

UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



INFORME:

Desarrollo de un sistema distribuido de monitoreo de las condiciones climáticas de Lima Metropolitana para mejorar la gestión ambiental

PROYECTO INTEGRADOR DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

AUTORES

Solier Soto, Rafael Oliverth

Zavala Mariño, Yulinio

ASESORES

Lozano Bravo, Miguel Angel

Egorovna de Denigri, Ludmila Volodina

Lima – Perú

2025

Índice

I. Introducción	3
II. Referencias	5

I. Introducción

El desarrollo urbano sostenible y la adaptación al cambio climático son prioridades globales reflejadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El ODS 11 promueve ciudades inclusivas, seguras y resilientes, destacando la necesidad de una planificación urbana basada en información ambiental precisa. El ODS 13 insta a adoptar medidas urgentes contra el cambio climático y sus efectos, incluyendo la mejora en la capacidad de observación climática local. Ambos objetivos subrayan la importancia de fortalecer infraestructuras y sistemas de monitoreo que permitan una gestión ambiental eficiente.

Este desarrollo urbano sostenible puede verse afectado por la variabilidad climática y fenómenos meteorológicos extremos [1], los cuales impactan en el diseño de la infraestructura al exceder la capacidad de drenaje, acelerar la degradación de materiales o generar tensiones térmicas en redes de transporte [2]. En la salud pública, el aumento de las olas de calor, variaciones bruscas de temperatura incrementa la morbilidad y mortalidad por estrés térmico, exacerba enfermedades vectoriales como el dengue y malaria y favorece brotes de patologías hídricas y respiratorias [3]. La calidad de vida urbana también se ve afectada en cuanto a la intensificación de enfermedades, proliferación de vectores, interrupción de servicios básicos por desastres naturales y la inseguridad hídrica por sequías prolongadas [4]. Y por ello conocer la situación climática resulta prioritario para optimizar la toma de decisiones y minimizar riesgos futuros [5].

Perú es un territorio con variabilidad topográfica y climática —que abarca zonas costeras, desérticas y periurbanas— que condiciona fuertemente el comportamiento de los fenómenos meteorológicos. Esta heterogeneidad geográfica implica que las condiciones climáticas pueden cambiar abruptamente en espacios reducidos, lo cual complica su caracterización general. Según el SENAMHI, esta variabilidad representa un desafío en la comprensión de los patrones climáticos y en la interpretación de datos meteorológicos a escala local [6].

Según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), la infraestructura de monitoreo actual no solo es insuficiente, sino también obsoleta para cubrir los requerimientos de diagnóstico y respuesta a escala urbana [5]. La cobertura limitada de las estaciones meteorológicas convencionales —sólo 6 estaciones para 2,819 km² [7]— impide una caracterización adecuada de las condiciones ambientales locales, especialmente en zonas con variabilidad microclimática significativa [8].

Este problema se intensifica ante la creciente exposición de la ciudad a fenómenos derivados del cambio climático, como las islas de calor urbano y eventos de precipitación extrema [5]. Además, la diversidad geográfica de Lima genera microclimas que los modelos de baja resolución espacial no representan adecuadamente [9]. Por ejemplo, se ha identificado, mediante imágenes satelitales, la presencia de al menos 15 islas de calor urbano en Lima Metropolitana, y los

estudios muestran un coeficiente de determinación (R^2) de apenas 0,3 al correlacionar la temperatura de superficie con la temperatura del aire [7], lo cual evidencia una débil capacidad explicativa del modelo y limita su utilidad para estimaciones precisas del confort térmico y planificación urbana basada en datos.

Esta situación limita las capacidades institucionales para planificar, prevenir y mitigar los impactos de los fenómenos meteorológicos adversos sobre la salud, la infraestructura y la calidad de vida urbana [10]. Por ello se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo podemos proveer datos climáticos de alta resolución, para mejorar la gestión ambiental en Lima Metropolitana?

Objetivo general:

Desarrollar un sistema distribuido de monitoreo de las condiciones climáticas de Lima Metropolitana capaz de proveer datos climáticos de alta resolución para mejorar la gestión ambiental y urbana en Lima Metropolitana.

Objetivos específicos:

1. Diseñar un sistema distribuido de monitoreo de condiciones ambientales, para proveer datos de alta resolución.
2. Desarrollar un módulo de monitoreo de condiciones ambientales para la medición y transmisión de datos.
3. Desarrollar una interfaz web para la visualización de los datos adquiridos mediante los sensores.
4. Validar el funcionamiento del sistema y calidad de transmisión de datos en un entorno urbano real.

El desarrollo del proyecto contempla como alcance principal la implementación de un prototipo funcional de monitoreo climático de las condiciones ambientales de Lima Metropolitana. Se medirán variables como temperatura, humedad, presión atmosférica y velocidad del viento. Los datos serán recolectados por sensores y enviados a través de una red inalámbrica segura hacia un servidor web. Se desarrollará una interfaz web accesible para instituciones públicas y privadas, la cual permitirá visualizar en tiempo real las mediciones. La visualización se hará mediante gráficos interactivos. El módulo de monitoreo considerará el acceso físico a las mediciones y configuración de parámetros. No obstante, el proyecto enfrenta ciertas limitaciones, como la vulnerabilidad inherente durante la transmisión inalámbrica de datos, posibles interferencias derivadas de la infraestructura urbana, la dificultad para identificar ubicaciones estratégicas idóneas para la instalación del prototipo y no contempla protecciones contra cortes de energía.

La relevancia de este desarrollo radica en que, como ha sido ampliamente documentado, sectores como la calidad de vida urbana, la salud pública y el diseño de infraestructura requieren datos climáticos precisos para una toma de decisiones informada y oportuna [1]. En contextos urbanos complejos y vulnerables como Lima, los sistemas distribuidos de monitoreo ambiental fortalecen significativamente la capacidad de alerta temprana, optimizan la asignación y el uso de recursos, y respaldan la formulación de políticas públicas basadas en evidencia [8]. Estos sistemas constituyen una solución más eficiente y efectiva en comparación con los métodos tradicionales de observación satelital [11].

II. Referencias

- [1] Y. Sepúlveda-Casadiego et al., “Importancia de las estaciones meteorológicas para la toma de decisiones en la agricultura,” *Rev. Colomb. de Tecnol. Agropec.*, vol. 21, no. 2, pp. 154–165, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/342638337>
- [2] IPCC, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-6/?utm_source=chatgpt.com
- [3] World Health Organization, “Climate change and health,” WHO Fact sheet, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- [4] WHO, “Urban green spaces and health – A review of evidence,” 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf
- [5] Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), “Nota técnica 001-2019-MINAM,” , Lima, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/nota_tecnica_001-2019.pdf
- [6] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), *Análisis regional de frecuencia para determinación de mapas de eventos de sequía en Perú*, Lima, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-102.pdf>
- [7] V. S. Soberón y E. Obregón, “Identificación de islas de calor en Lima Metropolitana utilizando imágenes Landsat 5TM,” *Anales Científicos*, vol. 77, no. 1, pp. 34–44, 2016. doi: <https://doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>

- [8] J. M. Finochietto, "Desarrollo de una red de sensores para monitoreo ambiental," tesis de grado, Univ. Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6167>
- [9] X.-M. Zeng et al., "Effects of the land-surface heterogeneities in temperature and moisture from the 'combined approach' on regional climate: a sensitivity study," *Global and Planetary Change*, vol. 37, no. 1–3, pp. 247–263, 2003. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00209-6)
- [10] J. Chira La Rosa, "Sistema de alerta temprana en zona de aluviones," ResearchGate, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/312967985>
- [11] E. Kanagaraj et al., "Cloud-based remote environmental monitoring system with distributed WSN weather stations," *IEEE Sensors*, pp. 1–4, 2015. doi: <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2015.7370449>
- [12] L. J. Suárez A., "Sistema de monitoreo meteorológico para análisis urbano en Lima Metropolitana," Tesis, Univ. San Ignacio de Loyola, Lima, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/12345>
- [13] A. L. Villarreal et al., "Big Data climate datasets: Global insights and applications," *Sci. Data*, vol. 10, art. 77, 2023. doi: 10.1038/s41597-023-02777-w