Información General del Semillero de Investigación	
Facultad: **Ciencias Naturales e Ingeniería FCNI**	
Programa académico: **Ingeniería de Telecomunicaciones**	Grupo(s) de Investigación: **GNET**
Nombre del semillero – Siglas **Semillero de investigación en Sistemas de Telecomunicaciones - SISTEL**	
Líneas de Investigación: **Programación en sistemas de comunicaciones**	

Áreas del saber *			
	1. Agronomía veterinaria y afines		5. Ciencias sociales y humanas
	2. Bellas artes		6. Economía, administración, contaduría y afines
	3. Ciencias de la educación		7. Matemáticas y ciencias naturales
	4. Ciencias de la salud	x	8. Ingenierías, arquitectura, urbanismo y afines

Al diligenciar este documento autorizo a UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, ubicada en Calle de los Estudiantes 9-82 Ciudadela Real de Minas y con teléfono de contacto 6076917700, para que recolecte, almacene, use, circule y/o suprima mis datos personales. Lo anterior para dar cumplimiento a las finalidades incorporadas en la Política de Tratamiento de Información disponible en www.uts.edu.co, la cual declaro conocer y saber que en esta se especifican cuáles datos son sensibles. Así mismo, conozco que como titular me asisten los derechos a conocer, actualizar, rectificar y suprimir mis datos y revocar la autorización. Igualmente declaro que poseo autorización, de los otros titulares de datos que suministro, para que UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER les dé tratamiento conforme a las finalidades consignadas en la Política.

Información del Docente Líder

Nombre	Documento	Correo electrónico
Johan Leandro Téllez Garzón	1101753049	jtellez@correo.uts.edu.co

Información de los Autores

Nombre	Documento	Correo electrónico
Franz Hederich Amaya Ríos	1005373000	fhamaya@uts.edu.co

Proyecto

1. Título del proyecto: Desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales mediante un prototipo en el campus principal de las UTS	MODALIDAD DEL PROYECTO **			
	PA	PI	TI	Otra. ¿Cuál?
			x	
	Fecha de terminación del proyecto:			5/02/2024

2. Resumen del trabajo:

El proyecto plantea el desarrollo de un sistema IoT para monitorear variables ambientales en la plazoleta principal de las UTS. El objetivo es recolectar, almacenar y mostrar en tiempo real los datos de los sensores, datos tales como CO_2, temperatura, humedad y material particulado, buscando mejorar el control ambiental y hacer un aporte al bienestar de la comunidad Uteista.

La metodología utilizada se organizó en 3 fases principales: en su primera fase el diseño del prototipo, unión de sus elementos electrónicos y su almacenamiento físico, en su segunda fase, la implementación de un prototipo físico resistente a la intemperie. En su tercera fase, la creación de un aplicativo Web para la visualización, procesamiento para su posterior análisis de datos. Con el uso de tecnologías IoT y desarrollo Web, como parte final realizar pruebas de calidad y eficiencia en la recolección, almacenamiento y visualización disponiendo del prototipo en ambientes reales.

El resultado esperado es un prototipo funcional que captura datos en tiempo real, una plataforma web escalable a más sensores y una base de datos con información suficiente para realizar comparaciones y sacar unos resultados iniciales de las variables ambientales en el campus.

En conclusión, la implementación de este sistema no solo permitirá ayudar a construir una base para proyectos futuros en el área IoT, permitir tener datos reales para mejoramiento del confort en los espacios académicos y sostenibilidad ambiental dentro de las UTS.

3. Objetivo general y objetivos específicos:

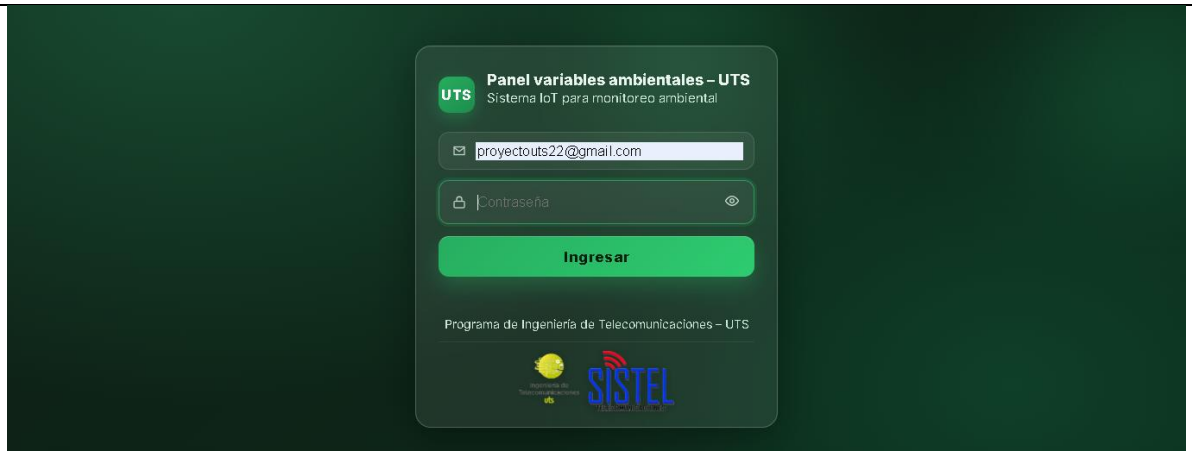
Desarrollar un sistema IoT de monitoreo de variables ambientales tales como CO_2, temperatura, humedad, y material particulado mediante un prototipo instalado a la intemperie en la plazoleta del campus principal de las UTS, realizando un desarrollo WEB, haciendo uso del sensor SCD-40, MPM10-AG y herramientas de análisis de datos, con el fin de fortalecer el control y seguimiento de las condiciones ambientales en la institución.

- Diseñar la arquitectura del sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales en el campus principal de las UTS, utilizando un sensor SCD-40 para la medición de CO_2, temperatura, humedad y material particulado. Este diseño incluirá la ubicación estratégica del sensor en un área específica del campus, asegurando su autonomía y la correcta captura de datos. Además, se definirán las tecnologías de desarrollo WEB necesarias para la implementación y gestión de los datos recopilados.
- Implementar el prototipo del sistema IoT en la plazoleta del campus principal de las UTS, utilizando un sensor SCD-40 para medir CO_2, temperatura, humedad y el sensor MPM10-AG para medir material particulado. La implementación se realizará de forma robusta que soporte la intemperie y tenga suficiente autonomía, asegurando la recolección y transmisión de datos del sensor en tiempo real a una plataforma creada, para almacenar los datos usando tecnologías web.
- Desarrollar una plataforma digital escalable a dos o más sensores para la visualización web y análisis de los datos ambientales capturados por el prototipo, realizando gráficas y comparaciones de niveles de CO_2, temperatura, humedad y material particulado en tiempo real, para evaluar la correcta operatividad del sistema IoT desarrollado

4. Análisis de resultados:

Verificación del ciclo completo de adquisición–transmisión–visualización

Durante las pruebas se confirmó que el flujo completo desde la medición en el nodo, su transmisión hacia la nube y la visualización final en la interfaz web funcionó de manera continua y sin interrupciones. El dispositivo realizó lecturas periódicas de CO_2, temperatura, humedad y material particulado, enviando los datos cada cinco minutos a Firebase. En el panel web fue posible observar estas lecturas en tiempo real, así como consultar datos por rangos de fechas o filtrar por dispositivo, tal como se aprecia en la Figura. La presencia ordenada de las marcas temporales ISO 8601 evidenció que el proceso se desarrolló sin pérdida de información ni inconsistencias.



Arquitectura multipropósito y administración de placas

El sistema demostró ser completamente escalable al permitir la incorporación y gestión simultánea de múltiples nodos. Cada placa (por ejemplo, esp32-1, esp32-2, etc.) se integró sin dificultades a la estructura establecida en Firebase, siguiendo la ruta organizada por el identificador del dispositivo y el timestamp. Desde el dashboard fue posible alternar entre diferentes placas sin retrasos ni errores, mientras que la interfaz de administración permitió añadir nuevos nodos mediante un código de validación exclusivo del rol de administrador. Esto confirmó el correcto funcionamiento del mecanismo de gestión de infraestructura distribuida, como muestra la Figura.

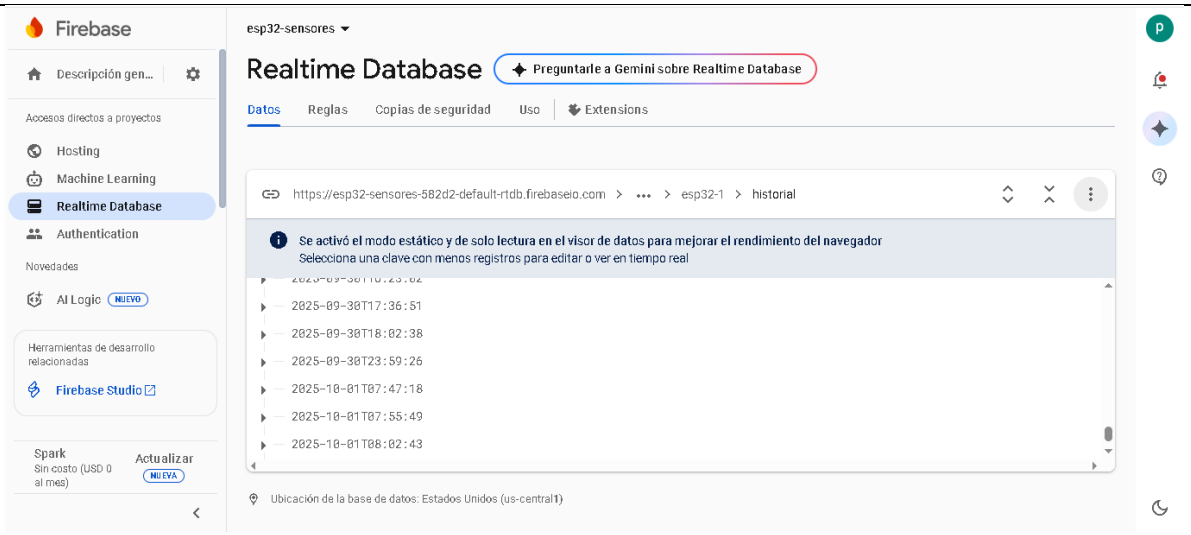


Robustez y continuidad operativa

Las pruebas realizadas con desconexiones breves de Wi-Fi y fallas temporales de energía demostraron que el sistema posee mecanismos efectivos de auto-recuperación. El nodo se reconectó automáticamente y retomó su ciclo de envío sin requerir intervención manual, y la lógica de reintentos impidió bloqueos incluso después de periodos prolongados de operación. Esta estabilidad garantizó que la periodicidad de los envíos se mantuviera dentro del margen esperado, validando la robustez del sistema para condiciones reales de campo.

Verificación del almacenamiento de datos

El almacenamiento en Firebase mostró organización y consistencia. Todas las muestras registradas mantuvieron un orden cronológico adecuado, con marcas de tiempo en formato ISO 8601 que facilitaron el seguimiento de los datos y su análisis posterior. No se presentaron duplicados ni vacíos significativos en la secuencia de muestreo, lo que confirma que la estructura de almacenamiento es confiable y adecuada para análisis históricos, tal como se observa en la Figura.



Funcionamiento de la interfaz web

La interfaz web cumplió satisfactoriamente con todas las funciones previstas. Las pruebas demostraron que el sistema de login separa correctamente los roles de visualizador y administrador, permitiendo un manejo seguro de accesos. El panel visualizó datos en tiempo real y generó gráficas limpias y precisas en consultas históricas, además de permitir seleccionar variables y rangos de fechas sin pérdidas de rendimiento. Tanto en escritorio como en dispositivos móviles, la experiencia de uso se mantuvo fluida y completa, preservando todos los elementos necesarios para monitoreo y administración.

Validación de la instalación física y protección ambiental

El montaje físico del dispositivo, compuesto por una caja a medida y un recubrimiento metálico externo, demostró ser adecuado para exposición en exteriores sin afectar las mediciones. La fijación mediante velcro permitió manipulación sencilla para mantenimiento, mientras que la ubicación final, a dos metros de altura y en un punto ventilado y protegido de la lluvia, garantizó condiciones óptimas de muestreo. Las Figuras muestran que la instalación resultó ordenada, segura y funcional desde el primer momento.





Análisis cuantitativo de las más de 3700 muestras recolectadas

El archivo descargado desde el perfil administrador permitió realizar un análisis estadístico básico pero suficiente para validar el desempeño del sistema. Los datos presentaron integridad temporal, con una secuencia correcta de timestamps sin duplicados ni saltos mayores a 30 minutos. Asimismo, el análisis de valores atípicos reveló que menos del 5% de los datos se consideraron fuera de contexto, un porcentaje normal y aceptable en mediciones ambientales reales. Las tendencias observadas fueron coherentes con las condiciones de los diferentes entornos monitoreados: Floridablanca mostró incrementos en horas pico, Charta mantuvo valores bajos por su carácter rural, y la plazoleta UTS reflejó oscilaciones asociadas al tránsito peatonal y la ventilación abierta. La Tabla 5 resume estos comportamientos mediante métricas de promedio, máximos, mínimos y porcentajes de valores atípicos. En la Tabla 5, por cada variable se tiene en cuenta criterios como Promedio, Max, Min, #valores atípicos, %valores atípicos, dicha tabla comprueba datos analizados.

Tabla 1 - Tabla con analisis de variables.

	Métricas					
Criterio	Tem	hum	co2	pm1	pm25	pm10
Promedio	26,7142857	57,875	618,783439	17,3412193	22,7879891	24,6815287
Max	32	71	70	34	38	55
Min	25	50	0	2	2	2
# valores atipicos	0	36	1	155	152	94
%Atipicos	0%	1%	0%	4%	4%	2%

Evaluación global del desempeño del prototipo

Con toda la evidencia recopilada, se puede afirmar que el sistema cumplió satisfactoriamente con los objetivos de medición, transmisión, almacenamiento y visualización. El prototipo demostró estabilidad prolongada, escalabilidad hacia nuevos nodos, seguridad mediante autenticación y un comportamiento ambiental coherente. La arquitectura también probó ser adecuada para operar en exteriores y mantenerse funcional en distintas condiciones climáticas. Los datos obtenidos fueron consistentes y útiles para análisis ambientales, consolidando el desempeño esperado del proyecto.

5. Conclusiones:

El sistema desarrollado demostró un funcionamiento estable y continuo en todas sus etapas, desde la medición en el nodo hasta la visualización en el dashboard web. La integración entre hardware, base de datos y plataforma de monitoreo permitió mantener un ciclo de adquisición sincronizado y confiable, respaldado por una estructura organizada que favoreció la autonomía del proceso y evitó pérdidas o duplicaciones de datos.

Las mediciones registradas en los distintos entornos —urbano, rural y universitario— fueron coherentes con el contexto de cada lugar, reflejando tendencias ambientales reales gracias a la correcta ubicación física de los nodos, los intervalos de muestreo adecuados y el diseño del flujo de almacenamiento. Las pruebas controladas también confirmaron que los sensores respondieron de forma consistente y precisa.

Durante el desarrollo surgieron fallas típicas de un prototipo, pero cada una fue mitigada mediante mejoras en el código y la lógica de operación. Esto permitió incorporar mecanismos de recuperación automática como la reconexión Wi-Fi, la reanudación tras cortes eléctricos y la validación interna de datos para evitar muestras erróneas. Como resultado, el sistema alcanzó una fase madura con capacidad de resolver problemas sin intervención manual.

El uso de un único proveedor de servicios para almacenamiento, hosting y control de acceso resultó adecuado para los objetivos institucionales. La estructura organizada por dispositivo y timestamp facilitó las consultas, comparaciones y exportaciones, además de ofrecer escalabilidad para futuras expansiones del sistema.

Las pruebas realizadas en laboratorio, campo y ambientes simulados confirmaron que el prototipo cumple con los objetivos de medición, transmisión y visualización. Los más de 3700 registros obtenidos entre septiembre y octubre presentaron consistencia temporal, intervalos correctos de cinco minutos y menos del 5% de valores atípicos, un nivel aceptable para mediciones ambientales reales. Las tendencias observadas —como picos de CO_2 en horas de ocupación, variaciones térmicas diurnas y fluctuaciones de PM por tránsito— validan que las lecturas reflejan adecuadamente la dinámica ambiental.

La interfaz web funcionó con fluidez en dispositivos móviles y de escritorio, mostrando gráficos correctos, filtros operativos y una administración sin fallas. Esto confirmó que la visualización es clara, segura y práctica para usuarios finales.

En conjunto, el prototipo cumple plenamente con su propósito: medir, transmitir, almacenar y visualizar datos ambientales de forma organizada, estable y escalable. El sistema queda preparado para crecer sin necesidad de reestructuración, ofreciendo una base sólida y replicable para futuros nodos, nuevas variables y capacidades analíticas ampliadas dentro del monitoreo ambiental del campus UTS.

6. Recomendaciones:

A continuación, se harán recomendaciones por campos para mejora sobre la base del trabajo:

Sensores y *hardware*

- Añadir variables: ruido, luminosidad, presión, viento y lluvia para dar contexto micro climático.
- ventilación activa de baja potencia en el compartimento PM para estabilizar el flujo de aire.

Energía y continuidad

- Fuente redundante: PoE o solar + batería con supervisión de voltaje.
- Registro de estado de batería y corte ordenado ante baja tensión.

Conectividad

- Alternativa *LTE/NB-IoT* en puntos sin *Wi-Fi; LoRaWAN* para telemetría de baja tasa.
- VPN o túnel seguro para acceso remoto a nodos de pruebas.

Funciones de *dashboard*

- Comparación multi-nodo en una sola vista con bandas de referencia configurables.

- Marcadores de eventos desde la bitácora (lluvia, aforo, obras) superpuestos a las series.

Analítica y estudios

- Matrices de correlación por franja horaria y por día de la semana.
- Modelos simples de pronóstico por variable *(naive/ARIMA)* para avisos de tendencia.
- Evaluación de impacto: antes/después de acciones de ventilación o cambios de flujo de personas.
- Mapas del campus con isócronas o calor para ubicar nuevos puntos de medición.

Escalabilidad y organización

- Plan de crecimiento por etapas: 3 → 10 → 20 nodos, con métricas de capacidad (consultas, almacenamiento, costo).

Integración con la institución

- Publicación de un informe mensual para bienestar/infraestructura del campus.
- Integración con señalización en sitio (QR al panel del nodo).
- Mecanismo de comentarios de la comunidad para reportar eventos puntuales.

7. Bibliografía:

Contreras, J. D. L., & España, A. D. B. (2024). Sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales en un ambiente laboral. Revista Social Fronteriza, 4(1), e41117-e41117.

Silva, J. A. A., Rincon, I. S., & Manzanilla, F. O. G. (2013, May). Sistema de monitoreo de variables ambientales utilizando de ethernet. In Congreso Internacional de Informática aplicadaAt: Mizantla, Veracruz.

Bautista-Vivanco, D. Y., Oliva-Moreno, L. N., & Ilizaliturri-Flores, I. (2024). Monitoreo remoto de variables ambientales a larga distancia con sistemas embebidos. Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 12, 40-48.

Hernández, Y., López, D., & Moya, F. (2019). Monitoreo ambiental como herramienta para el seguimiento continuo previsto en la evaluación de impacto ambiental. Revista espacios, 40(3), 17-25.

Herrera Rubio, J. E., & Ortiz, V. J. (2022). Implementación de un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura. Investigación e Innovación en Ingenierías, 10(1).

Jurado Morros, A. (2024). Diseño e implementación de un sistema para la monitorización de la calidad del aire en interiores (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Lazo Torres, D. A. (2022). Monitoreo de calidad del aire en la ciudadela real de minas, mediante IoT Módulo inalámbrico T-call v1. 3 esp32 Desarrollo Tecnológico.

Ruiz Barros, G. F. (2023). Diseño de sistema de monitoreo de calidad de aire en entornos industriales utilizando sensores de bajo costo con comunicación ESP-MESH. ESPOL. FIEC.

Gomez, D., & Vassallo, J. (2023). SENSORES DE MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN DE BAJO COSTO: INTEGRACIÓN AL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE. Revista AIDIS De ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y práctica, 16(3), 1030–1052.

Rodriguez Gonzalez, I. (2022). SensoCAT. Sistema de monitorización de datos de sensores de calidad del aire (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Evaluación de la calidad de aire en los salones del edificio de ingenierías de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Maradey Lazaro, J. G. (Autor), Gomez Alsina, W. D. (Autor). 21 abr. 2023

SEIDOR | Consultoría Tecnológica Colombia. (s. f.). SEIDOR | Consultoría Tecnológica Colombia. https://www.seidor.com/es-co

¿Qué es IoT? - Explicación del Internet de las cosas - AWS. (s. f.-b). Amazon Web Services, Inc. https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/

Ambient (outdoor) air pollution. (s/f). Who.int. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

El clima en Bucaramanga, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weather Spark. (s/f). Weatherspark.com. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de https://es.weatherspark.com/y/24381/Clima-promedio-en-Bucaramanga-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o

Índice de la calidad del aire (ICA) de Bucaramanga y contaminación del aire en Colombia. (s/f). Iqair.com. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de https://www.iqair.com/es/colombia/santander/bucaramanga

(S/f-a). Gov.co. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de https://www.cdmb.gov.co/index.php/informes/informes-svca/isvca-2020/1179-informe-anual-de-2020-1-revisado-23-03-2020/file

(S/f-b). Aqi.in. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de https://www.aqi.in/es/dashboard/colombia/santander/bucaramanga

Demanega, I., Mujan, I., Singer, BC, Anđelković, AS, Babich, F. y Licina, D. (2021). Evaluación del rendimiento de monitores ambientales de bajo coste y sensores individuales en condiciones térmicas y de calidad del aire interior variables. Edificación y Medio Ambiente , 187 , 107415.

González, V., Meléndez, F., Arroyo, P., Godoy, J., Díaz, F., Suárez, JI, & Lozano, J. (2023). Nariz electroóptica para monitoreo de la calidad del aire interior. Quimiosensores , 11 (10), 535.

8. Anexos:

Corresponde a las evidencias de realización y resultados de proyecto y a las herramientas desarrolladas y/o utilizadas en su ejecución.

*** Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)**
**** PA: Proyecto de Aula; PI: Proyecto Integrador; TI: Trabajo de Investigación**