

Sistema de Monitoreo Ambiental para mejorar el bienestar en la comunidad La Salle

Ángel Iván Aboytes-Hernández¹, Nahum Solano-Castañeda¹, Diego Taracena-Ortiz¹, Víctor A. Ramos-Viterbo¹, Zizilia Zamudio-Beltrán²

¹Universidad La Salle México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.

²Universidad De La Salle México, Vicerrectoría de Investigación. Ciudad de México, México

ai.ah@lasallistas.org.mx, nahum.solano@lasallistas.org.mx,
d.to@lasallistas.org.mx, victor-ramos@lasallistas.org.mx,
zizilia.zamudio@lasalle.mx

Resumen. En respuesta al aumento de la temperatura global y sus efectos en la comunidad La Salle, se propone el diseño e implementación de un Sistema de Monitoreo Ambiental. Este sistema tiene como objetivo mejorar el bienestar de la comunidad al proporcionar alertas precisas sobre condiciones ambientales desfavorables para actividades al aire libre. A través de la detección temprana de altas temperaturas y otros factores ambientales adversos, se busca prevenir riesgos para la salud y promover un estilo de vida más seguro y saludable. Este trabajo de investigación aborda la importancia de la seguridad ambiental en la comunidad y la aplicación práctica de soluciones tecnológicas para garantizar su bienestar.

Palabras Clave: Monitoreo Ambiental, bienestar comunitario, calentamiento global.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

El cambio climático ha desencadenado un aumento gradual de la temperatura en la Ciudad de México, superando los niveles promedio históricos y generando una serie de consecuencias para las cuales la infraestructura urbana no está adecuadamente preparada (Magaña et al., 2012). Este fenómeno, que se manifiesta en temperaturas extremas y prolongadas, conlleva desde fallos en el sistema eléctrico hasta desafíos físicos y emocionales para los habitantes de la ciudad (CONAGUA, 2020). Es necesario centrarse especialmente en esta última consecuencia, pues constituye una amenaza subestimada pero significativa para el bienestar y la productividad de la población. Como lo afirmó el doctor Víctor Rodríguez en una transmisión en vivo, "el agotamiento por calor puede generar alteraciones emocionales como ira, cansancio, bajo rendimiento y mal humor" (Rodríguez, 2021). Estas repercusiones psicológicas y emocionales pueden manifestarse tanto en el ámbito personal como laboral, afectando la calidad de vida y el desempeño de las personas en sus actividades diarias (Obregón et al., 2015). Este efecto ha sido respaldado por estudios empíricos, como uno que observó a 44 estudiantes de entre 18 y 22 años, donde se encontró que aquellos sin acceso al aire acondicionado tenían tiempos de respuesta más lentos en pruebas cognitivas, en comparación con aquellos que sí lo tenían (Sveen et al., 2013). Si bien este estudio proporciona una visión clara del impacto del calor en el rendimiento cognitivo, es esencial considerar que la problemática afecta no solo a estudiantes, sino también a trabajadores de oficina en la zona universitaria y en áreas urbanas densamente pobladas (Hsiang et al., 2017). Investigaciones adicionales indican que el rendimiento óptimo se alcanza a una temperatura ambiente de alrededor de

21 grados Celsius. Sin embargo, conforme la temperatura se eleva por encima de los 24 grados, el rendimiento cognitivo y físico comienza a disminuir de manera significativa (Seppänen et al., 2006). Esta disminución en el rendimiento puede traducirse en una disminución de la productividad laboral, lo que a su vez puede tener repercusiones económicas y sociales a nivel individual y comunitario (Kjellstrom et al., 2009). El aumento de la temperatura debido al cambio climático plantea una serie de desafíos para la salud mental y el rendimiento humano en entornos urbanos como la Ciudad de México.

Si bien ya se ha hablado de las implicaciones que tiene el calor en ambientes cerrados y como este puede reducir el rendimiento cognitivo, también se debe hablar sobre las actividades al aire libre y como el calor nos afecta. En un estudio que investigaba como el estrés por calor generado por el ejercicio y el calor ambiental, afectan al rendimiento físico y cognitivo, en dicho estudio se comprobó mediante el uso de una prueba de estrés por calor que la exposición al calor puede afectar a la atención y provoca que se tengan tiempos de reacción mayores (Radakovic et al., 2007). Por otro lado existen consecuencias más evidentes cuando se trabaja o se hacen actividades recreativas al aire libre en un ambiente soleado y con altas temperaturas, estas consecuencias son las quemaduras que si bien son molestas por el ardor que provocan lo más peligroso radica en la exposición de los rayos UV y en la concentración de ozono que hay ya que una exposición prolongada a los rayos UV puede ocasionar cáncer de piel además de reducir los efectos que tienen los antibióticos y diversos medicamentos que afectan al sistema cardiovascular (Coello, 2023). Es crucial abordar esta problemática de manera integral, considerando tanto las implicaciones físicas como emocionales del calor extremo, y desarrollar estrategias efectivas para mitigar sus efectos negativos en la calidad de vida y el bienestar de la población (WHO, 2018).

Para abordar esta problemática de manera efectiva, se está trabajando en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y alerta destinado a la comunidad La Salle. Este sistema será capaz de notificar cuando las condiciones ambientales no sean favorables para la realización de actividades al aire libre. El objetivo es proteger la salud y el bienestar de los estudiantes, profesores y personal, proporcionando información en tiempo real sobre las condiciones climáticas y ambientales.

Este proyecto contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) al mejorar la salud y el bienestar (ODS 3) mediante alertas sobre condiciones ambientales adversas que previenen problemas de salud relacionados con el clima extremo. Además, fomenta la innovación tecnológica y el desarrollo de infraestructuras resilientes (ODS 9) a través de un sistema de monitoreo robusto. También contribuye a crear ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) al alertar sobre condiciones adversas, facilitando la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático. Finalmente, refuerza la acción por el clima (ODS 13) al promover la sensibilización y adopción de comportamientos sostenibles en la comunidad.

2 Objetivo

Promover la seguridad y el bienestar de los miembros de la comunidad La Salle mediante el diseño e implementación de un sistema de monitoreo ambiental y alerta, que priorice notificaciones oportunas sobre condiciones ambientales adversas en entornos al aire libre.

3 Propuesta teórico-metodológica y de Solución

Inicialmente se realiza la identificación y definición de las variables esenciales: temperatura, humedad, rayos UV y velocidad del viento. A continuación, se procede con la selección de los sensores adecuados. Para la medición de temperatura y humedad, se seleccionó el sensor DHT11. Si bien otros sensores como el DHT22 y BME280 poseen una mejor precisión, especialmente el BME280, su rango de temperatura y de humedad supera las necesidades de nuestro proyecto, esto hace que su precio se incremente. Dado que se conocen las condiciones ambientales usuales en esta zona de la Ciudad de México el DHT11 cubre el rango de temperatura y humedad, lo que lo vuelve la opción más adecuada en términos de costo-beneficio. Para seleccionar el sensor UV, tomamos en cuenta lo compacto del sensor y la capacidad para comunicar datos de manera eficiente, junto a esto, fue escogido por la fácil decodificación que tiene este al transmitir los datos recopilados, ya que cuenta con un sistema de medición por escalas de voltaje, las cuales representan los diversos niveles de UV que va de 1 a 11. También se incluye un anemómetro para medir la velocidad del viento.

El siguiente paso es el diseño de los circuitos electrónicos (ver Figura 1) y las tarjetas específicas para el sistema. Este proceso implica la creación de esquemas de circuitos detallados y el diseño de las placas de circuito impreso (PCB) como se muestra en la Figura 2. Se asegura que todos los componentes estén correctamente conectados y que el sistema pueda funcionar de manera coherente y estable. Esto incluye la integración de los sensores seleccionados con controladores adecuados para procesar y transmitir los datos recogidos.

Además, se diseñó en 3D una caja contenedora que alberga todo el sistema electrónico (Figura 3). Este diseño considera la protección contra elementos ambientales adversos, como puede ser la lluvia, el polvo y las temperaturas extremas, garantizando la durabilidad y fiabilidad del sistema. El diseño también se realiza pensando en la facilidad de montaje y mantenimiento.

Seguidamente, se llevan a cabo pruebas experimentales para validar el correcto funcionamiento del sistema. Estas pruebas incluyen la verificación de la comunicación entre los sensores y los controladores, la precisión de las mediciones y la eficacia en la generación de alertas. Se realizan ajustes y calibraciones necesarias para asegurar que los datos recogidos sean precisos y confiables.

Entre los componentes utilizados se destacan:

Panel solar: Proporciona energía sostenible para el funcionamiento del sistema.

Batería: Almacena la energía generada por el panel solar, asegurando un suministro constante incluso durante la noche o en condiciones de baja radiación solar. La batería utilizada es de 12Vcc 7Ah y es una batería de plomo-ácido.

Microcontroladores PIC y ESP32-C3-SUPERMINI: Gestionan la recopilación, procesamiento y transmisión de los datos de los sensores. Uno de estos PIC fue el 18F2550, por su protocolo USB y el tamaño compacto en comparación a la familia 40. El otro PIC fue el 18F26k22, por su variedad de puertos seriales.

Sensores de temperatura y humedad DHT11: Miden las condiciones ambientales esenciales.

Sensor UV: Monitorea la intensidad de los rayos ultravioleta.

Anemómetro: Mide la velocidad del viento.

Finalmente, cada circuito se instalará en un lugar específico de la facultad de ingeniería, donde el circuito que tenga los sensores será instalado en el tejado de la facultad y el circuito receptor estará instalado en el lobby de la facultad.

Cada circuito está recubierto por su propio gabinete, donde en el caso del circuito que está colocado en el tejado, los sensores quedarán expuestos, con el fin de obtener la medición de los sensores; y el circuito que está en el lobby, su gabinete solamente nos dejara ver la pantalla en la cual los datos se estarán recopilando.

Una vez instalados los circuitos, entonces se realizarán las pruebas pertinentes para la recolección de datos, junto a esto proponer ajustes y las optimizaciones necesarias, con el fin de asegurar la fiabilidad y efectividad del sistema.

El sistema se integra con una plataforma de alerta que notifica a los usuarios sobre condiciones climáticas adversas, dichas condiciones se cumplen cuando la temperatura excede los 38°C o con una temperatura de 32°C y una humedad elevada, o si las velocidades del viento superan los 50Km/h y por otro lado las alertas de los rayos UV ya que entre 3 y 7 hay peligro moderado, pero arriba de 7 sería peligro alto. Las alarmas se despliegan en la pantalla que se integra al sistema de monitoreo como se observa en la Figura 4 y en la aplicación móvil, la cual se comunica mediante bluetooth.

Este enfoque integral asegura que el sistema no solo mejora la seguridad ante condiciones adversas, sino que también contribuye al entendimiento y mitigación de los efectos del cambio climático en la vida diaria.

4 Discusión de resultados

El diseño del sistema resultó tener un gran comportamiento, pudiendo desplegar los datos adquiridos tanto en una aplicación móvil a la que llegaran las notificaciones en caso de sobrepasar los límites seguros de salud, al igual que en la pantalla que se encontraba en la estación. A lo largo del proceso metodológico, se integraron diversas tecnologías y componentes electrónicos, además de realizar pruebas exhaustivas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

El uso de sensores precisos para medir temperatura, humedad, rayos UV y velocidad del viento, junto con la integración de paneles solares y baterías recargables, destaca la sostenibilidad del proyecto. Los microcontroladores PIC y ESP32-C3-SUPERMINI demostraron ser efectivos en la gestión y transmisión de datos, asegurando la fiabilidad del sistema. Las pruebas de comunicación y precisión de los sensores confirmaron la validez y utilidad de las mediciones obtenidas, permitiendo generar alertas oportunas que contribuyeron significativamente a la seguridad de la comunidad.

Este proyecto permitirá mejorar el proceso para correlacionar las condiciones climáticas con el comportamiento humano, evidenciando cómo las temperaturas extremas afectan el desempeño, humor y atención de los individuos.

El proyecto ha contribuido al ODS 3 al prevenir problemas de salud mediante alertas oportunas, al ODS 9 al fomentar la innovación tecnológica y el desarrollo de infraestructuras resilientes con el sistema de monitoreo, al ODS 11 al proporcionar información crucial para la toma de decisiones y promover un entorno urbano más seguro y sostenible, y al ODS 13 al proporcionar datos valiosos y sensibilizar a la comunidad sobre los impactos del cambio climático, promoviendo comportamientos sostenibles y estrategias de adaptación.

5 Conclusiones y perspectivas futuras

En el presente trabajo se ha logrado diseñar un sistema efectivo para alertar a la comunidad universitaria sobre condiciones ambientales desfavorables para actividades al aire libre. La implementación de este sistema proporciona una herramienta valiosa para promover la seguridad y el bienestar de los miembros de la comunidad universitaria, al prevenir la exposición a condiciones climáticas extremas que puedan representar riesgos para la salud. Además, esta iniciativa representa un paso significativo hacia la adaptación de las instituciones educativas a los desafíos del cambio climático, destacando la importancia de la planificación y la tecnología en la promoción de entornos seguros y saludables para el aprendizaje y la actividad física al aire libre.

Dado que se trata de un sistema de creación propia, se contempla su expansión en el futuro mediante la integración de más sensores y la posibilidad de almacenar los datos no solo localmente, sino también en una base de datos centralizada. Esta mejora permitirá emplear algoritmos de ciencia de datos para realizar predicciones, lo que facilitaría la planificación de actividades al aire libre evitando las horas de mayor calor, otra mejora se encuentra en el sistema de alertas ya que si se conecta a la red de Wifi se puede alertar a más personas e incluso interactuar con sistemas de correo para notificar vía e-mail. Los microcontroladores también es un área de mejora, mientras utilizamos 4 para poder facilitar un poco el proceso de programación al hacer pruebas y evitar que un error haga fallar a todo el sistema, es posible que a futuro se pueda bajar a solo utilizar un PIC y el ESP32. Además, en caso de que en el futuro se implemente un sistema de ventilación en la universidad, este podría ajustarse según los datos recopilados por el sistema. Es importante destacar que estas mejoras constituyen una actualización, ya que primero se deben recopilar miles de muestras y garantizar su fiabilidad antes de su implementación.

6 Agradecimientos

Queremos agradecer a la Facultad de Ingeniería, a los profesores Víctor A. Ramos Viterbo, Zizilia Zamudio Beltrán y Alejandro Lara Villareal por su apoyo para realizar este trabajo.

7 Referencias

1. Laurent, J. G. C., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2018). Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. *PLoS Medicine*, 15(7), e1002605. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605> Libro en línea: Apellido, N. y Apellido, N. (año).
2. Seppänen, O., Fisk, W. J., Lei-Gomez, Q., & Lei, Q. (2006). Effect of temperature on task performance in office environment. In 5th International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air Conditioning (pp. 625-55). Indoor Environment Group, Sustainable Energy Department, Energy Analysis and Environmental Impacts Division.
3. CONAGUA. (2020). Impacto del cambio climático en México. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/>
4. Hsiang, S. M., Burke, M., & Miguel, E. (2017). Quantifying the influence of climate on human conflict. *Science*, 341(6151), 1235367. <https://doi.org/10.1126/science.1235367>
5. Kjellstrom, T., Kovats, R. S., Lloyd, S. J., Holt, T., & Tol, R. S. J. (2009). The direct impact of climate change on regional labor productivity. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 64(4), 217-227. <https://doi.org/10.1080/19338240903295388>

6. Magaña, V., Amador, J. A., & Medina, S. (2012). The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 12(6), 1577-1588. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1577>2.O.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1577>2.O.CO;2)
7. Obregón, A., Serrano, R., & Bravo, M. (2015). Efectos del calor extremo en la salud mental. *Salud Pública de México*, 57(3), 192-198. <https://doi.org/10.21149/spm.v57i3.7521>
8. Rodríguez, V. (2021). Efectos del agotamiento por calor en la salud mental. Transmisión en vivo, 15 de marzo de 2021.
9. Seppänen, O., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2006). Room temperature and productivity in office work. *Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air 2002*, 1, 687-692. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.11.001>
10. Sveen, J., Andersson, J., & Nilsson, L. (2013). Impact of heat on cognitive performance of university students. *Journal of Environmental Psychology*, 35, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.05.002>
11. WHO. (2018). Climate change and health. World Health Organization. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
12. Radakovic, S. S., Maric, J., Surbatovic, M., Radjen, S., Stefanova, E., Stankovic, N., & Filipovic, N. (2007). Effects of Acclimation on Cognitive Performance in Soldiers during Exertional Heat Stress. *Military Medicine*, 172(2), 133-136. <https://doi.org/10.7205/milmed.172.2.133>
13. ISO 9886:2004. Ergonomics. Evaluation of thermal strain by physiological measurements. International Organisation for Standardisation Organisation, Geneva, 2004.
14. Coello, M. A. (2023, July 10). *Trabajar expuesto al sol: recomendaciones para trabajar al aire libre*. Uvex Xpertblog. <https://www.uvex-safety.com/blog/es/trabajando-en-el-sol-2/>

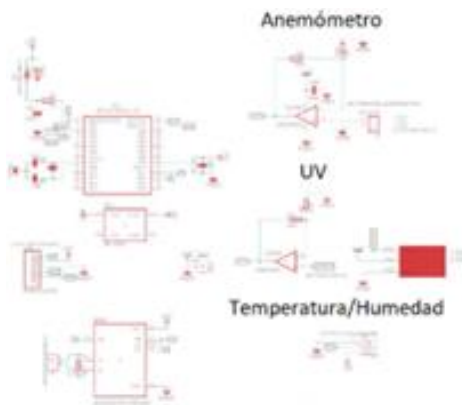


Figura 1. Diagrama Esquemático

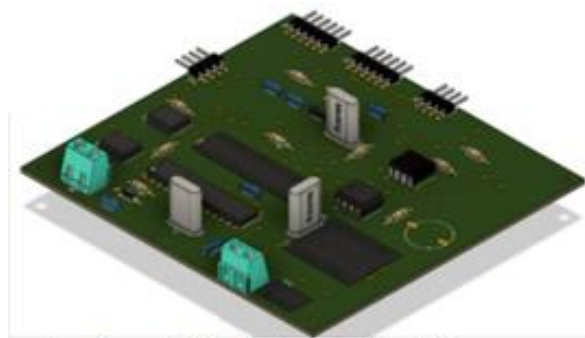


Figura 2. Diseño de Placa Electrónica



Figura 3. Tarjeta montada en carcasa 3D



Figura 4. Sistema de monitoreo integrado