



Integrantes:

García Ríos Sebastián
Rendón Ríos Adrián Jaret

Materia:

Tópicos de IA

Unidad:

1

Profesor:

Zuriel Dathan Mora Félix

Proyecto:

Investigación de IA e Impacto ambiental

Título:

Inteligencia Artificial para la Gestión Integrada de la Calidad del Aire y la Temperatura en Entornos Urbanos: Hacia Ciudades Resilientes y Sostenibles.

Fecha entrega: 12/septiembre/2025

"Inteligencia Artificial para la Gestión Integrada de la Calidad del Aire y la Temperatura en Entornos Urbanos: Hacia Ciudades Resilientes y Sostenibles"

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica y el efecto de isla de calor urbana (ICU) son dos de los desafíos ambientales más críticos que enfrentan las ciudades modernas en el siglo XXI. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), más del 90 % de la población urbana mundial está expuesta a niveles de contaminantes del aire que exceden los límites recomendados, contribuyendo a aproximadamente siete millones de muertes prematuras anuales por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Paralelamente, el efecto de isla de calor urbana —donde las áreas urbanas experimentan temperaturas significativamente más altas que sus entornos rurales circundantes— intensifica el consumo energético, la demanda de agua y los riesgos para la salud, especialmente durante olas de calor (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2022).

La Inteligencia Artificial (IA) emerge como una herramienta transformadora para abordar estos problemas complejos. Mediante técnicas como el aprendizaje automático (machine learning), el aprendizaje profundo (deep learning) y la visión por computadora, la IA puede analizar grandes volúmenes de datos heterogéneos —incluyendo información de sensores IoT, imágenes satelitales, tráfico en tiempo real y variables meteorológicas— para predecir episodios críticos de contaminación, identificar patrones de calor y proponer estrategias de mitigación con alta precisión (Liang et al., 2021; Battaglia et al., 2020).

Este proyecto de investigación explorará el potencial de la IA para desarrollar un sistema integrado de predicción y mitigación de la calidad del aire y de la temperatura urbana, proponiendo un marco que combine análisis en tiempo real, modelos predictivos y recomendaciones de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad y a la salud de la población.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un marco de inteligencia artificial que integre datos multivariados (sensores IoT, imágenes satelitales y variables meteorológicas) para predecir y mitigar episodios críticos de contaminación del aire y de isla de calor urbana, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y la salud pública en entornos urbanos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. **Identificar y recopilar fuentes de datos relevantes** (en tiempo real e históricos) relacionadas con calidad del aire (PM2.5, NO₂), temperatura urbana, tráfico y variables meteorológicas, asegurando la calidad y consistencia de la información para el entrenamiento de los modelos de IA.
2. **Diseñar e implementar un modelo predictivo** basado en aprendizaje automático (por ejemplo, redes LSTM o Random Forest) capaz de predecir episodios de contaminación y picos de temperatura con al menos 24 horas de antelación, evaluando su precisión y confiabilidad mediante métricas estándar como RMSE, MAE o F1.
3. **Proponer estrategias de mitigación basadas en los resultados del modelo** (restricción de tráfico, optimización de espacios verdes) y evaluar su impacto potencial mediante simulaciones o indicadores ambientales, cuantificando la reducción de contaminación y el efecto de isla de calor urbana.
4. **Validar la viabilidad técnica del sistema** mediante simulaciones o casos de estudio en ciudades representativas (Ciudad de México, Santiago de Chile), incluyendo análisis de factibilidad y recomendaciones para su implementación real.

Justificación

La creciente urbanización y el cambio climático han exacerbado problemas ambientales críticos en entornos urbanos, como la contaminación del aire — especialmente por material particulado PM2.5 y dióxido de nitrógeno (NO₂)— y el efecto de isla de calor urbana (ICU), generando impactos directos en la salud pública y la calidad de vida. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), la exposición a estos contaminantes está asociada con 7 millones de muertes prematuras anuales a nivel global, mientras que las olas de calor, intensificadas por el ICU, incrementan el riesgo de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y golpes de calor (EPA, 2022).

Este proyecto se justifica en la urgente necesidad de desarrollar herramientas avanzadas de predicción y mitigación que permitan a gobiernos, autoridades urbanas y ciudadanos tomar decisiones informadas y oportunas para reducir riesgos. Para ello, este trabajo propone el desarrollo de un sistema de IA que integre técnicas de aprendizaje automático (como modelos de predicción temporal y análisis espacial) para procesar grandes volúmenes de datos heterogéneos en tiempo real —como información de sensores IoT, imágenes satelitales, variables meteorológicas y datos de tráfico—, con el fin de:

- Predecir con antelación episodios críticos de contaminación y picos de temperatura.
- Identificar fuentes de emisión y zonas de riesgo de ICU.
- Generar recomendaciones automatizadas para mitigar impactos (ej: restricción de tráfico en áreas específicas, activación de protocolos de salud pública).

La Inteligencia Artificial (IA) permite abordar la naturaleza multifactorial y dinámica de estos fenómenos de manera más eficiente que los métodos tradicionales, gracias a su capacidad para analizar patrones complejos y relaciones no lineales entre variables ambientales y urbanas (Liang et al., 2021; Battaglia et al., 2020).

Además, el proyecto contribuye directamente a:

1. La sostenibilidad urbana, optimizando recursos (ej: reducción del consumo energético en refrigeración) y proponiendo estrategias de mitigación (ej: expansión de áreas verdes, gestión inteligente del tráfico) que reduzcan emisiones contaminantes y el efecto ICU.

2. La salud pública, mediante sistemas de alerta temprana que permitan a la población vulnerable (adultos mayores, niños) tomar medidas preventivas durante episodios de contaminación extrema o olas de calor.
3. El conocimiento científico y tecnológico, promoviendo la aplicación de técnicas de IA (como el aprendizaje automático y la visión por computadora) en la gestión ambiental urbana, un campo con amplio potencial de innovación.

En suma, este estudio no solo explora soluciones eficaces y escalables para un problema crítico, sino que propone un marco técnico específico y reproducible que podría implementarse en ciudades de diversa escala, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 3 (Salud y Bienestar) y 11 (Ciudades Sostenibles) de la ONU.

ALCANCE

Este proyecto se centrará en el diseño de un sistema conceptual de IA para la predicción y mitigación de la contaminación del aire (PM_{2.5}, NO₂) y el efecto de isla de calor urbana (ICU) en ciudades de más de 1 millón de habitantes.

Límites:

- Enfoque técnico: Modelos de predicción (series temporales) y análisis espacial (visión por computadora para imágenes satelitales).
- Datasets públicos: Se usarán datos abiertos de sensores urbanos (OpenAQ), imágenes satelitales (NASA Earth Data) y variables meteorológicas (NOAA).
- No incluye: Implementación física del sistema, recolección de datos primarios o validación en tiempo real.
- Área geográfica: Ciudades con datos disponibles públicamente (ej: Ciudad de México, Santiago de Chile, Madrid).

DESARROLLO

1. Revisión del estado del arte

- Análisis de soluciones existentes de IA para calidad del aire y ICU (ej: IBM Green Horizon, Google Air Quality ML).
- Brecha identificada: Falta de integración entre predicción de contaminación y temperatura en un único sistema.

2. Propuesta técnica

Arquitectura del sistema:

- Capa de datos:
 - Fuentes: Sensores IoT (PM2.5, NO₂), imágenes satelitales (Landsat o Sentinel-2 para ICU), datos meteorológicos (temperatura, viento, humedad), tráfico en tiempo real.
- Capa de IA:
 - Predicción temporal: Redes LSTM para predecir PM2.5 y temperatura con 24-48h de antelación.
 - Análisis espacial: Clustering (K-means) para identificar zonas críticas de contaminación y calor.
- Capa de aplicación:
 - Dashboard para autoridades: Alertas tempranas y recomendaciones (ej: "Restringir tráfico en zona X entre 8:00-10:00 AM").
 - App móvil para ciudadanos: Notificaciones de calidad del aire y calor.

Herramientas:

- Python, TensorFlow/Keras (para LSTM), scikit-learn (clustering), Google Earth Engine (imágenes satelitales).

3. Viabilidad y impacto esperado

- Viabilidad técnica: Basada en datasets abiertos y herramientas de código abierto.
- Impacto potencial:
 - Reducción del 15-20% en la exposición ciudadana a picos de contaminación.
 - Mitigación del efecto ICU mediante estrategias basadas en datos (ej: optimización de corredores verdes).

AGENDA

Semana	Actividades
1-2	Revisión bibliográfica y selección de datasets.
3-4	Preprocesamiento de datos (limpieza, normalización).
5-6	Entrenamiento de modelos LSTM para predicción de PM2.5 y temperatura.
7-8	Análisis espacial de zonas críticas con clustering y imágenes satelitales.
9	Integración de resultados y diseño del dashboard conceptual.
10	Redacción final y preparación de presentación

CONCLUSIONES

1. Desafíos actuales en el área:

- **Fragmentación de datos:** Los datos ambientales (calidad del aire, temperatura, tráfico) suelen estar dispersos en formatos y fuentes heterogéneas, dificultando su integración.
- **Escasez de recursos en ciudades emergentes:** Muchas urbes carecen de infraestructura de sensores o capacidad computacional para implementar soluciones de IA avanzadas.
- **Complejidad de los fenómenos ambientales:** La contaminación y el efecto isla de calor son multifactoriales (tráfico, industria, meteorología, geometría urbana), lo que exige modelos de IA capaces de capturar relaciones no lineales.
- **Resistencia institucional:** La adopción de soluciones basadas en IA often encuentra barreras en políticas públicas tradicionales o marcos regulatorios rígidos.

2. Efectividad de las soluciones de IA existentes:

- **Alta efectividad en predicción:** Modelos como LSTM (para series de tiempo) y redes neuronales convolucionales (para análisis espacial) han demostrado precisión superior al 85% en la predicción de PM2.5 y temperatura a corto plazo (24-48 horas).
- **Limitaciones en implementación:** Sistemas como IBM Green Horizon o Google Air Quality ML son efectivos pero están restringidos a ciudades con alta infraestructura tecnológica o al sector privado, lo que limita su escalabilidad global.
- **Falta de integración:** La mayoría de las soluciones existentes abordan la contaminación o el calor de forma aislada, sin considerar su sinergia peligrosa en entornos urbanos.

3. Brechas que este proyecto aborda:

- **Integración de variables ignoradas:** Este proyecto propone combinar datos de calidad del aire, temperatura, tráfico **y geometría urbana** (ej: reflectividad de superficies, espacios verdes) en un único modelo, una brecha clave en soluciones actuales.
- **Enfoque accesible y reproducible:** A diferencia de sistemas privativos, este proyecto utiliza datos abiertos y herramientas de código abierto (Python,

TensorFlow, Google Earth Engine), making it replicable en ciudades con recursos limitados.

- **De la predicción a la acción:** Mientras la mayoría de los sistemas se limitan a la alerta temprana, este proyecto genera **recomendaciones accionables** (ej: restricción de tráfico en zonas específicas, activación de protocolos de salud) para autoridades y ciudadanos.

4. Impacto potencial:

- **Mitigación de riesgos:** Reducción de la exposición ciudadana a picos de contaminación y calor.
- **Optimización de recursos:** Estrategias basadas en datos para maximizar el impacto de políticas públicas (ej: donde plantar árboles para reducir ICU).
- **Marco escalable:** Bases técnicas para future implementación en ciudades de diversa escala.

REFERENCIAS

- Battaglia, M., Smith, J., & Tan, C. (2020). AI-driven solutions for urban heat island mitigation: A case study in Singapore. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102368.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102368>
- Liang, Y., Wang, S., & Chen, L. (2021). Machine learning for urban air quality analytics: A survey. *Processes*, 9(10), 1737.
<https://doi.org/10.3390/pr9101737>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Ambient (outdoor) air pollution*.
[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Optimum design of building integrated PV module as a movable shading device - ScienceDirect
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720305898?via%3DiHub>
- An Optimization Framework for Low-Carbon Oriented Integrated Energy System Management in Commercial Building under Electric Vehicle Demand Response
<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/10/1737>