

# IA para simulación de escenarios de cambio climático y evaluación de impactos

Ingeniería | Ingeniería ambiental

## Descripción del Curso

La Unidad 8 de la asignatura Ingeniería Ambiental se centra en las habilidades de comunicación y el trabajo en equipo para presentar resultados de simulaciones. Se enfatiza la capacidad de sintetizar y comunicar, de forma clara y persuasiva, los hallazgos obtenidos a partir de simulaciones ambientales, empleando informes escritos y presentaciones orales que integren visualización de datos y mapas geoespaciales. Este enfoque fomenta la colaboración interdisciplinaria entre estudiantes de distintas áreas técnicas y sociales, con miras a tomar decisiones informadas en contextos de gestión ambiental y cambio climático.

La unidad culmina una secuencia de actividades de aprendizaje que trabajan habilidades de razonamiento crítico, gestión de información, ética profesional y comunicación científica. Son eje central la claridad conceptual, la estructuración lógica de resultados, la adecuada selección de herramientas visuales y la capacidad de adaptar el mensaje al público técnico (ingenieros, científicos, gestores) y no técnico (comunidad, responsables de políticas, usuarios finales). El curso asume que los estudiantes, mayores de 17 años, manejan fundamentos de ingeniería ambiental y aprendizaje basado en proyectos, y que el desarrollo de las habilidades de comunicación y el trabajo en equipo se concreta a través de proyectos de simulación, reportes y presentaciones orales con elementos gráficos y mapas.

## Competencias

- Comunicará de forma clara informes escritos y presentaciones orales que describan y analicen los resultados de simulaciones ambientales, usando visualizaciones de datos y mapas para apoyar conclusiones.
- Colaborará de forma efectiva en equipos multidisciplinarios para proyectos de IA climática, gestionando roles, tiempos y responsabilidades para lograr resultados de simulaciones confiables.
- Desarrollará la habilidad para adaptar el lenguaje científico a audiencias técnicas y no técnicas, promoviendo la comprensión y la toma de decisiones informadas.
- Interpretará, organizará y presentará datos complejos mediante visualizaciones y mapas que faciliten la toma de decisiones de gestión ambiental y políticas públicas.
- Diseñará presentaciones y documentos que comuniquen claramente el método, los supuestos y las limitaciones de las simulaciones, fomentando la transparencia y la replicabilidad.
- Gestionará dinámicas de equipo, resolución de conflictos y prácticas de colaboración ética para lograr resultados de simulaciones robustos y responsables.

- Aplicará principios de razonamiento crítico, evaluación de evidencias y reflexión ética en la comunicación de resultados de IA climática y su impacto ambiental.

## Requerimientos

- Asistencia activa a clases y talleres de simulación, comunicación y presentación.
- Trabajo en equipo para desarrollar informes y presentaciones finales de la unidad, con entregables escritos y orales.
- Uso obligatorio de herramientas de visualización de datos y mapeo (p. ej., Tableau, QGIS) para crear visualizaciones y mapas presentables.
- Lecturas de fundamentos de simulaciones, ética y comunicación científica; participación en discusiones y foros.
- Entrega de informes parciales y final con citas, normas de citación y seguimiento de plazos.
- Presentación final ante un panel que evalúe la claridad, precisión y pertinencia de los resultados y su comunicación.

## Unidades del Curso

### Unidad 1: Unidad 1: IA y conceptos clave para simulación de escenarios de cambio climático

#### Objetivos de Aprendizaje

- Definir conceptos esenciales de IA (aprendizaje supervisado, no supervisado y modelos generativos) y su relevancia para la simulación climática.
- Diferenciar entre modelos físicos, estadísticos y basados en datos, incluyendo sus supuestos y limitaciones.
- Identificar criterios de calidad, incertidumbre y reproducibilidad al evaluar modelos de simulación climática.

#### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Conceptos clave de IA y aprendizaje automático, con énfasis en sus posibles aplicaciones para escenarios climáticos y diferencias entre supervisado, no supervisado y modelos generativos.
2. Tema 2 — Descripción corta: Modelos de simulación climática: diferencias entre modelos físicos (GCM/RCM) y enfoques basados en datos; ventajas y limitaciones de cada enfoque.
3. Tema 3 — Descripción corta: Escalas espaciales y temporales, incertidumbre, y definición de escenarios simples para análisis ambientales.
4. Tema 4 — Descripción corta: Reproducibilidad, documentación y gobernanza de modelos en proyectos de IA climática.
5. Tema 5 — Descripción corta: Consideraciones éticas y de equidad en IA aplicada al clima y a la evaluación de impactos.

#### Actividades

- **Actividad 1: Exploración de conceptos** – Sesión guiada para identificar conceptos clave de IA y distinguir entre tipos de modelos. Se presentan ejemplos de uso en clima y se discuten casos de éxito y límites. Puntos clave: claridad conceptual, identificación de tipos de modelos y posibles limitaciones.
- **Actividad 2: Análisis de modelos climáticos** – Lectura y resumen de un artículo sobre modelos físicos frente a enfoques basados en datos; análisis de supuestos y límites de cada enfoque.
- **Actividad 3: Debate sobre reproducibilidad** – Discusión en grupo sobre prácticas de documentación, control de versiones y verificación de resultados en proyectos de IA climática.
- **Actividad 4: Taller de reflexión ética** – Pequeño seminario sobre sesgos, equidad y responsabilidad en IA aplicada al cambio climático.

## Evaluación

Se evaluará la comprensión de conceptos y la habilidad para distinguir modelos mediante:

- Cuestionario corto de conceptos (20%).
- Informe de lectura y análisis de un artículo (20%).
- Actividad de discusión y participación (10%).
- Mini informe de reflexión sobre reproducibilidad y ética (20%).
- Actividad de revisión de un caso práctico (30%).

## Unidad 2: Unidad 2: Aplicación de técnicas de IA para apoyar la simulación de escenarios climáticos

### Objetivos de Aprendizaje

- Identificar técnicas de IA adecuadas para conjuntos de datos climáticos variados.
- Diseñar y seleccionar features relevantes para escenarios regionales y globales.
- Aplicar modelos supervisados, no supervisados y generativos en ejemplos de escenarios climáticos simples.
- Evaluar resultados con métricas apropiadas y discutir limitaciones y riesgos de sesgo.

### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Técnicas de IA aplicadas a datos climáticos: supervisado, no supervisado y generativos; conceptos básicos y casos de uso.
2. Tema 2 — Descripción corta: Preparación de datos y selección de características relevantes para variables climáticas (temperatura, precipitación, intensidad de sequía).
3. Tema 3 — Descripción corta: Modelos predictivos y de clasificación para variables climáticas a escalas regionales/globales (regresión, redes neuronales, árboles de decisión).
4. Tema 4 — Descripción corta: Modelos generativos para escenarios climáticos (GANs/VAEs) y sus consideraciones de validez física.

5. Tema 5 — Descripción corta: Ética de datos, sesgos y reproducibilidad en IA climática.

## Actividades

- **Actividad 1: Preprocesamiento de datos climáticos** – Limpieza, manejo de valores faltantes y normalización; selección de variables y características relevantes para un conjunto de datos de regiones específicas.
- **Actividad 2: Taller de selección de características** – Comparación de métodos de selección (-filter, wrapper, embedded) aplicados a variables climáticas; interpretación de resultados.
- **Actividad 3: Entrenamiento de modelos (supervisado)** – Entrenamiento de un modelo simple para predecir una variable climática a partir de features; evaluación de rendimiento.
- **Actividad 4: Generación de escenarios con modelos generativos** – Implementación básica de un modelo generativo para generar escenarios climáticos plausibles y análisis de validez.
- **Actividad 5: Sesión de revisión de sesgos y reproducibilidad** – Discusión y ejercicios prácticos sobre sesgos en datos y prácticas para mantener reproducibilidad.

## Evaluación

La evaluación cubrirá la aplicación de IA a escenarios climáticos y la capacidad de justificar elecciones:

- Ejercicio práctico de modelado y reporte de resultados (35%).
- Informe de selección de features y análisis de sensibilidad (25%).
- Cuestionario de conceptos y técnicas (15%).
- Participación y actividades en clase (15%).
- Portafolio de reproducibilidad de código (10%).

## Unidad 3: Unidad 3: Diseño y ejecución de experimentos de simulación mediante pipelines de datos

### Objetivos de Aprendizaje

- Configurar pipelines de datos para recopilación, preprocesamiento y entrenamiento de modelos de simulación climática.
- Definir variables, escenarios y métricas de desempeño relevantes para evaluaciones climáticas.
- Aplicar prácticas de control de versiones, registro de experimentos y documentación para reproducibilidad.

### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Arquitecturas de pipelines de datos para clima: ingestion, preprocesamiento, entrenamiento y evaluación.
2. Tema 2 — Descripción corta: Definición de variables y escenarios (emisiones, radiación, variables climáticas) y su formalización en experiments.

3. Tema 3 — Descripción corta: Métricas de desempeño y validación de escenarios (RMSE, MAE, métricas de impacto) y análisis de incertidumbre.
4. Tema 4 — Descripción corta: Reproducibilidad y control de versiones (git, DVC, contenedores) y registro de experimentos.
5. Tema 5 — Descripción corta: Despliegue de pipelines en entornos HPC/Cloud y buenas prácticas de seguridad de datos.

## Actividades

- **Actividad 1: Diseño de pipeline de datos** – Especificación de etapas, entradas/salidas y dependencias para un proyecto de simulación climática.
- **Actividad 2: Definición de variables y escenarios** – Elaboración de un conjunto de variables y escenarios de emisiones y condiciones iniciales; justificación de elecciones.
- **Actividad 3: Implementación de un experimento** – Construcción de un pipeline simple con registro de hiperparámetros y métricas.
- **Actividad 4: Validación y reproducibilidad** – Preparación de un informe de reproducibilidad con instrucciones de reproducción y enlaces a recursos.

## Evaluación

La evaluación se centrará en la capacidad de diseñar y ejecutar experimentos reproducibles:

- Diseño de pipeline y ejecución de un experimento (40%).
- Documento de definición de variables y escenarios (25%).
- Informe de métricas y análisis de incertidumbre (20%).
- Portfolio de reproducibilidad (15%).

## Unidad 4: Unidad 4: Evaluación de impactos y análisis de incertidumbre y sensibilidad

### Objetivos de Aprendizaje

- Identificar indicadores ambientales, sociales y económicos relevantes para la evaluación de impactos climáticos.
- Aplicar métodos de análisis de incertidumbre y sensibilidad (p. ej., análisis de Sobol, PRCC, bootstrapping).
- Integrar resultados de impactos en marcos de toma de decisiones multicriterio.

### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Indicadores de impacto ambiental, social y económico y su relación con escenarios climáticos.
2. Tema 2 — Descripción corta: Métodos de análisis de incertidumbre y sensibilidad para modelos climáticos.
3. Tema 3 — Descripción corta: Toma de decisiones multicriterio y análisis de escenarios para políticas públicas.

4. Tema 4 — Descripción corta: Visualización de impactos y uso de GIS para mapas de resultados.
5. Tema 5 — Descripción corta: Consideraciones de equidad y gobernanza en la evaluación de impactos.

## Actividades

- **Actividad 1: Cálculo de indicadores de impacto** – Selección y cálculo de indicadores ambientales, sociales y económicos a partir de salidas de simulación.
- **Actividad 2: Análisis de incertidumbre** – Aplicación de métodos de incertidumbre y sensibilidad para un conjunto de escenarios.
- **Actividad 3: Evaluación multicriterio** – Integración de resultados en un marco de decisión y recomendación de políticas.
- **Actividad 4: Visualización de impactos** – Creación de mapas y dashboards para comunicar resultados a audiencias técnicas y no técnicas.

## Evaluación

Instrumentos de evaluación centrados en la capacidad de analizar impactos y comunicar resultados:

- Informe de evaluación de impactos (35%).
- Ejercicio de incertidumbre y sensibilidad (25%).
- Proyecto de toma de decisiones multicriterio (20%).
- Presentación de resultados y visualización (20%).

## Unidad 5: Unidad 5: Desarrollo y automatización de pipelines de datos y código en Python para simulación climática

### Objetivos de Aprendizaje

- Construir pipelines modulares y reproducibles para procesamiento de datos climáticos.
- Integrar etapas de preprocesamiento, entrenamiento y validación en flujos de trabajo automatizados.
- Aplicar herramientas de versionado y pruebas para garantizar la calidad del código y la reproducibilidad.

### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Estructuras de pipelines en Python (pandas, numpy, scikit-learn) y buenas prácticas de desarrollo.
2. Tema 2 — Descripción corta: Preprocesamiento de datos climáticos, manejo de valores faltantes y normalización.
3. Tema 3 — Descripción corta: Entrenamiento y validación de modelos para simulación climática; partición de datos y evaluación.
4. Tema 4 — Descripción corta: Generación de resultados y generación de informes reproducibles.
5. Tema 5 — Descripción corta: Herramientas de automatización y control de versiones, CI/CD para proyectos de IA.

## Actividades

- **Actividad 1: Construcción de un pipeline básico** – Implementación de un pipeline de ingestión y limpieza de datos climáticos, con registro de ejecuciones.
- **Actividad 2: Entrenamiento y validación** – Entrenamiento de un modelo simple y evaluación en un conjunto de prueba, con métricas adecuadas.
- **Actividad 3: Reproducibilidad y versionado** – Configuración de repositorio, DVC y documentación para reproducibilidad.
- **Actividad 4: Generación de reportes automatizados** – Creación de informes con resultados y visualizaciones generadas automáticamente.

## Evaluación

Evaluación basada en la capacidad de construir pipelines reproducibles y ejecutables:

- Pipeline completo y ejecución reproducible (40%).
- Documentación y control de versiones (25%).
- Informe técnico de entrenamiento y validación (20%).
- Presentación de resultados y visualizaciones (15%).

## Unidad 6: Unidad 6: Interpretación y comunicación de resultados de simulaciones

### Objetivos de Aprendizaje

- Aplicar técnicas de interpretación de modelos (explicabilidad, visualización) para comprender salidas de simulación.
- Desarrollar habilidades de comunicación oral y escrita para audiencias técnicas y no técnicas.
- Identificar supuestos, limitaciones e incertidumbre, y proponer recomendaciones para la toma de decisiones.

### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Interpretabilidad y explicabilidad de modelos (SHAP, LIME) aplicadas a escenarios climáticos.
2. Tema 2 — Descripción corta: Visualización avanzada de resultados: mapas, gráficos y dashboards para distintas audiencias.
3. Tema 3 — Descripción corta: Redacción de informes y presentaciones para audiencias técnicas y no técnicas.
4. Tema 4 — Descripción corta: Comunicación de incertidumbre, supuestos y limitaciones de modelos.
5. Tema 5 — Descripción corta: Recomendaciones basadas en resultados de simulaciones y estrategias de mitigación/adaptación.

## Actividades

- **Actividad 1: Sesión de interpretación de modelos** – Análisis de salidas de un modelo y explicación de decisiones tomadas durante el proceso de modelado.
- **Actividad 2: Taller de visualización** – Desarrollo de dashboards y visualizaciones para diferentes públicos (técnico y no técnico).
- **Actividad 3: Redacción de informe técnico** – Elaboración de un informe que sintetice resultados, supuestos y limitaciones.
- **Actividad 4: Presentación oral** – Presentación de resultados ante una audiencia diversa, con preguntas y respuestas.

## Evaluación

Evaluación centrada en la claridad de interpretación y calidad de la comunicación:

- Ejercicio de interpretación de resultados y justificantes (30%).
- Presentación de resultados (25%).
- Informe técnico con supuestos y limitaciones (25%).
- Reflexión sobre incertidumbre y recomendaciones (20%).

## Unidad 7: Unidad 7: Principios éticos, de equidad y gobernanza en IA para simulación climática

### Objetivos de Aprendizaje

- Reconocer sesgos y efectos distributivos en la IA para clima y proponer estrategias de mitigación.
- Analizar marcos de gobernanza, regulaciones y buenas prácticas para proyectos de IA en clima.
- Promover transparencia, documentación y reproducibilidad en todo el ciclo de vida del proyecto.

### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Ética de IA, transparencia y responsabilidad en proyectos climáticos.
2. Tema 2 — Descripción corta: Sesgos, equidad y impactos distributivos en simulación climática y evaluación de impactos.
3. Tema 3 — Descripción corta: Gobernanza, cumplimiento normativo y gestión de datos sensibles y privacidad.
4. Tema 4 — Descripción corta: Reproducibilidad, documentación abierta y gobernanza de modelos.
5. Tema 5 — Descripción corta: Casos prácticos y debates éticos aplicados a proyectos de IA climática.

### Actividades

- **Actividad 1: Análisis de dilemas éticos** – Discusión de escenarios y toma de decisiones con énfasis en equidad y responsabilidad.
- **Actividad 2: Revisión de gobernanza** – Evaluación de políticas y marcos exitosos en proyectos de IA climática.

- **Actividad 3: Transparencia y reproducibilidad** – Elaboración de checklist de reproducibilidad y documentación de un proyecto de IA para clima.
- **Actividad 4: Taller de sesgos** – Identificación de sesgos en datos y modelos y propuestas de mitigación.

## Evaluación

Evaluación centrada en el entendimiento ético y de gobernanza:

- Ensayo crítico sobre ética deportiva de IA climática (25%).
- Evaluación de gobernanza y políticas (25%).
- Checklist y reporte de reproducibilidad (25%).
- Participación en debates y actividades (25%).

## Unidad 8: Unidad 8: Habilidades de comunicación y trabajo en equipo para resultados de simulaciones

### Objetivos de Aprendizaje

- Colaborar de forma efectiva en equipos multidisciplinarios para proyectos de IA climática.
- Desarrollar habilidades de comunicación científica para audiencias técnicas y no técnicas.
- Perfeccionar la visualización de datos y mapas para apoyar decisiones.

### Contenidos Temáticos

1. Tema 1 — Descripción corta: Técnicas de comunicación científica para informes y presentaciones efectivas.
2. Tema 2 — Descripción corta: Trabajo en equipo, roles y herramientas de colaboración (gestión de proyectos y git colectivo).
3. Tema 3 — Descripción corta: Visualización de datos y mapas (GIS, dashboards) para toma de decisiones.
4. Tema 4 — Descripción corta: Elaboración de informes y presentaciones para distintos públicos.
5. Tema 5 — Descripción corta: Prácticas de retroalimentación y mejora continua.

### Actividades

- **Actividad 1: Taller de comunicación visual** – Diseño de gráficos y mapas que comuniquen resultados clave y su interpretación.
- **Actividad 2: Proyecto en equipo** – Trabajo colaborativo para elaborar un informe y una presentación final de un caso de simulación climática.
- **Actividad 3: Presentación final** – Exposición oral ante una audiencia técnica y otra no técnica con sesión de preguntas.
- **Actividad 4: Retroalimentación y mejora** – Sesión de retroalimentación entre pares para mejorar informes y presentaciones futuras.

## Evaluación

Evaluación basada en la comunicación y el trabajo en equipo:

- Presentación final y claridad de comunicación (30%).
- Informe escrito con visualizaciones (25%).
- Colaboración y roles en el equipo (15%).
- Calidad de las visualizaciones y mapas (20%).
- Capacidad de recibir y aplicar retroalimentación (10%).