión del virus de la influenza en una escuela comunitaria. El método implementado fue la recolección de muestras de aire y objetos manipulados por los estudiantes de las aulas de preescolar, estas muestras se procesaron por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para determinar la presencia del virus y su cantidad. En las salas humidificadas se observó una reducción significativa en el número total de muestras positivas para el virus en el aire y en objetos, con respecto a las salas de control sin humidificar. Concluyendo que la humidificación artificial es una potencial estrategia para controlar los brotes de influenza en climas templados, ya que hubo 2,3 veces más casos en las salas de control sin humidificar.
- En el artículo de investigación, “*Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperatura*” por los autores *A. C. Lowen, S. Mubareka, J. Steel, and P. Palese* [12], se buscó demostrar que la propagación de aerosol del virus de la influenza depende tanto como de la humedad relativa como de la temperatura ambiente. Ya que, en las regiones templadas, las epidemias de influenza se repiten con una marcada estacionalidad. En el hemisferio norte, la temporada de influenza se extiende de noviembre a marzo, mientras que en el hemisferio sur las epidemias duran de mayo a septiembre. Por medio del método de la cebolla evaluaron los efectos de la temperatura y la humedad relativa en la propagación del virus de la gripe, en veinte experimentos realizados usando conejillos de indias como huésped y humedades relativas de 20% a 80% y 5°C, 20°C o 30°C incidieron que tanto las condiciones frías como las secas favorecen la transmisión, Los resultados de los experimentos de transmisión realizados a 20°C y cinco humedades relativas diferentes (20%, 35%, 50%, 65% y 80%) indicaron que la eficacia de la propagación de aerosol del virus de la influenza variaba con la HR. La transmisión fue altamente eficiente a valores de HR bajos del 20% o 35%. Sin embargo, en una HR del 50% o 65% fue moderado y en una HR del 80% la transmisión fue nula.
- En la tesis denominada “*Influencia de la temperatura y humedad ambiental en las infecciones respiratorias agudas (IRA) en la ciudad de Huaraz*” por los autores *B. Danny y E.R. Sánchez* [13], El objetivo de la investigación fue analizar la influencia de la temperatura y humedad ambiental en la incidencia de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) en la ciudad de Huaraz, durante el periodo 2012 –

2016. La metodología incluyó el análisis de correlación, análisis de regresión lineal múltiple, análisis de estacionalidad y análisis de tendencia. Con lo que respecta a la humedad ambiental expresada en humedad relativa presentó una correlación inversa considerable y significativa, con un HR promedio mínima del 37% y una máxima de 78%. Concluyendo que la HR se relaciona de forma inversa considerable con la incidencia de IRA.

- Localmente se realizó la investigación llamada, *“Influencia de la variabilidad climática en las enfermedades respiratorias agudas en Bogotá”* por los autores *M. E. Correal, J. E. Marthá, and R. Sarmiento* [14], buscó entender el comportamiento semanal de la IRA en la ciudad, además de su asociación con las variables climatológicas de humedad relativa, precipitación y temperatura. Haciendo uso de la regresión de Poisson, se llevó a cabo un modelo con datos epidemiológicos de 104 semanas entre los años 2011 y 2012 dividiendo la ciudad en cuatro zonas, norte, sur, oriente y occidente. Dentro de los resultados, encontraron que la humedad relativa tenía un mayor impacto en tres de las cuatro zonas sobre casos de IRA con un efecto de 8 a 10 semanas. La precipitación tuvo impacto únicamente en la zona oriente, mientras que la temperatura tuvo efectos moderados en todas las zonas. Determinando que debido al componente dinámico de los modelos usados se puede implementar un sistema de alerta temprana que tome en cuenta la variabilidad climática.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Definición de Infecciones respiratorias agudas (IRA)

Se definen como Infecciones Respiratorias Agudas a aquellas que afectan el aparato respiratorio que son causadas por virus y bacterias, suelen tener una evolución que oscila entre 10 a 15 días, con síntomas tales como tos, obstrucción nasal, disfonía, rinorrea, dificultad respiratoria u odinofagia, que pueden estar acompañados de fiebre y fatiga, la mayoría de estos cuadros son de origen viral.

5.1.1. Aspectos etiológicos

- **Virus de influenza:** pertenecen a la familia Orthomyxoviridae y se dividen en tres tipos: A, B y C; solamente los tipos A y B se consideran que causan morbilidad y mortalidad significativa en humanos.
- **Adenovirus:** pertenecen a la familia Adenoviridae, existen 51 serotipos divididos en 6 tipos que causan infección en humanos; A, B, C, D, E y F. Siendo los subgrupos B y C los que están asociados a infecciones del tracto respiratorio más frecuentemente.
- **Virus Sincitial Respiratorio (VSR):** Pertenecen a la familia Paramyxoviridae. Se han descrito dos subgrupos antigénicos (A y B) en el VSR, ambos subgrupos pueden co-circular o causar epidemias con predominio de uno de ellos. El VRS produce infecciones en la vía respiratoria alta, simulando un resfriado en el caso de adultos y jóvenes, pero en menores de 5 años, puede producir graves complicaciones a nivel del tracto respiratorio inferior, desencadenando una bronquiolitis o una neumonía.
- **Parainfluenza:** Pertenecen a la familia Paramyxoviridae, se han identificado 4 tipos antigénicamente diferentes; 1, 2, 3 y 4. Los virus parainfluenza son la principal causa de laringotraqueobronquitis, pero también suelen causar infecciones de las vías respiratorias superiores, neumonía o bronquiolitis.
- **Otros virus respiratorios emergentes:** Metapneumovirus, Bocavirus, Coronavirus, Rhinovirus entre otros.

5.1.2. Modo de transmisión

- **Transmisión por contacto:** Existen dos tipos de transmisión por contacto; directa: cuando el agente pasa de un individuo infectado a otro susceptible, indirecta: cuando existe un intermediario animo o inanimado (fómites). Este es el principal mecanismo de transmisión del VSR.

- **Transmisión por gotitas:** Es uno de los mecanismos más importantes en los virus respiratorios. El patógeno se encuentra suspendido en una gota o partícula acuosa mayor de 5 micras de diámetro, que es expulsada al ambiente al toser, hablar o estornudar. Las gotas mayores de 5 micras son expulsadas a menos de 1 metro o 3 pies. Se ha demostrado que la tasa de contagio se reduce cuando la distancia entre el individuo susceptible y el infectado es mayor de esta distancia. Las gotitas pueden depositarse en las mucosas nasal, oral y conjuntiva para producir replicación, infección y enfermedad. Es el mecanismo de transmisión para la mayoría de los virus respiratorios como adenovirus, rinovirus, influenza y coronavirus.
- **Transmisión por aerosoles:** Se trata de una partícula acuosa de menos de 5 micras, que es capaz de evaporarse con facilidad, aerosolizar y permanecer suspendida en un periodo prolongado en el ambiente, incluso se puede de secar y quedar como una partícula de polvo y aun así ser infectante dependiendo del tipo de patógeno en cuestión[15].

5.1.3. Viabilidad de los virus en la humedad relativa

Los principales virus que se transmiten por aire tienen una composición molecular que se puede ver afectada por la humedad relativa. Los virus que se componen enteramente de ácidos nucleicos y proteínas, tienden a verse favorecidos por la humedad relativa alta, mientras que aquellos que contienen lípidos se ven favorecidos en humedades relativas bajas.

Los adenovirus y coxsackie prefieren humedades relativas superiores al 70%, mientras que los virus del sarampión, la influenza, el herpes virus varicela y la rubéola, sobrevive más tiempo durante la exposición a humedades relativas por debajo del 50%. Diferentes estudios de laboratorio han examinado la relación entre la humedad relativa y la supervivencia o infectividad del virus de la influenza, donde se evidencio que la inactividad del virus creció altamente en humedades relativas superiores al 40% y la transmisión del virus se vio altamente afectada conforme crecía el porcentaje de humedad relativa entre el 48% y 70%. En resumen, según los datos arrojados por los diferentes experimentos se puede concluir que la supervivencia viral a humedades relativas variables indican que existe un rango medio de humedad relativa, aproximadamente entre el 40% y el 70%, que minimiza la supervivencia combinada o la infectividad de estos organismos, en consecuencia, la incidencia de enfermedades respiratorias transmitidas por aire deberían reducirse en ambientes interiores con humedades relativas medias, en concordancia con la tasa de ocupación y ventilación[16].

5.2. Variables de humedad y temperatura

5.2.1. Humedad

La humedad es la cantidad de partículas de agua presente en el aire y puede ser medida mediante la humedad relativa o la humedad absoluta. La humedad absoluta mide la cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire (kg/m^3). La humedad relativa se expresa como un porcentaje; un mayor porcentaje significa que la mezcla de aire y agua es más húmeda. Al 100% de humedad relativa, el aire está saturado y se encuentra en su punto de rocío.

5.2.2. Temperatura

Temperatura se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía cinética, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que este se encuentra más caliente, es decir, que su temperatura es mayor[17].

5.2.3. Relación entre humedad y temperatura

La humedad relativa está sujeta a la temperatura, ya que la cantidad máxima de vapor de agua que puede albergar el aire depende de su temperatura, a mayor temperatura el aire será capaz de albergar más cantidad de vapor de agua. Si no varía la cantidad absoluta de vapor de agua, la humedad relativa descendería y de forma contraria, si la temperatura del aire baja este será capaz de albergar menor cantidad de agua. Si no varía la cantidad absoluta de vapor de agua, la humedad relativa aumentaría. Si llega al punto de saturación, el vapor de agua se condensa y se manifestará como rocío o neblina.

5.3. IoT

El Internet de las cosas, por sus siglas en inglés (*Internet of Things*), es un concepto y expresamente un modelo que se construye a partir de una multitud de objetos que se suponen son omnipresentes, a través de diferentes tipos de conexiones, ya sean inalámbricas o cableadas, también esquemas de direccionamiento únicos. Dichos

objetos pueden interactuar y colaborar con otros objetos, con el fin de proporcionar servicios y aplicaciones con los que se logre un objetivo en común, que es permitir que cualquier persona pueda conectarse en cualquier momento o lugar con objetos haciendo uso de cualquier red, ruta y servicio.

En el ámbito de la salud, se ha encontrado que las tecnologías de IoT tienen gran potencial para la mejora en la calidad de los diferentes servicios de salud, principalmente en la recopilación de datos que involucran el estado de los pacientes, proporcionando mejoras en la seguridad y atención de los mismos, mejorando la calidad de vida significativamente. Además, con el debido soporte de dispositivos y tecnologías IoT se puede llegar a predecir síntomas y prevenir estados y enfermedades potencialmente peligrosos para la vida.

El desarrollo de soluciones IoT aplicados en cualquier ámbito de la salud, también pueden ser muy útiles en caso de pandemia, cómo se vive actualmente con el COVID-19 que amenaza a la población mundial, brindando recolección de datos y rápida diversidad de datos, como recursos del personal, recursos médicos, *triage* médico, etc.[18].

5.3.1. Protocolos del IoT

Un protocolo de comunicación es una serie de normas que se definen para que varios dispositivos puedan relacionarse, actualmente existen múltiples formas de relacionar dos o más dispositivos, pero en el campo del IoT se deben tener en cuenta ciertos requisitos especiales, como la interconectividad de una gran cantidad de dispositivos, la escalabilidad, mantener la más mínima dependencia entre dispositivos, interoperabilidad en cuanto a dispositivos, sistemas operativos, lenguajes de programación, seguridad, velocidad de transmisión, recepción y finalmente el fácil acceso a los diferentes dispositivos.

Se han creado múltiples protocolos que cumplen estos requisitos, como lo son Protocolo de aplicación restringido, del inglés *Constrained Application Protocol* (CoAP); Transporte de telemetría de cola de mensajes, *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) y Mensajería extensible y Protocolo de presencia, *Extensible Messaging and Presence Protocol* (XMPP).

5.3.1.1. MQTT

Es un protocolo de comunicación diseñado por el Dr. Andy Stanford-Clark en 1999, este sistema de mensajería liviano está basado en una arquitectura de "publicación/suscripción" creada para aplicaciones *Machine to machine* (M2M). Este código abierto fue diseñado y optimizado para dispositivos

limitados con un ancho de banda bajo, alta latencia o redes poco confiables, usa eficientemente el ancho de banda, aloja todos los datos y está constantemente informado sobre el estado de la sesión al usar el protocolo TCP. Su objetivo es minimizar los requisitos de recursos del dispositivo mientras se intenta garantizar la solidez de la entrega con niveles de servicio. MQTT es un servicio de suscripción/publicación TCP/IP simple y extremadamente liviano. Funciona según el principio cliente/servidor.

Se proporcionan tres niveles de calidad de servicio, *Quality of Service* o QoS para la transmisión de mensajes:

- Enviar y olvidar: el mensaje se envía una vez y no se requiere confirmación.
- Entregado al menos una vez: el mensaje se envía al menos una vez y se requiere una verificación de recibo.
- Entregado exactamente una vez: un mecanismo de cuatro pasos asegura la entrega del mensaje solo una vez.

5.3.1.2. CoAP

CoAP por sus siglas en inglés (*Restricted Applications Protocol*) fue publicado en julio de 2013 por la organización IETF (*Internet Engineering Task Force*), CoAP es un protocolo de comunicación basado en una arquitectura consulta/respuesta como HTTP para el uso de nodos y redes (limitados) de baja potencia y pérdida. CoAP contiene un enfoque de dos capas, la capa de mensajería utilizada para combatir la falta de confiabilidad de UDP y la capa asíncrona de las interacciones como solicitud/ respuesta (los mensajes se definen con CON, ACK, NO, RST) heredada de HTTP; ya que para CoAP es necesario el uso de UDP, algunas características de TCP se pueden aplicar directamente, como por ejemplo distingue entre mensajes confirmables (Mensaje enviado con una solicitud de recibo) y mensajes no confirmables (Mensaje enviado sin solicitud de recibo). CoAP es fácil de usar, tiene un bajo consumo de CPU y memoria, sin embargo, su alta latencia, la deficiente transmisión de paquetes y el uso de datos complejos es limitado.

Si el protocolo CoAP se creó para comunicaciones IoT y M2M, éste no contiene un procesamiento de seguridad integrado. Para asegurar las operaciones de CoAP se sugiere utilizar el protocolo de Seguridad de la Capa de Transporte de Datagramas (DTLS). Sin embargo, CoAP es compatible con HTTP, pero con DTLS podría crear conflictos adicionales para los servidores HTTP a causa de la desviación de la estructura de sus paquetes.

5.3.1.3. WebSocket

El protocolo WebScket es una tecnología que hace posible abrir un canal de comunicación entre clientes y un servidor remoto. Provee una estructura de seguridad similar al que usan los navegadores web, por lo que se adapta a aplicaciones que utilicen navegadores y deban conectarse con hosts remotos, ya que se ejecuta sobre TCP. Se implementa sobre TCP para servicios web y navegadores, pero no implementa mecanismos de seguridad por sí mismo, de requerirse, la protección de las sesiones se puede ejecutar WebSocket en TLS/SSL.

Los paquetes de mensajes de WebSocket incluyen 2 bytes de sobrecarga durante la sesión, la información del encabezado se repite durante el muestreo de HTTP (en REST), el aumento de la velocidad de transmisión de datos será proporcional al de la latencia.

La arquitectura de WebSocket no es recomendada para aplicaciones IoT, ni en dispositivos de recursos limitados, por lo que se suele usar más en comunicaciones en tiempo real y algunos sistemas de mensajería en conjunto con WAMP (sistema de infraestructura de internet que usa Windows, Apache, MySQL y PHP), siendo así de los mejores protocolos que funcionan sobre TCP[19].

5.3.2. Comparativa de protocolos IoT

El éxito de las aplicaciones IoT que se trabajen, está en seleccionar el protocolo que cumpla con las condiciones y necesidades del proyecto a desarrollar y los requerimientos del mismo.

A continuación, se comparan las características de los tres protocolos descritos en esta sección[20].

Protocolo	Transporte	Mensaje	2G, 3G, 4G (1000's)	Baja potencia/ Pérdidas (1000's)	Recursos de Computo	Seguridad	Campos de éxito	Arquitectura
MQTT	TCP/IP	Pub. /Suscriptor Solicitud/R espuesta	Excelente	Buena	10Ks/RA M Flash	Media / Opcional	Mensajería a IoT	Cliente / Servidor
CoAP	UDP	Solicitud/R espuesta	Excelente	Excelente	10Ks/RA M Flash	Media / Opcional	Áreas de red de servicios públicos	Cliente / Servidor
WebSocket	TCP/IP	Pub. /Suscriptor	Excelente	Excelente	100Ks/R AM Flash	Media / Opcional	Chat de asistencia técnica	Cliente / Servidor

Tabla 1. Comparación de protocolos IoT.

5.4. Tecnologías basadas en la nube

Cloud Computing, computación en la nube o simplemente “la nube” es un modelo que permite el acceso bajo demanda a través de la red, fácil de usar y de pago por aplicación para el aprovechamiento rápido de servicios a través de Internet. Diferentes tipos de servicios como tipos de redes, capacidad de almacenamiento, procesamiento, aplicaciones y servicios que pueden ser rápidamente asignados y dispuestos con la más mínima gestión del proveedor del servicio. Grandes empresas como Amazon, Google, IBM y Microsoft proporcionan servicios de *cloud computing*, AWS, *Google Cloud Platform* y Microsoft Azure, respectivamente.

5.4.1. Amazon Web Services (AWS)

Fue lanzado en 2006 y a día de hoy es conocido como el pionero en computación en la nube, AWS ofrece una amplia gama de servicios en la nube que facilitan la implementación y operación de aplicaciones complejas a un costo mínimo ya que el usuario sólo paga por los servicios usados a una tarifa fija. Monitoreo, administración, herramientas, redes, procesamiento, entrega de contenido, mensajería, pagos, fuerza de trabajo por demanda y las principales características que son computación, almacenamiento y base de datos disponibles, son los diferentes servicios que brinda AWS. Esta infraestructura de servicios se compone principalmente por *Elastic Compute Cloud (EC2)*, *Simple Storage Service (S3)*, *SimpleDB* y *Simple Queue Service Amazon (SQS)*.

Elastic Compute Cloud Amazon (EC2), permite que el usuario ejecute numerosos servidores virtuales bajo demanda. Es escalable, eficiente, protegido y significativamente asequible, ya que el usuario paga por las herramientas utilizadas. *Simple Storage Service Amazon (S3)* brinda la capacidad de almacenamiento para cualquier dato de fácil acceso a través de Internet, también se utiliza para realizar copias de seguridad y archivar documentos. Amazon *SimpleDB*, es una base de datos no relacional que permite a un usuario almacenar datos, utiliza un comando simple de lectura/escritura desde la interfaz del programa de la aplicación. *Simple Queue Service Amazon (SQS)* es un servicio que pasa un mensaje entre cualquier componente de la nube.

5.4.2. Microsoft Windows Azure

Esta es la principal herramienta de computación en la nube de Microsoft, fue lanzada en el 2010 y ofrece a los usuarios servicios para crear, operar y ejecutar aplicaciones web en la red. Con alto rendimiento y flexibilidad Microsoft Windows Azure, se ofrece a un bajo costo de servicio para IaaS (*Infrastructure as a Service*), SaaS (*Software as a Service*) y PaaS (*Platform as a Service*). Al compartir el mismo

software y aplicaciones que los servidores Windows, hace que la migración de máquinas virtuales en la nube sea más sencilla.

Dentro de las principales características de Microsoft Windows Azure están: computación, almacenamiento, red de entrega de contenido (*Content Delivery Network* - CDN), Azure SQL y controlador de fábrica.

Computación: esta característica permite implementar aplicaciones y servicios en la plataforma Windows Azure. *Compute in Azure* consiste en un rol web para implementar aplicaciones basadas en web, un rol de trabajador para implementar códigos y una máquina virtual para la migración de aplicaciones en servidores de ventanas a Azure.

Almacenamiento: Permite almacenar datos de cualquier tamaño durante un tiempo, existen tres tipos de almacenamiento que son, blobs, tablas y colas. Los blobs almacenan una gran cantidad de datos desorganizados, es aplicable a objetos binarios. Las tablas permiten que las aplicaciones funcionen de manera organizada. Las colas permiten que las aplicaciones basadas en web se conecten con el código implementado por un usuario.

Content Delivery Network (CDN): mejora la calidad general al indexar el contenido en los lugares más cercanos a los usuarios. Crea accesibilidad ya que los usuarios tienen fácil acceso a los datos obtenidos en cualquier lugar de Internet.

SQL Azure: ofrece capacidades de almacenamiento de datos comparables al servicio de almacenamiento simple de Amazon. Permite que las consultas relacionales se presenten hacia los datos almacenados que pueden estar organizados, semi organizados o desorganizados, los usuarios se conectan en una serie de formas diferentes como ADO.NET, PHP y conectividad de base de datos abierta, controlador de tejido: controla, supervisa los servidores y organiza el desarrollo de bases de datos y aplicaciones Azure de Microsoft Windows.

5.4.3. Google Cloud Computing

Fue lanzada en 2011 como la principal plataforma de servicio para el desarrollo y ejecución de aplicaciones a través del entorno de Google, eliminando la necesidad de costosas inversiones en infraestructura y mantenimiento de bases de datos, con el objetivo de impulsar el desarrollo de aplicaciones web, brindando un estado de gratuidad para el inicio del desarrollo. Y realizando un cobro conforme se aumente el consumo de recursos.

Brinda recursos como la gestión de almacenamiento de datos, el uso y supervisión de páginas y la verificación y registro de activos. En los servicios que brinda Google

cloud computing se encuentran PaaS con Google App Engine y SaaS con Gmail Google Doc, calendario y Google drive [21], [22]

5.4.4. Comparativa de las tecnologías basadas en la nube

Cada vez tenemos a nuestra disposición productos más amplios y variados, pero todos son servicios de alta calidad con una disponibilidad excelente, alta seguridad y rendimiento, que nos van a permitir cubrir cualquier necesidad que podamos tener. Existen diferencias en nombre, precio y tecnologías. A continuación, vamos a situar frente a frente los servicios de las tres grandes nubes anteriormente descritas para poder elegir el que más nos convenga.

Proveedor de Servicio	Amazon Web Services (AWS)	Microsoft Windows Azure	Google Cloud Computing
Costo	Pago por hora o fracción. Descuentos por contrataciones de 1 o 3 años.	Pago por minutos. No tiene opciones para descuentos específicos	Pago por minutos. Descuentos proporcionales a las horas de consumo.
Backups	Realiza 3 copias en la misma zona geográficas. Es posible replicar copias en otras zonas por más costo.	Realiza 3 copias en la misma zona geográficas. Es posible replicar copias en otras zonas por más costo.	Por defecto realiza las copias en todas las plataformas alrededor del mundo.
Disponibilidad mundial	11 centros de datos. 37 puntos de distribución de contenido	20 centros de datos. 32 puntos de distribución de contenido	4 centros de datos. 160 puntos de distribución de contenido
Soporte	Soporte gratuito usando bases de datos de conocimientos. Contacto por email en horas de oficina, según el nivel de servicio pagado.	Soporte gratuito usando bases de datos de conocimientos. Contacto por email en horas de oficina, según el nivel de servicio pagado.	Soporte gratuito usando bases de datos de conocimientos. Contacto por email en horas de oficina, según el nivel de servicio pagado.
Tipos de servidor	53	25	18
Tipos de Discos	Clásicos, SSD, personalizables	Clásicos, SSD, No personalizables	Clásicos, SSD, personalizables
Otros servicios en la nube	Almacenamiento, Bases de datos, DNS, VDI	Almacenamiento, bases de datos, suite ofimática, correo electrónico.	Almacenamiento, bases de datos, suite ofimática, correo electrónico, registro de dominios y DNS.
Seguridad	20 certificaciones	25 certificaciones	6 certificaciones
Estabilidad	99.95% de disponibilidad mensual.	99.94% de disponibilidad mensual.	99.97% de disponibilidad mensual.
Migración de servidores	Acepta servidores VMware e Hyper-V	Acepta servidores Hyper-V	Por el momento no soporta migraciones de servidores.

Tabla 2. Comparación de tecnologías basadas en la nube.

5.5. Bases de datos temporales y Grafana

Una base de datos de series de tiempo es un sistema que gestiona bases de datos prestando especial atención a las características temporales, haciendo uso de un modelo de datos temporal y una versión temporal del lenguaje de consulta estructurado. Existen varios tipos de bases de datos temporales para el almacenamiento y tratamiento de datos, pero no todas las bases de datos satisfacen las necesidades requeridas para el usuario, la rapidez, flexibilidad, eficiencia de gestión para grandes volúmenes de datos, capacidad de respuesta ante una gran concurrencia de consultas, de código abierto o licencia privativa, entre otros aspectos son determinantes para la elección de la base datos.

5.5.1. InfluxDB

InfluxDB es una base de datos de series de tiempo de código abierto con elementos opcionales de código cerrado, fue desarrollado por InfluxData en el lenguaje de programación *Go* para la gestión de grandes volúmenes de datos con marcas de tiempo, los principales usos son en monitorización de servidores, datos de sensores en IoT, etc.

A InfluxDB lo caracteriza el alto rendimiento en almacenamiento personalizado de datos escritos específicamente para series de tiempo, el motor TSM (*Time-Structure Merge Tree*) permite alta velocidad en adquisición y compresión de los datos, debido que fue programado completamente en lenguaje *Go* se puede compilar en un solo código binario sin dependencias externas, su API de HTTP de escritura y consulta simple son de alto rendimiento, los complementos admiten otros protocolos para adquirir datos como *Graphite*, *collected* y *OpenTSDB*. Otra de las características de esta base de datos es que usa un lenguaje de consulta *SQL-like* para datos agregados, en conjunto con etiquetas que permiten indexar series para consultas rápidas y eficientes con el uso de políticas de retención que expiran automáticamente los datos obsoletos. Las consultas continuas calculan automáticamente los datos agregados para que las consultas frecuentes sean más eficientes.

5.5.2. Prometheus

Es un grupo de herramientas de alerta y monitoreo de sistemas de código abierto que fue construido en SoundCloud. Prometheus almacena la información de las métricas (medidas numéricas) con el registro de tiempo en la que se generó, al igual que pares opcionales de clave-valor denominados etiquetas.

Dentro de sus principales características se encuentra un modelo de datos de varias dimensiones con datos de series de tiempo que se identifican por el nombre de cada métrica y las etiquetas, además de un lenguaje de consulta flexible (*PromQL*), que aprovecha la multidimensionalidad. Prometheus no depende de un almacenamiento distribuido, ya que los nodos de un servidor son autónomos. Es de resaltar que la recopilación de series de tiempo se realiza por medio de un modelo de extracción que usa HTTP y dispone de varios modos de soporte de *dashboards*.

Prometheus está diseñado para registrar cualquier serie de tiempo numérica, adaptándose al monitoreo central de la máquina al igual que el monitoreo de arquitecturas dirigidas a servicios en gran medida dinámicos, teniendo una particular fortaleza en la recopilación y consulta de datos multidimensionales.

5.5.3. OpenTSDB

Es una base de datos de series de tiempo distribuida y escalable que consta de un Dominio de Serie Temporal (TSD), además de un conjunto de utilidades de línea de comandos. Para llevar a cabo la interacción con OpenTSDB se deben ejecutar uno más de los TSD, teniendo en cuenta que cada TSD es independiente, esto quiere decir que cada TSD es independiente, no existe un maestro ni un estado compartido, así que se pueden ejecutar los TSD que sean necesarios. Para almacenar y recuperar datos de series de tiempo, cada TSD utiliza bases de datos de código abierto como HBase o Google Bigtable.

Para minimizar el espacio de almacenamiento, el esquema de datos está altamente optimizado, de forma que se puedan hacer ediciones rápidas de series temporales similares. Los usuarios de TSD pueden comunicarse a través de un protocolo de estilo telnet, una GUI incorporada o una API con base en HTTP. Todas las comunicaciones ocurren por el mismo puerto, de forma que TSD descubre el protocolo del cliente cuando recibe los primeros bytes[23].

5.5.4. Comparativa de bases de datos no relacional

Para ilustrar las diferencias entre bases de datos se creó una tabla con las principales características para cada motor de base de datos no relacional [24].

Motor de base de datos	InfluxDB	Prometheus	OpenTSDB
Modelo de base de datos principal	Serie de tiempo DBMS	Serie de tiempo DBMS	Serie de tiempo DBMS
Clasificación de DB-Engines	Puntaje 29.78, Rango #29 General, #1 Serie de tiempo DBMS.	Puntaje 6.62, Rango #66 General, #3 Serie de tiempo DBMS.	Puntaje 2.03, Rango #126 General, #8 Serie de tiempo DBMS.
Versión inicial	2013	2012	2011
Lenguaje de implementación	Go	Go	Java
Sistemas operativos de servidor	Linux MacOS X	Linux Windows	Linux Windows
Lenguajes de programación compatibles	.Net, Clojure, Erlang, Go, Haskell, Java, JavaScript, JavaScript (Node.js), Lisp, Perl, PHP, Python, R, Ruby, Rust, Scala.	.NET, C++, Go, Haskell, Java, JavaScript (Node.js), Python, Ruby.	Erlang, Go, Java, Python, R, Ruby.
API y métodos de acceso	HTTP API JSON	HTTP API JSON	HTTP API Telnet API
Métodos de Partición	Fragmentación	Fragmentación	Fragmentación
Soporte XML	No	Si	No
Esquema de datos	Datos numéricos y cadenas para etiquetas	Datos numéricos	Datos numéricos para métricas, cadenas para etiquetas
Documentación técnica	docs.influxdata.com/influxdb	prometheus.io/docs	opentsdb.net/docs/build/html/index.html
Sitio Web	www.influxdata.com/products/influxdb-overview	prometheus.io	opentsdb.net

Tabla 3. Comparación de bases de datos no relaciones.

5.5.5. Grafana Dashboard

Esta interfaz de usuario centraliza la obtención de datos a partir de consultas, es completamente de código abierto. Fue diseñada para proporcionar un enfoque único que permite reunir los datos existentes, de donde quiera que estos provengan. Con Grafana se pueden tomar datos de distintas fuentes como *Kubernetes*, *RaspBerry Pi*, hojas de cálculo de Google o servicios en la nube y visualizarlos como se desee en un único tablero.

Algunas de las principales características que se pueden resaltar es que se conecta con diferentes fuentes de datos Graphite, Prometheus, InfluxDB, ElasticSearch, MySQL, PostgreSQL, y otros. Al ser una solución de código abierto, permite diseñar complementos desde cero para que sean integrados con varias fuentes

de datos. Llevar a cabo un análisis de series de tiempo se facilita con esta herramienta, la cual permite analizar, estudiar y monitorear datos durante un intervalo de tiempo. Además, facilita la creación de alertas, que pueden enviarse a través de cualquier medio de comunicación cumpliendo con ciertos parámetros, como por ejemplo una CPU que supera el 70% de su capacidad, la alerta se genera y se envía inmediatamente a una dirección de correo electrónico para notificar que la CPU está llegando a su capacidad máxima[25].

5.6. Dispositivos y equipos

5.6.1. Sensores

5.6.1.1. Higrómetro

Un higrómetro es un instrumento usado para medir el grado de humedad del aire o de otros gases, comúnmente usado en metrología para medir la humedad en la atmósfera. Generalmente, los instrumentos de medición de la humedad se basan en mediciones de otras magnitudes físicas como la temperatura, la presión o un cambio eléctrico o mecánico de una sustancia que sea capaz de absorber la humedad. En la actualidad los dispositivos electrónicos se basan en la temperatura de condensación o punto de rocío, cambios en la resistencia eléctrica o capacitancia para medir las diferencias de humedad.

5.6.1.2. Termómetro digital

Son aquellos que se valen de dispositivos transductores integrados en un circuito electrónico para convertir en números las pequeñas variaciones de tensión que han sido obtenidas para luego ser mostradas como temperatura en un visualizador.

Una de las principales características de los termómetros digitales es que este dispositivo varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Algunos de estos emplean un termistor como el LM35 en sus circuitos integrados, de forma que pueda configurarse a través de un microcontrolador y un circuito amplificador, para que la escala de medición sea dada en Celsius o Fahrenheit. Esas pequeñas variaciones que son entregadas por el transductor de temperatura usualmente son acopladas para que puedan procesarse de forma correcta. Para esto puede usarse un convertidor analógico-digital, que permita convertir el valor del voltaje a un dato binario. Especificaciones adicionales, pueden comúnmente consultarse en la hoja de datos de cada circuito integrado.

5.6.1.3. Sensor de temperatura y humedad serie SHT3X

Los sensores de humedad y temperatura digitales de la serie SHT3X, llevan la tecnología de los sensores a otro nivel. Estos constan de una versión de bajo costo, una estándar y una de gama alta; SHT30, SHT31 y SHT35 respectivamente. Esta serie de sensores combinan múltiples funciones y varias interfaces como I2C y salidas de voltaje analógicas con un rango desde 2,15 a 5,5 voltios, lo que la hace muy fácil de usar. El SHT3X, se basa en un microprocesador CMOS optimizado, que brinda mayor confiabilidad y precisión, respecto a otros dispositivos. Además, ofrece un procesamiento de señal mejorado, dos direcciones I2C destacables que tienen la ventaja de ser seleccionables por el desarrollador, junto con un modelo de alerta con límites programables de temperatura y humedad. Finalmente, la velocidad de comunicación es de hasta 1MHz.

5.6.2. Tarjetas de desarrollo para IoT

5.6.2.1. Módulo ESP32

Los ESP32 son un grupo de microcontroladores de bajo costo y consumo con módulo Wifi y Bluetooth de modo dual integrados, los múltiples entornos de desarrollo de código abierto y sus bibliotecas la hacen perfectamente adecuada para desarrolladores de todo tipo. ya que es una solución de Wifi/Bluetooth todo en uno, integrada y certificada que proporciona no solo la radio inalámbrica, sino también un procesador integrado con interfaces para conectarse con varios periféricos. El procesador en realidad tiene dos núcleos de procesamiento cuyas frecuencias operativas pueden controlarse independientemente entre 80 MHz y 240 MHz[26][27].

5.6.3. Equipamiento requerido

El desarrollo del experimento requirió la implementación de un prototipo de deshumidificador que consta de varios filtros de sílice y un ventilador con un controlador simple de velocidad, un humidificador, tarjetas de desarrollo ESP32, sensores de humedad y temperatura SHT30, computadora con interfaz USB y software operativo asociado implementado en AWS ya que permite seleccionar el sistema operativo, el lenguaje de programación, base de datos, aún muy bajo costo, con un rendimiento satisfactorio, la base de datos empleada fue InfluxDB ya que brinda una adquisición y almacenamiento de datos rápida ideal para sensores para una posterior evaluación. Es un software libre y compatible con MQTT, que es el protocolo IoT empleado ya que es ligero, perfecto para el

proyecto, éste es de código abierto esta optimizado para dispositivos limitados, y usa eficientemente el ancho de banda.

6. MODELO Y EXPERIMENTOS

6.1. Modelo

Con base en los estudios anteriores, se implementó un sistema que permitió sensar, registrar y visualizar en tiempo real el comportamiento de la humedad y temperatura en un espacio cerrado, lo que permitió sugerir un sistema apropiado para disminuir la probabilidad de propagación de virus causantes de infecciones respiratorias agudas.

Se emplearon 4 sensores SHT30 que miden valores de humedad relativa y temperatura ambiente. Estos valores se transmitieron a través de un módulo ESP32 usando el protocolo de comunicación MQTT, que permitió la interacción de entre el módulo y el servidor implementado en la instancia EC2 de AWS, creando un servicio de mensajería, utilizando el modelo publicación-suscriptor, almacenando la información adquirida en la base de datos no relacional, que junto con el dashboard permitió la visualización y graficación de los datos recolectados.

6.2. Modelo conectividad

Para la implementación del entorno de desarrollo utilizamos el IDE de Visual Studio Code, este es uno de los más utilizados por la comunidad de diseñadores de sistemas que utilizan hardware libre, que a diferencia de otros es compatible con la tarjeta ESP32 y brinda un sin número de herramientas para facilitar el trabajo de desarrollo. En cuanto al lenguaje de programación seleccionado, Micro Python es una excelente manera de aprovechar al máximo la placa ESP32 y viceversa, la conexión del sensor con el módulo de desarrollo ESP32 se realizó por medio del protocolo de comunicación serial I2C, la ayuda de la librería SHT30 y la transmisión de los datos se realizó usando la librería `umqtt.simple - mqtt.client`.

El servicio de EC2 de AWS, permitió la creación de un servidor Linux en la nube de manera fácil y rápida a un muy bajo costo, brindando la posibilidad de implementar el protocolo de MQTT por medio del broker Mosquitto para el servicio de mensajería de datos. El almacenamiento se gestionó a través de InfluxDB ya que es una base de datos de series de tiempo de código abierto ideal para datos de sensores y análisis de datos en tiempo real esto compaginado con Grafana que permitió reunir y visualizar la información adquirida. La figura 1 muestra a nivel general el sistema empleado.

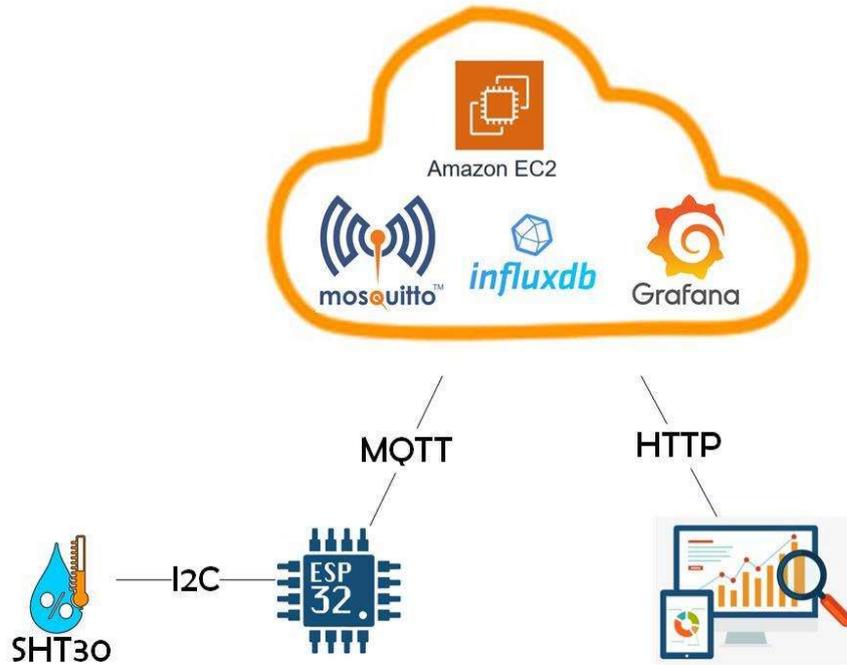


Figura 1. Modelo de conectividad.

6.3. Planteamiento del experimento

En un espacio cerrado dentro de un apartamento en la ciudad de Bogotá, se propone ubicar 4 sensores de temperatura y humedad relativa que durante 3 periodos de 24 horas registran dichos datos con una frecuencia de 60 segundos por sensor. Se plantea que el período inicial sea el espacio en su estado natural, durante el segundo periodo se buscará alterar el ambiente con un humidificador incrementado la humedad. Por último, en el tercer periodo, se usará un deshumidificador con el que se pretende tener el efecto contrario, es decir reducir la humedad del espacio de pruebas.

6.3.1. Experimento 1

Con base en el modelo de conectividad implementado, en un espacio de 13.872 metros cuadrados, que se caracteriza por tener una ventana y puerta hacia el exterior, se distribuyeron los sensores en cada una de las paredes que forman el perímetro del espacio, como se muestra en la figura 2.

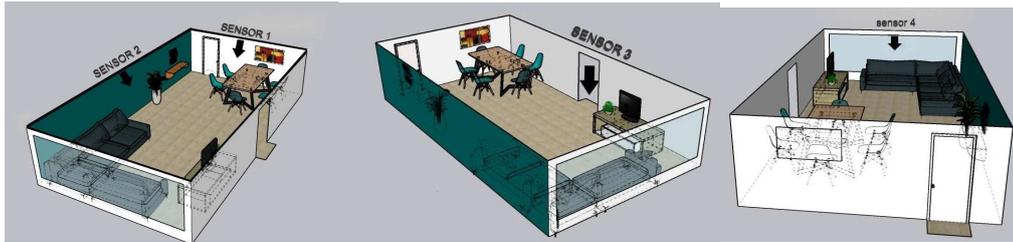


Figura 2. Distribución de sensores sala - comedor

Con base en los datos vistos durante el proceso de cada periodo de experimentación, se determinó que el ambiente de prueba era altamente afectado por medios externos, como la ventana y puerta al exterior que caracterizan el área, por lo que esto permitió replantear el experimento en un área más reducida y con características más controlables.

6.3.2. Experimento 2

En un espacio más reducido con un área de 5,8 metros cuadrados, que se caracteriza por tener una ventana y puerta hacia el interior del apartamento, se distribuyeron los sensores en cada una de las esquinas del área, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Distribución de sensores en habitación.

Con el fin de tener un registro de datos equivalentes a la ubicación del humidificador y deshumidificador, se seccionó el área de experimentación en una cuadrícula de 8 espacios como se muestra a continuación.

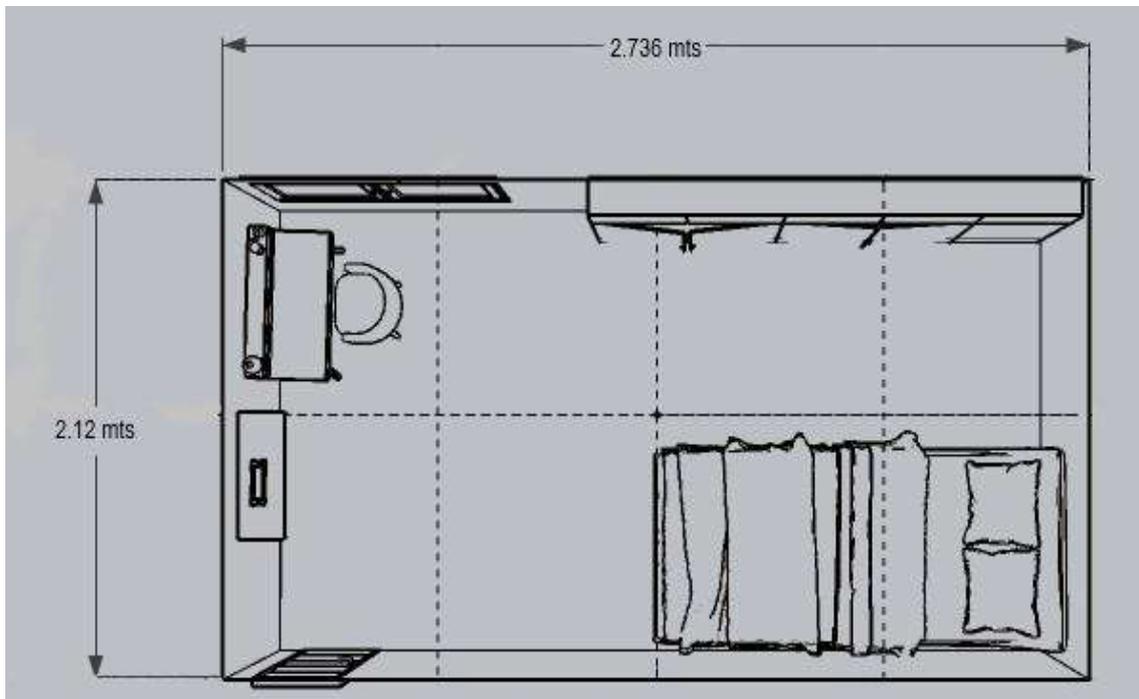


Figura 4. Distribución del área por cuadrículas.

Durante el primer periodo de experimentación los sensores tomaron los datos sin ningún tipo de alteración artificial del ambiente, posteriormente durante el segundo periodo se alteró el ambiente ubicando el humidificador con una duración de 1 hora en cada cuadrante hasta completar las 24 horas y de igual forma para el tercer periodo con el deshumidificador. Gracias a la implementación del dashboard se pudo realizar el seguimiento y la visualización gráfica de los datos adquiridos tanto de humedad relativa como de temperatura. Como se muestran en las figuras 5 y 6 del siguiente capítulo.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado de la experimentación, se muestran a continuación la comparación de las variaciones registradas durante las tres fases del proceso con los diferentes dispositivos empleados.

En la figura 5 se evidencia las variaciones de la humedad relativa en su estado natural (superior); el ambiente alterado por el humidificador (inferior izquierda) y el mismo ambiente alterado por el dispositivo deshumidificador (inferior derecha). De la misma forma en la figura 6 para el registro de la temperatura y las variaciones en cada fase. Dando cumplimiento al primer objetivo de este trabajo, al almacenar y acondicionar los datos de humedad relativa y temperatura.



Figura 5. Comportamiento de la humedad durante los tres periodos de experimentación.

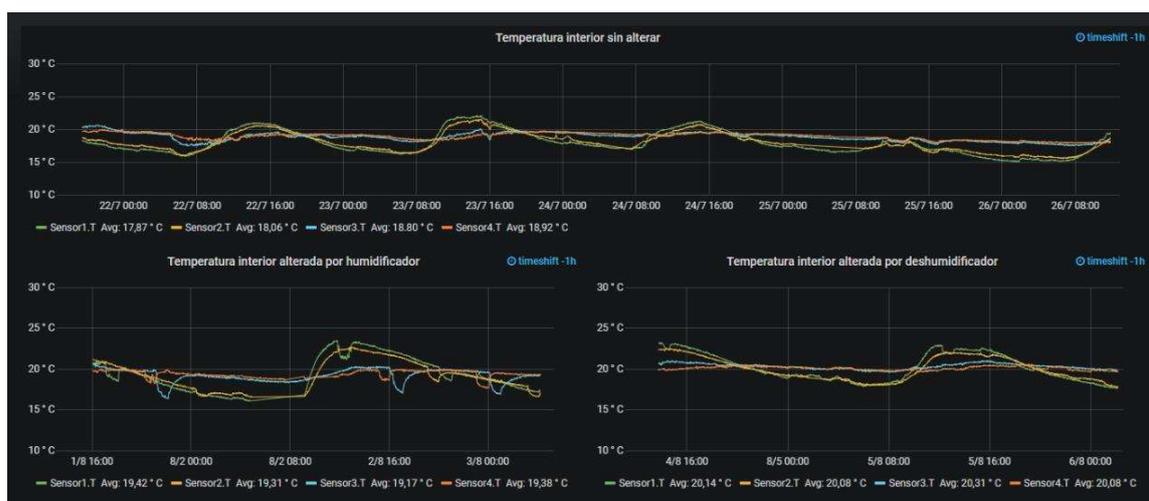


Figura 6. Comportamiento de la temperatura durante los tres periodos de experimentación.

7.1. Fase 1: Resultados del ambiente sin alteraciones

Como se puede observar en la figura 7, se evidencia un cambio de la humedad de acuerdo al estado ambiental sin alteraciones artificiales en el transcurso del día. También se logra identificar mayor concentración de humedad en el espacio menos ventilado de la habitación.



Figura 7. Humedad en su estado natural.

Tanto como en las Figuras 7 y 8, se logra evidenciar que la humedad y la temperatura son más estables en el espacio más ventilado de la habitación; que corresponden a las líneas verde y amarilla, mientras que en el extremo contrario de la habitación se evidencia la exposición que tiene la habitación al exterior durante el transcurso del día; líneas azul y naranja.

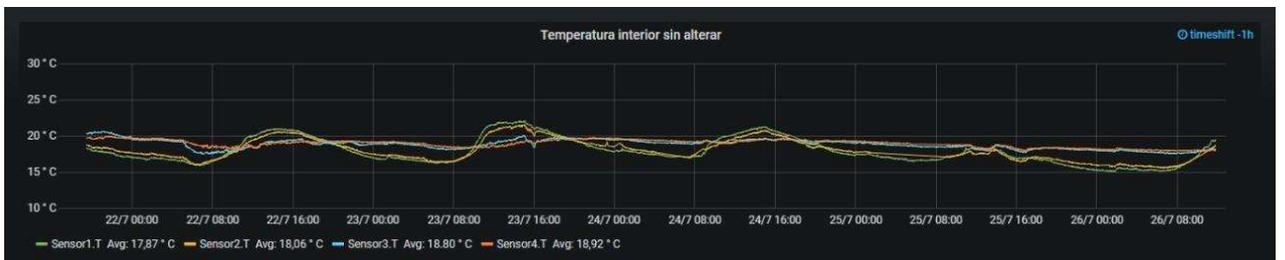


Figura 8. Temperatura en su estado natural.

7.2. Fase 2: Resultados del ambiente alterado por el humidificador

Durante el segundo periodo del experimento en donde se implementó el humidificador, se evidencia que los sensores presentan un cambio drástico en la lectura de la humedad presentando un 20% aproximadamente superior respecto a la lectura del primer período de experimentación. Los sensores 3 y 4 muestran una curva progresiva dado que hay ventilación extra en la ubicación de los mismos, caso contrario a los sensores 1 y 2, que tienen un crecimiento instantáneo, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Humedad alterada por dispositivo humidificador.

Por otro lado, la temperatura se ve disminuida en un 5% aproximadamente mostrando un comportamiento inverso al de la humedad, como se evidencia en la figura 10.

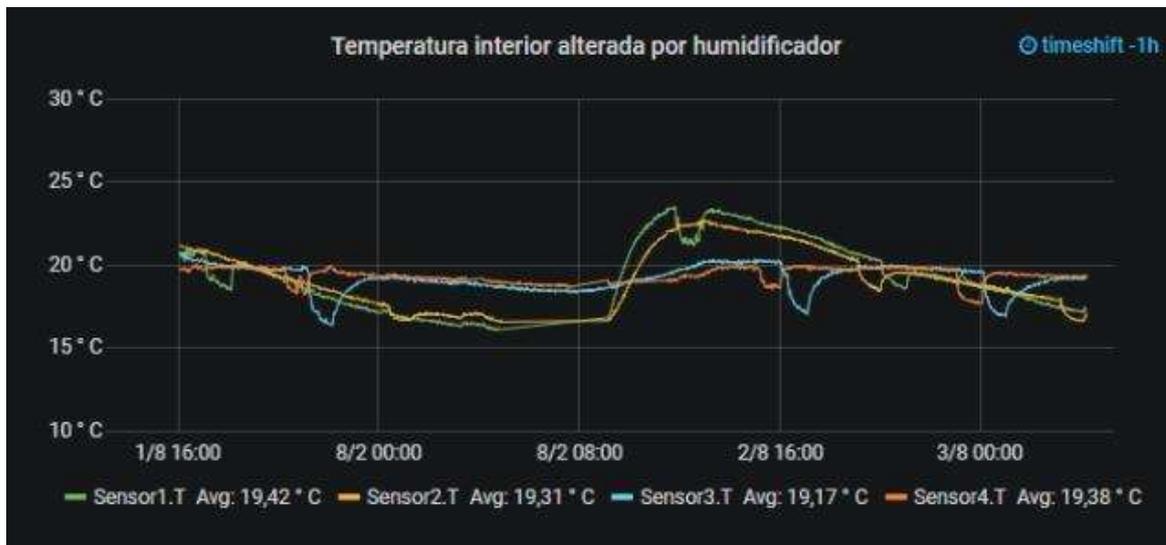


Figura 10. Temperatura alterada por dispositivo humidificador.

7.3. Fase 2: Resultados del ambiente alterado por el deshumidificador

Durante la última fase, en la que se empleó el deshumidificador, se puede apreciar que la temperatura y la humedad tuvieron un comportamiento más estable en comparación con los resultados obtenidos durante las etapas previas de experimentación, como se muestra en las figuras 11 y 12.

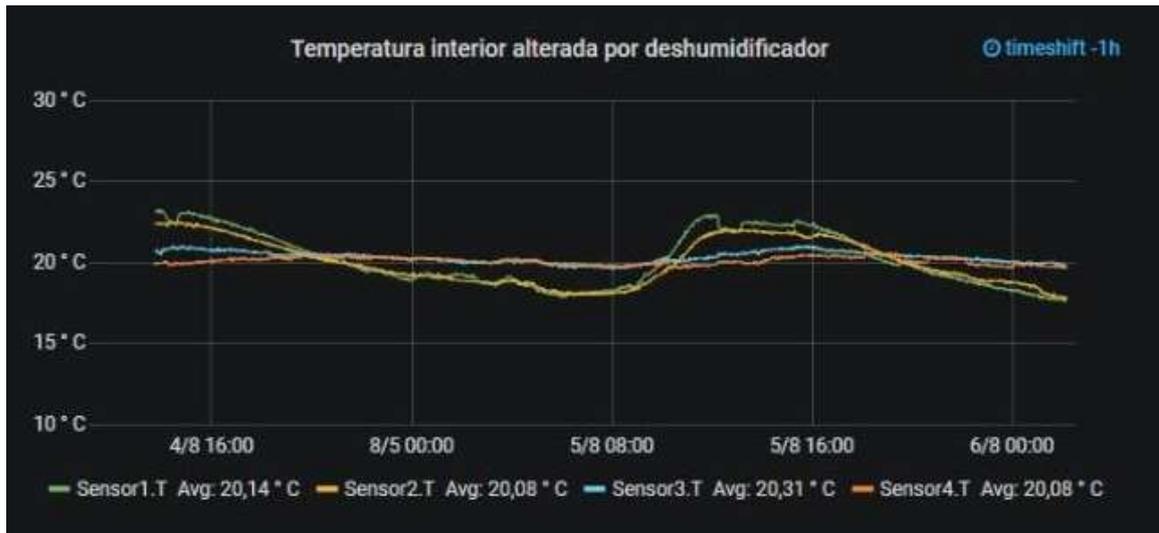


Figura 11. Temperatura alterada por dispositivo deshumidificador.



Figura 12. Humedad alterada por dispositivo deshumidificador.

7.4. Caracterización y análisis de distribución de los datos

Para un análisis más estadístico y detallado de los datos se realizó un diagrama de *boxplot* para cada etapa de experimentación por cada cuadrante y de esta forma poder evidenciar los valores atípicos y fundamentalmente la distribución de los datos. La figura 13, muestra una descripción que resume la dispersión general de todos los datos del ambiente sin ser alterado, el diagrama de *boxplot* refleja una simetría entre los sensores 1 y 2 y otra diferente entre los sensores 3 y 4.

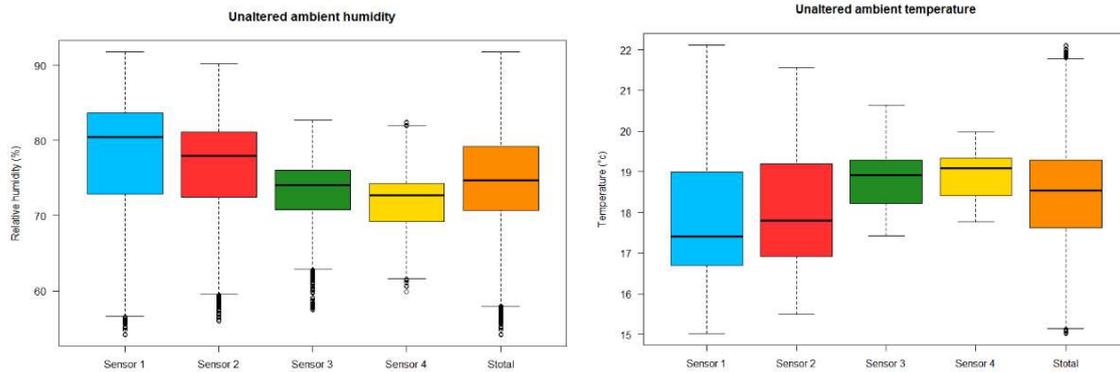


Figura 13. Dispersión de humedad y temperatura del medio sin alterar.

La tabla 1 y 2, nos permite verificar la simetría entre sensores y muestran la relación inversamente proporcional que hay entre humedad y temperatura.

Unaltered Ambient Humidity (HR %)				
	Sensor1. HR	Sensor2.HR	Sensor3.HR	Sensor4.HR
Min.	54.18	56.00	57.45	59.86
1st Qu.	72.85	72.48	70.76	69.22
Median	80.42	77.94	74.02	72.67
Mean	78.00	76.48	73.21	71.80
3rd Qu.	83.71	81.12	76.05	74.32
Max.	91.74	90.20	82.67	82.40

Tabla 4. Humedad del ambiente sin alterar

Unaltered Ambient Temperature (°C)				
	Sensor1.T	Sensor2.T	Sensor3.T	Sensor4.T
Min.	15.03	15.49	17.42	17.77
1st Qu.	16.69	16.92	18.22	18.41
Median	17.41	17.80	18.91	19.08
Mean	17.86	18.06	18.80	18.92
3rd Qu.	18.99	19.20	19.29	19.34
Max.	22.11	21.57	20.64	19.98

Tabla 5. Temperatura del ambiente sin alterar

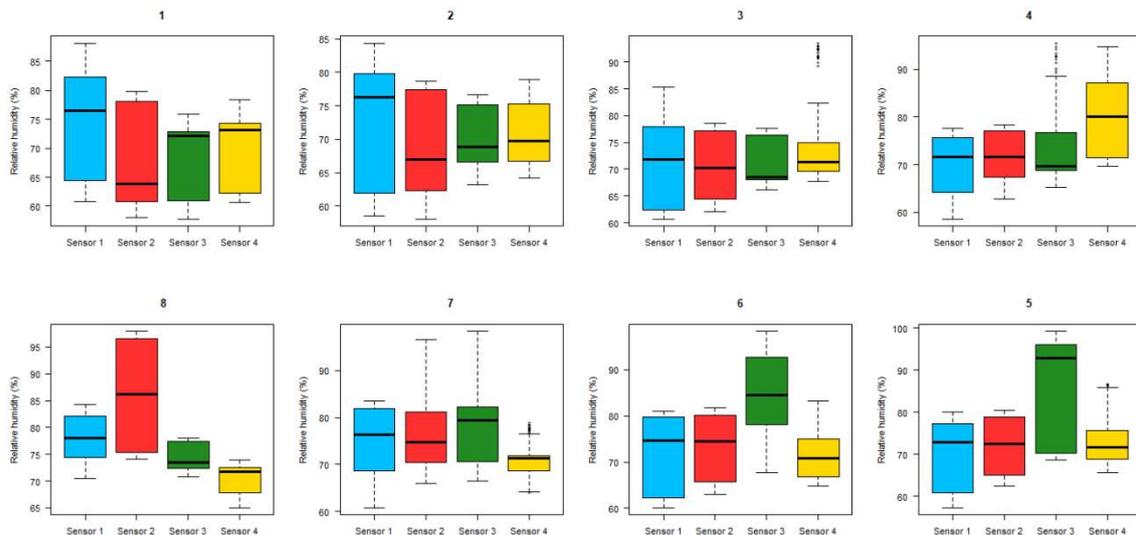


Figura 14. Humedad por cuadrante en el periodo 2 de experimentación.

Para la fase dos de experimentación, de acuerdo a la ubicación del humidificador en los diferentes cuadrantes, se identificó que el comportamiento de la humedad en el ambiente tuvo un aumento entre el cuartil 2 y el cuartil 3 en el sensor más cercano a cada cuadrante respectivamente, como se muestra en la figura 14. Con base en los datos registrados se evidenció que hay un aumento del 8% en los cuadrantes más próximos al cuadrante donde se encontraba el humidificador y un 3% con respecto a los cuadrantes más alejados.

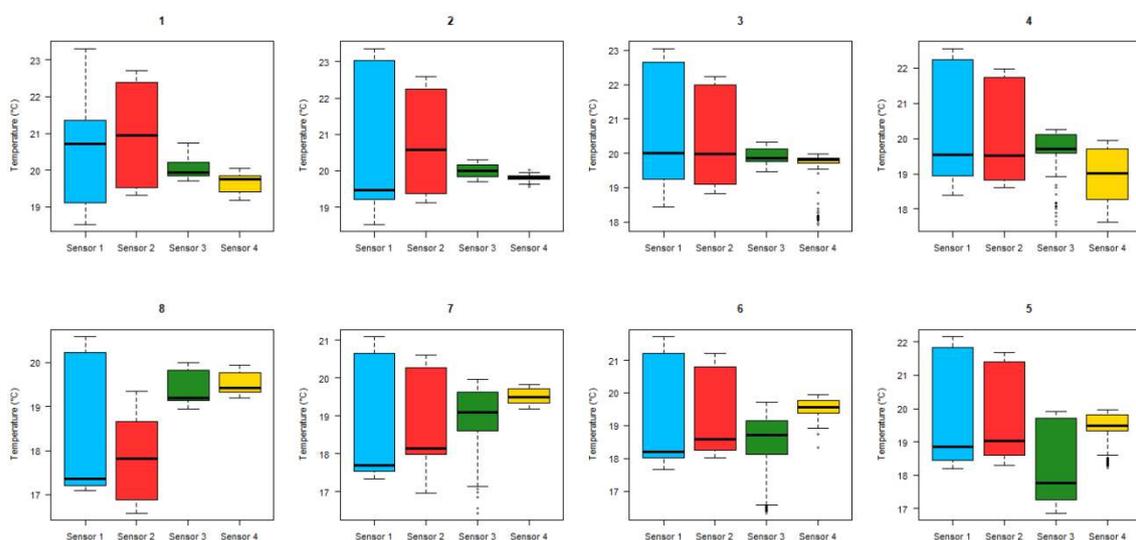


Figura 15. Temperatura por cuadrante en el periodo 2 de experimentación.

Por otro lado, el comportamiento de la temperatura se presumía contrario al de la humedad sin embargo, debido a las condiciones del espacio se puede ver considerablemente afectado por el ambiente externo, ya que el sensor 1 y 2 se encuentran ubicados con una pared que colinda con el exterior del apartamento por lo que la dispersión de los datos no fue significativa, mientras que el sensor 3 y 4 se

encuentran hacia el interior del mismo, registrando de forma más notable la dispersión de los datos conforme a la ubicación del humidificador a los cuadrantes más próximos como se registró en la figura 15.

Para la fase tres de experimentación la disminución y la fluctuación de la humedad y de la temperatura fue muy baja, ya que el 80% de los datos no presentaron una gran variabilidad al transcurrir el periodo de experimentación como se puede apreciar en la figura 16 y 17. Concluyendo de esta forma el segundo objetivo de este trabajo.

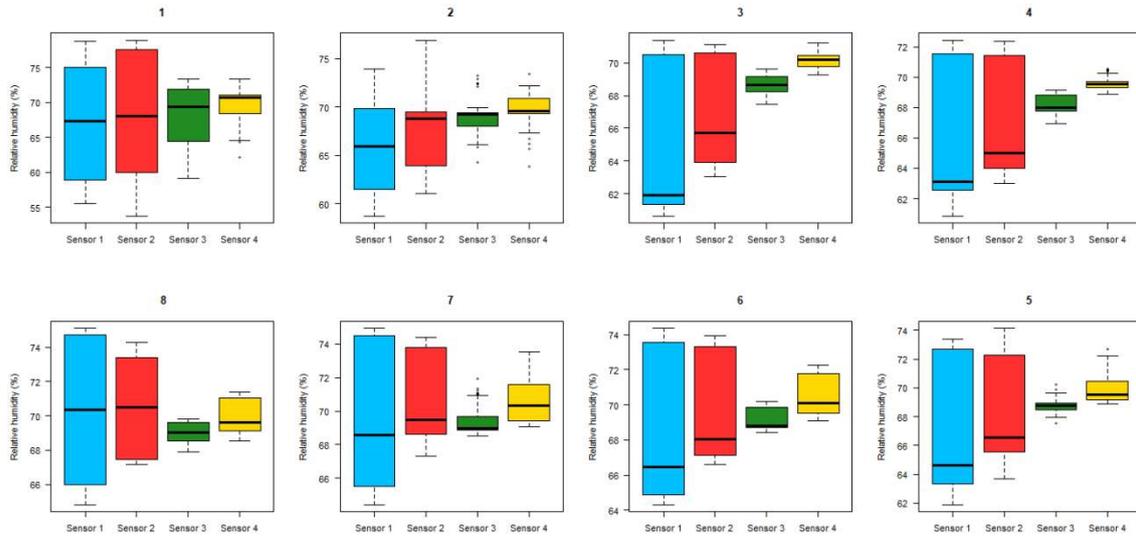


Figura 16. Humedad por cuadrante en el periodo 3 de experimentación.

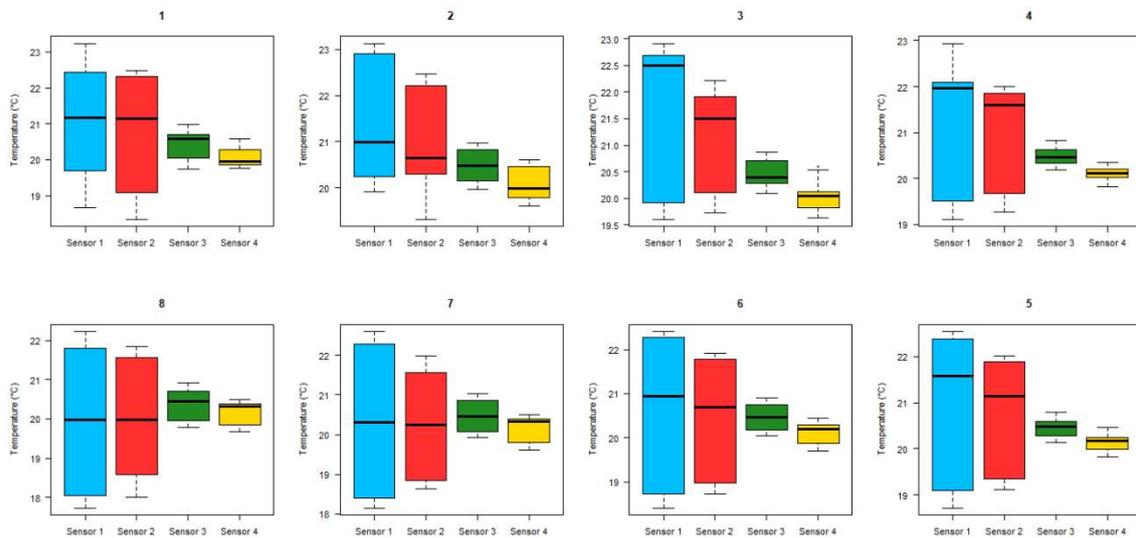


Figura 17. Temperatura por cuadrante en el periodo 3 de experimentación.

8. SISTEMA DE CONTROL Y ALERTAS TEMPRANAS

La implementación de un sistema de alertas por mensaje de texto o correo electrónico, se puede llevar a cabo a partir de un control *on/off* gobernado por un semáforo difuso en donde el color verde haría referencia a las condiciones óptimas de humedad relativa y temperatura, y el color rojo representaría las condiciones fuera de rango. El semáforo tendría dos entradas y una salida. La primera entrada sería el valor de la humedad relativa con valores entre 0 y 100%. Sobre este dominio, se definen tres conjuntos difusos: muy baja (MB) $< 40\%$; $40\% \geq$ óptima (O) $\leq 60\%$, y muy alta (MA) $> 60\%$. La segunda entrada sería el valor de la temperatura en un rango de 1 a 30°C, definiendo como conjuntos difusos: muy baja (MB) $< 15^\circ\text{C}$, $15^\circ\text{C} \geq$ óptima (O) $\leq 25^\circ\text{C}$, y muy alta (MA) $> 25^\circ\text{C}$ y en cuanto a la variable de salida, corresponde a la luz del semáforo, éste tendría como dominio los reales entre 0 y 1 y dos conjuntos difusos [*off*, *on*] para la luz roja y verde respectivamente, como se planteó en el tercer objetivo de este proyecto.

Dependiendo del estado de la humedad y la temperatura, se indicará el estado del semáforo, generando una alerta a través de mensaje de texto o correo electrónico, con la acción de control *on/off*, para el humidificador o deshumidificador, según corresponda.

9. CONCLUSIONES

- Se logró la implementación de un sistema IoT que permitió tener a disposición la información para el monitoreo y control de datos en tiempo real y de forma económica. Lo que nos brindó la posibilidad de recolectar y administrar la información de manera efectiva y eficiente.
- Este es un sistema fácilmente escalable ya que se puede extender el número de sensores para mayor precisión o emplearse en un espacio más amplio haciendo uso de la misma programación en los controladores.
- Luego de haber empleado los servicios de Amazon Web Services y la instancia EC2, se puede concluir que es posible instalar el sistema de monitoreo y control con relativa facilidad en un servidor propio o externo, siempre y cuando tenga las características necesarias.
- Con el sistema de humidificación empleado se logró incrementar la humedad relativa un 8% en el cuadrante donde se encontraba ubicado el sensor y los cuadrantes más próximos, lo que representa un área de 1 a 2 metros cuadrados.
- Con respecto al sistema deshumidificador, este no cumplió el objetivo de reducir la humedad relativa a los valores deseados, aunque se logró mantener estable dentro de los rangos naturales.
- Este sistema se puede llevar a otras plataformas de computación en la nube, emplear más herramientas como la inteligencia artificial o el aprendizaje automático y muchas otras metodologías que permitan obtener mejores resultados y agregar más funcionalidades para el usuario final.

9.1. Posibles mejoras y recomendaciones

Se sugiere mejorar el sistema de humidificación y deshumidificación que permita llevar la humedad relativa y temperatura a los rangos favorables para evitar la propagación de virus causantes de IRA. También la implementación de un respaldo energético como el uso de baterías, permitirá el funcionamiento ininterrumpido del sistema.

Adicionalmente se podría automatizar el sistema de humidificación y deshumidificación que ayudará a tener controladas las variables con mayor rigor, asimismo, implementar una interfaz gráfica de usuario para una administración más amigable y práctica para el uso cotidiano facilitando el manejo del sistema para el usuario final.

10. REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, "Guía operativa para la vigilancia nacional de la Infección Respiratoria Aguda Grave (IRAG)," *Septiembre 2014*.
- [2] Ministerio de salud Gobierno de Colombia, "Páginas - Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)," *¿Qué es Infección Respiratoria Aguda?* p. 2, 2018.
- [3] C. de P. OMS, "Los dirigentes mundiales se unen para velar por que todas las personas en todas partes puedan acceder a nuevas vacunas, pruebas y tratamientos contra la COVID-19." <https://www.who.int/es/news-room/detail/24-04-2020-global-leaders-unite-to-ensure-everyone-everywhere-can-access-new-vaccines-tests-and-treatments-for-covid-19> (accessed May 04, 2020).
- [4] El Comercio, "¿Qué hacer para evitar el hábito de tocarse la cara y prevenir el contagio del covid-19? - El Comercio," *10 de marzo de 2020*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/habito-manos-cara-prevencion-covid19.html> (accessed Jun. 30, 2022).
- [5] J. Lessler, N. G. Reich, R. Brookmeyer, T. M. Perl, K. E. Nelson, and D. A. Cummings, "Incubation periods of acute respiratory viral infections: a systematic review," *The Lancet Infectious Diseases*, vol. 9, no. 5. Elsevier, pp. 291–300, May 01, 2009. doi: 10.1016/S1473-3099(09)70069-6.
- [6] B. Hugo Diez Ortega and D. Marcela Mercado Reyes MEpd Asesor Marylin Hidalgo, "ETIOLOGÍA DE LA INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA (IRA) EN ADULTOS Presentado como requisito para optar al título de Magister en Ciencias," Pontificia Universidad Javeriana, 2013.
- [7] M. Moriyama, W. J. Hugentobler, and A. Iwasaki, "Annual review of virology seasonality of respiratory viral infections," *Annual Review of Virology*, vol. 7, 2020, doi: 10.1146/annurev-virology-012420-022445.
- [8] J. Wang, K. Tang, K. Feng, and W. Lv, "High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19," *SSRN Electronic Journal*, Mar. 2020, doi: 10.2139/ssrn.3551767.
- [9] M. M. Sajadi, P. Habibzadeh, A. Vintzileos, S. Shokouhi, F. Miralles-Wilhelm, and A. Amoroso, "Temperature and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19," *SSRN Electronic Journal*, Mar. 2020, doi: 10.2139/ssrn.3550308.
- [10] W. Yang and L. C. Marr, "Dynamics of Airborne Influenza A Viruses Indoors and Dependence on Humidity," *PLoS ONE*, vol. 6, no. 6, p. e21481, Jun. 2011, doi: 10.1371/journal.pone.0021481.
- [11] J. M. Reiman *et al.*, "Humidity as a non-pharmaceutical intervention for influenza A," *PLOS ONE*, vol. 13, no. 9, p. e0204337, Sep. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0204337.
- [12] A. C. Lowen, S. Mubareka, J. Steel, and P. Palese, "Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature," *PLoS Pathogens*, vol. 3, no. 10, pp. 1470–1476, Oct. 2007, doi: 10.1371/journal.ppat.0030151.

- [13] B. Danny and E. R. Sánchez, "INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD AMBIENTAL EN LAS INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS (IRA) EN LA CIUDAD DE HUARAZ, PERIODO 2012 – 2016," Huaraz, Ancash, Perú, Jan. 2019.
- [14] M. E. Correal, J. E. Marthá, and R. Sarmiento, "Influencia de la variabilidad climática en las enfermedades respiratorias agudas en Bogotá," *Biomedica*, vol. 35, no. 3, pp. 130–138, 2015, doi: 10.7705/biomedica.v35i0.2456.
- [15] P. S. Suspes, D. Danik, and V. Antequera, "PROCESO R-02 VIGILANCIA Y CONTROL EN SALUD PÚBLICA PROTOCOLO DE VIGILANCIA Y CONTROL DE INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA."
- [16] "Cuál es la humedad relativa ideal en casa y cómo conseguirla Blog de la Fisioterapia Respiratoria." <https://www.fisiorespiracion.es/blog/humedad-ideal-en-casa/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [17] V. C. O. B. YUJAINA ALVARINO GAITAN, "ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA," 2016.
- [18] S. Nižetić, P. Šolić, D. López-de-Ipiña González-de-Artaza, and L. Patrono, "Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122877.
- [19] D. Sembroiz, S. Ricciardi, and D. Careglio, "A Novel Cloud-Based IoT Architecture for Smart Building Automation," *Security and Resilience in Intelligent Data-Centric Systems and Communication Networks*, pp. 215–233, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-12-811373-8.00010-0.
- [20] K. Aron Semle, "Protocolos IoT para considerar," *Aadeca Revista*, p. 34, 2016.
- [21] B. Ramamurthy, J. Poulin, and K. Dittmar, "Cloud-enabling Scientific Tools and Computational Methods for Invigorating STEM Learning and Research," *The Journal of Computational Science Education*, vol. 3, no. 1, pp. 28–33, 2012, doi: 10.22369/issn.2153-4136/3/1/4.
- [22] M. El Ouadghiri, B. Aghoutane, and N. El Farissi, "Communication model in the Internet Of Things," *Procedia Computer Science*, vol. 177, pp. 72–77, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROCS.2020.10.013.
- [23] "A Time-Series Database Analysis Based on a Multi-attribute Maturity Model," 2012, doi: 10.24846/v28i2y201906.
- [24] DB-Engines, "DB-Engines - Knowledge Base of Relational and NoSQL Database Management Systems." <https://db-engines.com/en/> (accessed Aug. 22, 2022).
- [25] T. Beermann *et al.*, "Implementation of ATLAS Distributed Computing monitoring dashboards using InfluxDB and Grafana", doi: 10.1051/epjconf/202024503031.
- [26] R. Moreno Hernández, "Desarrollo de una aplicación IoT para la gestión de un hogar inteligente mediante el protocolo MQTT y Sistemas en chip (SoC) ESP32," Oct. 2020.

- [27] “1. Getting started with MicroPython on the ESP32 — MicroPython 1.19.1 documentation.” <https://docs.micropython.org/en/latest/esp32/tutorial/intro.html> (accessed Aug. 23, 2022).

11. ANEXOS

A continuación, se mostrarán los algoritmos usados en Python y MicroPython, que se emplearon en el sistema IoT.

11.1. Boot – Secuencia de conexión de ESP32 a red WiFi

```
import network

ssid = 'FamiliaMoreno'
password = '1019132005'

station = network.WLAN(network.STA_IF)

station.active(True)
station.connect(ssid, password)

print('Estableciendo Conexion ')
while station.isconnected() == False:
    pass

print('Conexion Exitosa...')
print(station.ifconfig())
```

11.2. Main – SHT30 como cliente

```
from sht30 import SHT30
from time import sleep
from umqtt.simple import MQTTClient

server="3.22.223.141"
port=1883
user="SAT_LM"
password="SAT_LM123"

while(1):

    sensor1 = SHT30()
    a = sensor1.init(22,21)
    t1, h1 = sensor1.measure()
    datos = ['S3',h1,t1]

    print('datos',datos)
    sleep (60)

    c = MQTTClient("umqtt_client", server,port,user,password)
    c.connect()
    c.publish(b"casa/mateo/habitacion/nodosensor", str(datos))
    c.disconnect()
```

11.3. Publicación a base de datos

```
import sys
import paho.mqtt.client
import datetime
from influxdb import InfluxDBClient

def on_connect(client, userdata, flags, rc):

    print('connected (%s)' % client._client_id)
    client.subscribe(topic='casa/mateo/habitacion/nodosensor', qos=0)

def on_message(client, userdata, message):

    global status, valor
    print('-----')
    print('topic: %s' % message.topic)
    print('payload: %s' % message.payload)
    print('qos: %d' % message.qos)
    grabar_datos(message.payload)

def grabar_datos(msg):
    global s1hr
    global s1t
    global s2hr
    global s2t
    global s3hr
    global s3t
    global s4h
    global s4t

    s = eval(msg)[0]

    if s == 'S1':
```

```
s1hr = eval(msg)[1]
s1t = eval(msg)[2]

json_body = [{
"measurement": "EstadoNatural_HR_T",
"tags": {
  "Sensor": "Sensor1",
},
"time": str(datetime.datetime.now()),
"fields": {
  "HR": s1hr
  "T(°C)": s1t
}
}]

if s == 'S2':

s2hr = eval(msg)[1]
s2t = eval(msg)[2]

json_body = [{
"measurement": "EstadoNatural_HR_T",
"tags": {
  "Sensor": "Sensor2",
},
"time": str(datetime.datetime.now()),
"fields": {
  "HR": s2hr
  "T(°C)": s2t
}
}]

if s == 'S3':
```

```

s3hr = eval(msg)[1]
s3t = eval(msg)[2]

json_body = [{
"measurement": "EstadoNatural_HR_T",
"tags": {
    "Sensor": "Sensor3",
    },
"time": str(datetime.datetime.now()),
"fields": {
    "HR": s3hr
    "T(°C)": s3t
    }
}]

if s == 'S4':

s4hr = eval(msg)[0]
s4t = eval(msg)[1]

json_body = [{
"measurement": "EstadoNatural_HR_T",
"tags": {
    "Sensor": "Sensor4",
    },
"time": str(datetime.datetime.now()),
"fields": {
    "HR": s4hr
    "T(°C)": s4t
    }
}]

```

```

client = InfluxDBClient(host='localhost', port=8086, username='SAT_LM', password='SAT_LM123')
client.create_database('BD_SAT')
client.switch_database('BD_SAT')
client.write_points(json_body)
print('Dato Guardado')

def main():

    client = paho.mqtt.client.Client(client_id='python-sub', clean_session=False)
    client.on_connect = on_connect
    client.on_message = on_message
    client.username_pw_set(username="SAT_LM",password="SAT_LM123")
    client.connect(host='3.14.86.14', port=1883)
    client.loop_forever()

if __name__ == '__main__':
    main()
sys.exit(0)

```