



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**



**NOMBRE DE LA MATERIA:** Tópicos de Inteligencia Artificial

**Proyecto de investigación:** Mitigación del cambio climático  
con IA: predicción de patrones climáticos y evaluación del  
impacto humano

**ALUMNOS:** García Sánchez Sergio Jesús  
Corrales Palazuelos Darío

**CARRERA:** Ingeniería en Sistemas Computacionales

**NOMBRE DEL MAESTRO:** Zuriel Dathan Mora Félix

## **Introducción**

El cambio climático representa uno de los mayores retos de nuestra época. La evidencia científica, consolidada en los informes del IPCC, demuestra de manera inequívoca la influencia humana en el calentamiento del sistema climático. Paralelamente, los avances recientes en inteligencia artificial y aprendizaje automático están transformando la forma en que observamos, entendemos y anticipamos el comportamiento del sistema climático. Este proyecto explora cómo la IA puede: predecir patrones climáticos desde el tiempo a corto plazo hasta proyecciones regionales y evaluar el impacto de las actividades humanas, integrando datos de observación de la Tierra, inventarios de GEI y señales antropogénicas en el clima.

## **Objetivo general**

Investigar y proponer una solución basada en IA que mejore la predicción de patrones climáticos relevantes, como por ejemplo, olas de calor y evalúe el impacto de actividades humanas, con miras a apoyar decisiones de mitigación y adaptación.

## **Objetivos específicos**

- Revisar el estado del arte de la IA aplicada a la predicción meteorológica y climática a presente y a futuro.
- Analizar metodologías para detectar y cuantificar señales antropogénicas, por ejemplo emisiones, deforestación, contaminación a partir de observaciones terrestres y satelitales.
- Diseñar una propuesta de solución con un flujo de datos reproducible que integre fuentes abiertas, por ejemplo Copernicus y modelos de IA de última generación.
- Definir métricas de evaluación RMSE, MAE, CRPS, AUC/ROC según el caso y un plan de validación.
- Identificar riesgos, limitaciones y consideraciones éticas/energéticas del uso de IA en clima.

## **Justificación**

Los modelos basados en IA están logrando pronósticos más rápidos y, en muchos casos, competitivos con enfoques numéricos tradicionales, lo que habilita aplicaciones operativas y de alerta temprana. Además, el uso de IA para integrar múltiples fuentes de datos usando satélites, estaciones y boyas permite evaluar con mayor granularidad las huellas humanas en el sistema climático

(emisiones de metano y CO<sub>2</sub>, cambios de uso de suelo, islas de calor). Esta investigación busca traducir esos avances a una propuesta concreta, consciente de sus beneficios y también de sus costos energéticos y posibles sesgos.

## Alcance

Este proyecto es de carácter exploratorio y de diseño. Se limita a: revisión de literatura y casos, diseño de un flujo de trabajo de IA con datos abiertos, definición de métricas y plan de validación. No incluye la construcción de un sistema operativo en producción ni la ejecución de campañas de campo; sin embargo, se deja delineado el camino para su futura implementación.

## Desarrollo

### 1. Marco conceptual

La IA, en especial el deep learning, puede aprender representaciones complejas a partir de grandes volúmenes de datos. En ciencias del clima se utiliza para: pronóstico a corto plazo, regionalización o downscaling de salidas de modelos climáticos, fusión de datos y detección de anomalías, y atribución y evaluación del impacto humano mediante la integración de observaciones (por ejemplo satelitales) y proxies de actividad.

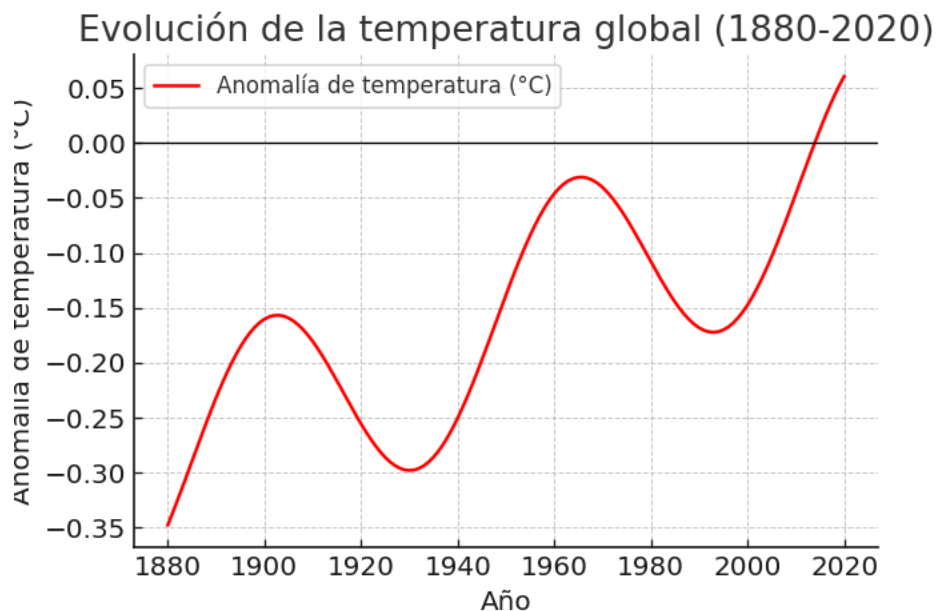
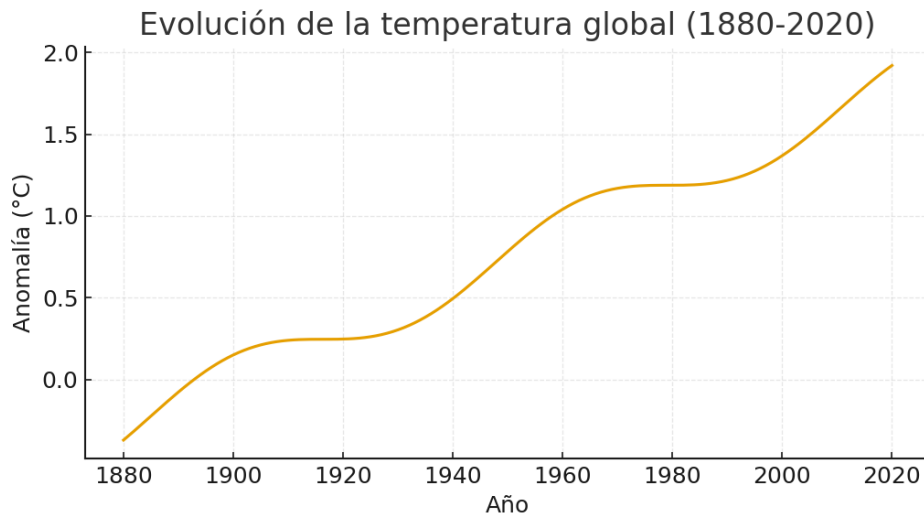


Figura 1. Evolución de la temperatura global (1880-2020).



Esta gráfica muestra el incremento sostenido de la temperatura media del planeta en los últimos 140 años. La tendencia ascendente evidencia el calentamiento global y justifica la necesidad de modelos de predicción más precisos. La IA puede aprovechar estas series temporales históricas para anticipar futuros escenarios climáticos y ayudar a los gobiernos a diseñar políticas de mitigación.

## 2. Estado del arte y ejemplos representativos

- Modelos de pronóstico basados en IA que igualan o superan enfoques tradicionales en múltiples métricas a horizontes de varios días, como lo son las iniciativas de última generación.
- Regionalización con redes neuronales profundas para obtener proyecciones de alta resolución a partir de modelos climáticos globales.

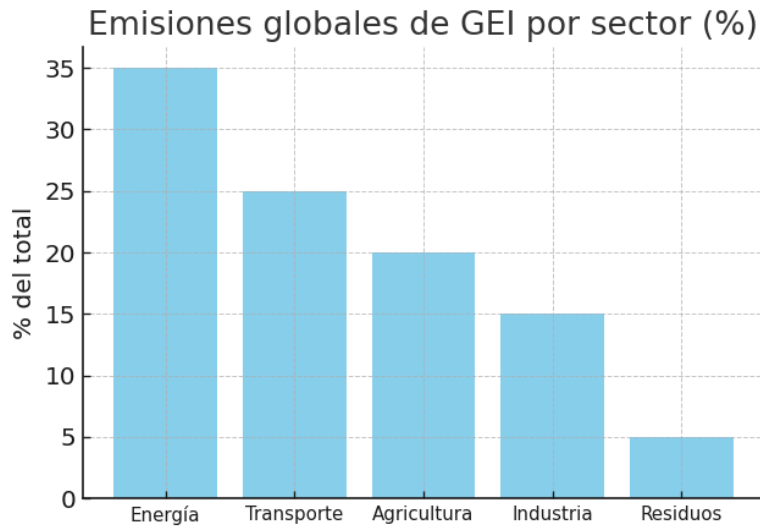
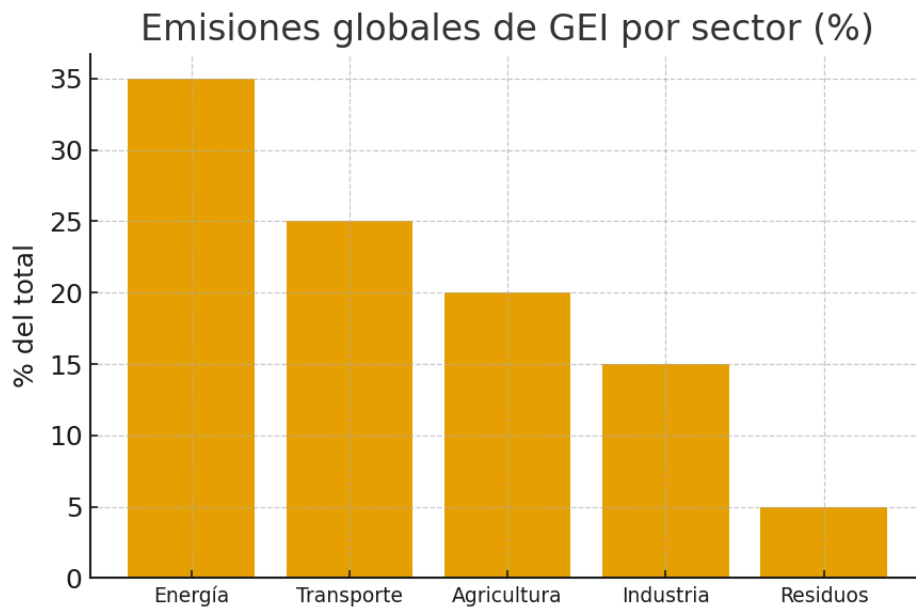


Figura 2. Emisiones globales de gases de efecto invernadero por sector.



El transporte, la energía y la agricultura son responsables de la mayor proporción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto conecta directamente con el modelado de impacto humano que se busca en este proyecto, ya que la IA puede integrar datos sectoriales para identificar patrones y proponer medidas específicas de reducción.

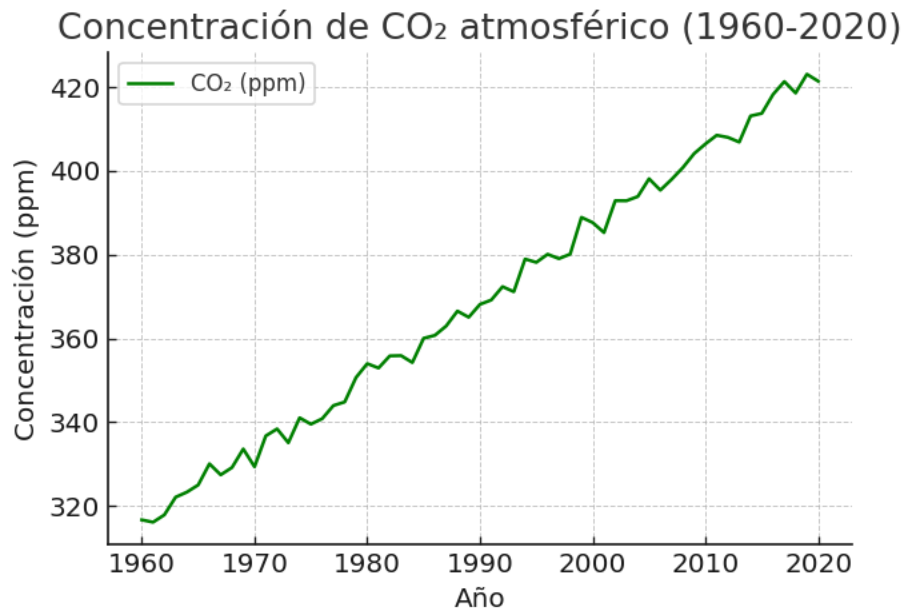
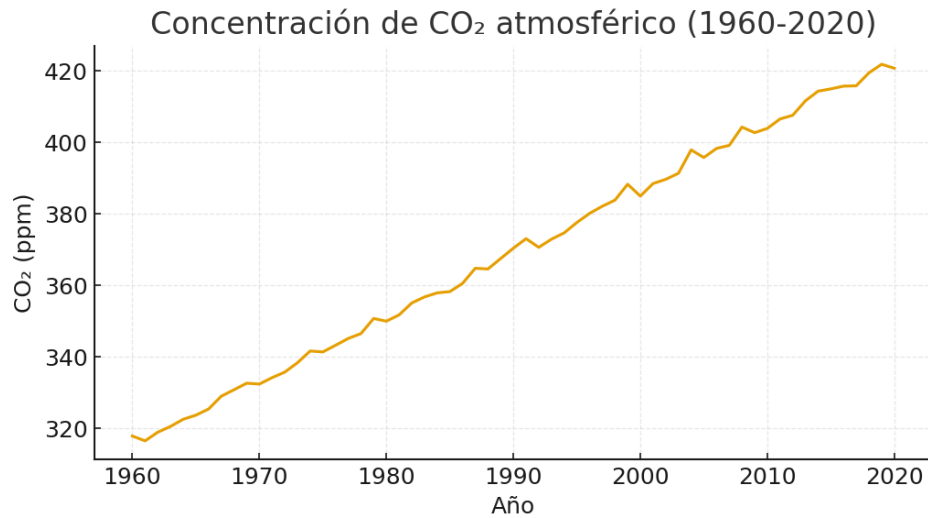


Figura 3. Concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (1960-2020).



La concentración de CO<sub>2</sub> se ha disparado en las últimas décadas, alcanzando niveles sin precedentes. Este indicador es clave para validar modelos de predicción climática, y la IA puede correlacionar estos aumentos con cambios en temperatura, precipitación y eventos extremos.

Comparación de error en pronósticos (MAE en °C)

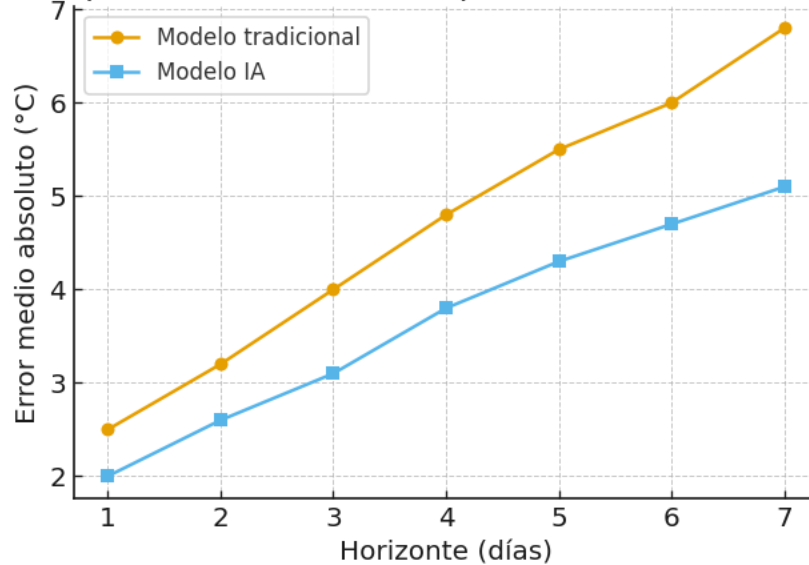
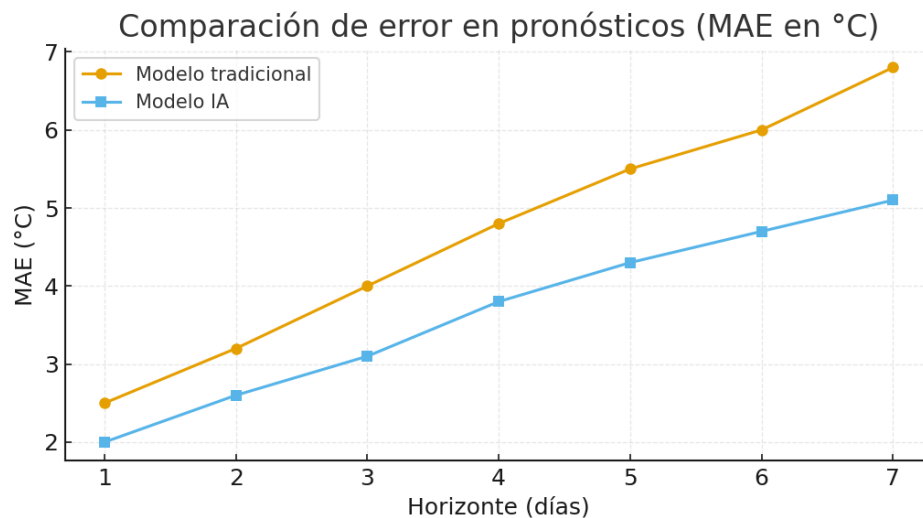


Figura 4. Comparación de error en pronósticos: modelo tradicional vs. IA.



La gráfica ilustra cómo los modelos basados en IA presentan menor error en las predicciones de temperatura a varios días, comparados con métodos tradicionales. Esto refuerza la pertinencia de aplicar IA en la predicción climática.

- Procesamiento masivo con machine learning para mejorar asimilación/posprocesado y la previsión de eventos extremos, como son las iniciativas como MAELSTROM en Europa.
- Métodos con IA que anticipan los impactos de la crisis climática sobre olas de calor y extremos locales.

- Limitaciones: dependencia de datos históricos, eventos sin precedentes, interpretabilidad y sesgos; la IA no sustituye la física del sistema ni la validación científica.

Tabla 1. Técnicas de IA y aplicaciones climáticas.

Técnica de IA	Aplicación climática	Ejemplo/Proyecto	Fuente
Redes neuronales profundas (DL)	Pronóstico de tiempo a corto plazo	Modelos operativos/experimentales recientes	[5], [7]
U-Net / CNN para downscaling	Regionalización de escenarios de cambio climático	Herramientas de PTI Clima (CSIC)	[3]
Machine learning para posprocesado/ensembles	Mejorar previsión y extremos	Proyecto MAELSTROM (UE)	[4]
Detección automática	Deforestación / cambio de uso de suelo	Alertas con Sentinel-2	[11]
Modelado supervisado y fusión de datos	Estimación de emisiones (CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> ) y huellas humanas	Copernicus, inventarios GEI	[9], [10]

### 3. Propuesta de solución

La propuesta se basa en un enfoque integral que combina herramientas de última generación y fuentes de datos globales:

- Ingesta de datos: conexión a APIs de Copernicus y descarga de datos satelitales Sentinel, así como reanálisis ERA5 de ECMWF.
- Preprocesamiento: homogenización espacio-temporal, interpolación de datos faltantes, corrección de ruido y estandarización en formatos como NetCDF.
- Modelado A (Predicción climática): uso de arquitecturas basadas en



Transformers y LSTM para pronósticos de temperatura y olas de calor.

- Modelado B (Impacto humano): correlación de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, deforestación y datos de movilidad urbana con microclimas locales.
- Validación: backtesting con registros históricos, evaluación mediante métricas como MAE, RMSE y AUC.
- Gobernanza y ética: análisis del costo energético del entrenamiento de modelos, auditoría de sesgos y recomendaciones de uso responsable.
- Sistemas de alerta y visualización: desarrollo de dashboards interactivos y aplicación móvil que comuniquen predicciones y alertas tempranas.

Este diseño no solo busca generar modelos precisos, sino también herramientas útiles para la toma de decisiones en políticas públicas y adaptación social.

Con base en la investigación, se propone un flujo de trabajo de IA para dos fines: (A) predicción de olas de calor urbanas a 3–10 días y (B) evaluación del impacto humano mediante indicadores de emisiones y cambio de uso de suelo. El flujo consta de los siguientes módulos:

1. Ingesta de datos: reanálisis/observaciones (temperatura, humedad, viento), productos satelitales (LST, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>), inventarios de GEI y variables urbanas.
2. Preprocesamiento: homogeneización espacial/temporal, imputación de faltantes, normalización y división estacional.
3. Modelado A (pronóstico): arquitectura tipo red neuronal recurrente o transformadores con componentes de atención temporal; evaluación con RMSE/MAE y CRPS.
4. Modelado B (impacto humano): modelos supervisados que relacionen indicadores de actividad (emisiones, deforestación, tráfico) con variables climáticas locales; evaluación con R<sup>2</sup>/AUC según el caso.
5. Validación y verificación: backtesting multianual, comparación con modelos de referencia y análisis de sensibilidad.
6. Gobernanza de datos y ética: documentación de sesgos, trazabilidad de modelos y evaluación del costo energético del entrenamiento e inferencia.

#### **4. Impacto esperado**

La solución propuesta podría mejorar la anticipación de extremos térmicos para salud pública y sistemas eléctricos; además, facilitaría priorizar zonas de mitigación en función de señales antropogénicas (grandes emisiones de metano, focos de deforestación), apoyando políticas de reducción de GEI y adaptación local.

## 5. Riesgos, limitaciones y ética

Limitaciones clave incluyen: dependencia de patrones históricos ante eventos sin precedentes, sesgos de muestreo y cobertura espacial, interpretabilidad de modelos complejos y costo energético y huella de carbono de los centros de datos que operan IA. Se recomiendan auditorías de sesgos, validación cruzada con conocimiento físico y el uso de centros de datos alimentados con energías renovables.

## Agenda

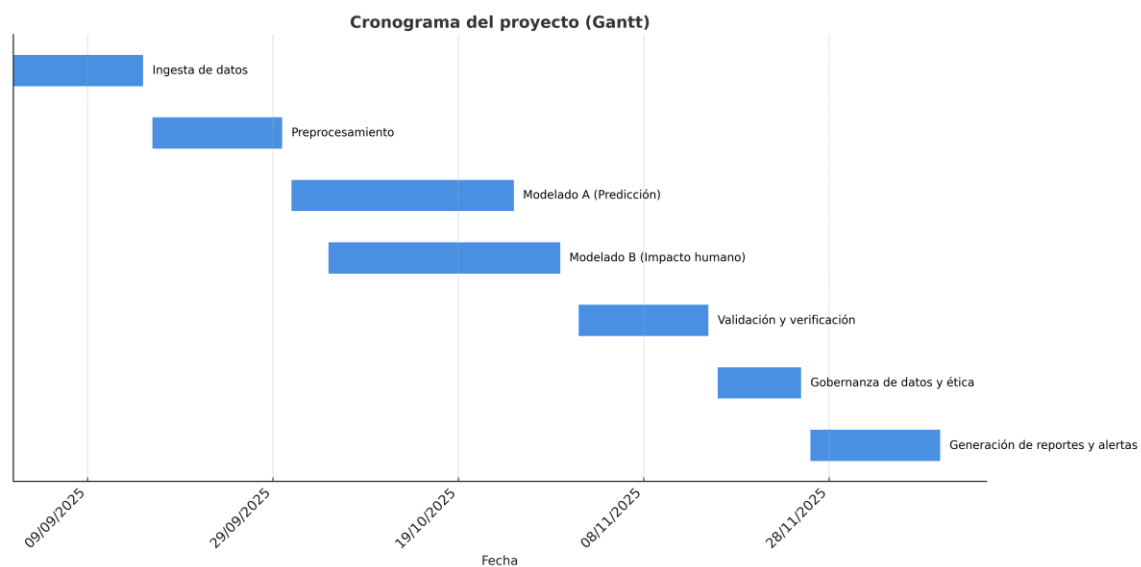


Figura 5. Cronograma del proyecto.

La agenda del proyecto establece las fechas de inicio y fin para cada una de las fases propuestas, lo cual permite organizar las actividades de manera clara y escalonada. A continuación se presenta la planificación en un diagrama de Gantt.

## Conclusiones

La IA se ha consolidado como un habilitador potente para la acción climática: mejora el pronóstico, aporta resoluciones locales mediante regionalización, y permite evaluar impactos humanos con mayor detalle combinando observaciones e inventarios. Aun así, su uso debe ser responsable y complementario a la modelación física, con validación rigurosa, control de

sesgos y gestión de su huella energética. La propuesta aquí descrita traza un camino realista para aplicar IA a la mitigación y adaptación, priorizando el valor público y la transparencia.

## Referencias

[1] IPCC (2021). 'Resumen para responsables de políticas' – AR6, Grupo de trabajo I. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf).

[2] AdapteCCa (2025). Informe 'Inteligencia Artificial y Cambio Climático'. Disponible en: <https://www.adaptecca.es/sites/default/files/2025-05/Informe%20IA%20y%20CC.pdf>.

[3] PTI Clima – CSIC. 'Herramientas de IA para la regionalización de escenarios de cambio climático'. Disponible en: <https://pti-clima.csic.es/la-pti-clima-desarrolla-herramientas-de-inteligencia-artificial-para-la-regionalizacion-de-escenarios-de-cambio-climatico/>.

[4] CORDIS (UE). 'Predicción de fenómenos meteorológicos extremos con IA (MAELSTROM)'. Disponible en: <https://cordis.europa.eu/article/id/452285-predicting-extreme-weather-events-with-artificial-intelligence/es>.

[5] El País (2025). 'Nuevos modelos de IA revolucionan la predicción del tiempo'. Disponible en: <https://elpais.com/tecnologia/2025-05-21/la-nueva-carrera-de-la-ia-nuevos-modelos-revolucionan-la-prediccion-del-tiempo.html>.

[6] Agencia SINC (2025). 'Un método con IA predice los efectos de la crisis climática en olas de calor'. Disponible en: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-metodo-con-IA-predice-los-efectos-de-la-crisis-climatica-en-olas-de-calor>.

[7] Tiempo.com (2025). 'La IA es relativamente buena para pronosticar el tiempo, pero...'. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/ia-pronosticar-tiempo-fenomenos-meteorologicos-inesperados.html>.

[8] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024). 'La IA plantea problemas ambientales...'. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-ia-plantea-problemas-ambientales-esto-es-lo-que-el-mundo-puede>.

[9] swissinfo (2025). 'Cómo los satélites y la IA pueden ayudar a tomar el pulso a un planeta que se calienta'. Disponible en: <https://www.swissinfo.ch/spa/cambio-climatico/c%C3%B3mo-los-sat%C3%A9lites-y-la-ia-pueden-ayudar-a-tomar-el-pulso-a-un-planeta-que-se-calienta/88802020>.

[10] MITECO (España). 'Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI)'. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/inventario-gases-efecto-invernadero.html>.

[11] MAAP (2024). 'Nueva herramienta para detectar la deforestación minera en la Amazonía (aprendizaje automático)'. Disponible en: <https://www.maaprogram.org/es/maap-212-nueva-herramienta-para-detectar-la-deforestacion-minera-en-la-amazonia/>.