

Exploratory Dynamic Integrated Assessment Model (EDIAM)

Módulo 4: Técnicas computacionales avanzadas para modelar fenómenos sociales

Concentración en Economía Aplicada y Ciencia de Datos ITESM-SF

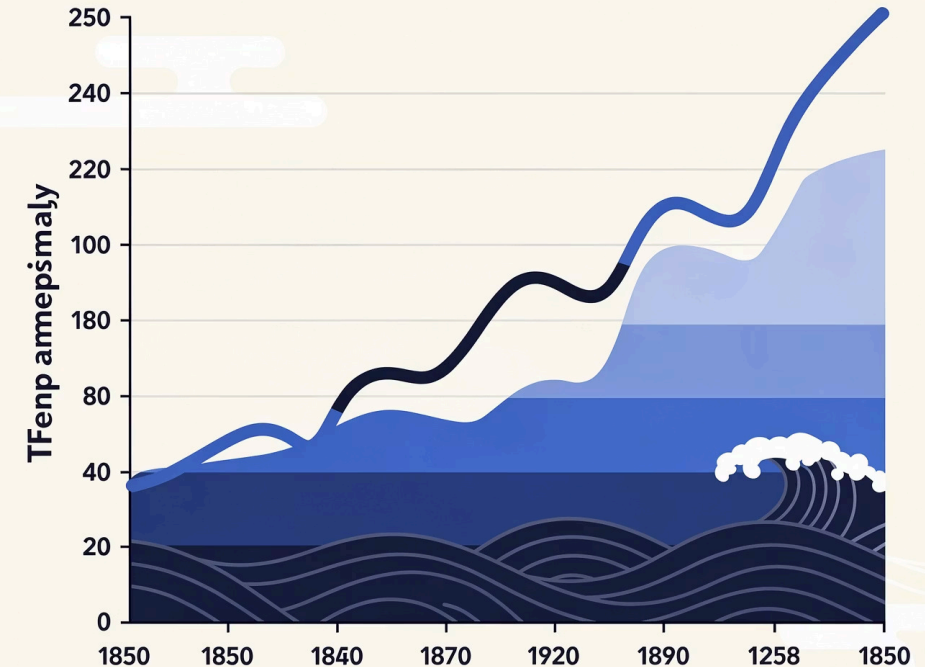
CDMX, Feb-Jun 2026

Problemática: Cambio Climático

La influencia humana ha calentado el clima de manera inequívoca. Los datos observados muestran un incremento de aproximadamente 1.0°C en la temperatura global promedio desde 1850-1900, con una aceleración notable después de 1950.

Las simulaciones que incluyen factores humanos y naturales coinciden con las temperaturas observadas, mientras que las simulaciones con solo factores naturales no explican el calentamiento reciente.

Global Temperature rise





Consecuencias Globales

El cambio climático representa una amenaza existencial para la seguridad alimentaria mundial. Las proyecciones indican interrupciones significativas en los sistemas de producción agrícola, con impactos desproporcionados en las regiones más vulnerables.

La comunidad internacional enfrenta decisiones críticas sobre políticas de mitigación y adaptación, con implicaciones económicas y sociales de largo alcance que afectarán a las generaciones futuras.

Incertidumbre en las Proyecciones Climáticas

Las proyecciones futuras del cambio climático involucran incertidumbre profunda. Los escenarios RCP (Representative Concentration Pathways) muestran rangos amplios de posibles aumentos de temperatura para 2300:

RCP2.6

Aumento de ~1.5°C

Mitigación agresiva

RCP4.5

Aumento de ~2.5°C

Estabilización moderada

RCP6.0

Aumento de ~3.5°C

Emisiones intermedias

RCP8.5

Aumento de ~7.5°C

Emisiones altas

Los modelos utilizan 25-42 simulaciones por escenario, con bandas de incertidumbre que se amplían significativamente hacia el futuro.

Decision Making Under Deep Uncertainty (DMDU)

Campo emergente en la Ciencia de Decisiones que aborda la toma de decisiones cuando existe incertidumbre profunda sobre el futuro. Este enfoque reconoce que no podemos predecir con certeza los resultados de nuestras acciones.

01

Identificar condiciones

¿Qué condiciones afectan el desempeño de una decisión?

02

Evaluar vulnerabilidades

¿Bajo qué condiciones fallan nuestras decisiones con respecto a los objetivos de las diferentes partes interesadas?

03

Justificar adaptación

¿Son esas condiciones lo suficientemente plausibles como para justificar opciones de adaptación?

Marco Analítico: Matriz XLRM



Uncertainties (X)

¿Qué elementos no controlamos del sistema?

- Incertidumbre climática: 12 escenarios
- Incertidumbre económica: 10 escenarios de elasticidad de sustitución
- 5 escenarios de tasa de descuento



Policy Levers (L)

¿Qué mecanismos disponemos para intervenir?

- P0: Futuro sin acción
- P1-P7: Combinaciones de impuestos al carbono, subsidios tecnológicos y R&D



System Relationships (R)

¿Cómo analizamos el sistema?

Exploratory Dynamic Integrated Assessment Model (EDIAM)



Metrics (M)

¿Cómo evaluamos las intervenciones?

- Aumento de temperatura a fin de siglo
- Estabilización de emisiones GEI
- Costos económicos de intervención

EDIAM: Modelo de Evaluación Integrada

Fundamento Teórico

Molina-Perez (2016) desarrolló EDIAM usando métodos de RDM (Robust Decision Making) para identificar políticas adaptativas robustas que promuevan la descarbonización internacional bajo alta incertidumbre climática y tecnológica.

Tres Mecanismos Principales

1

Inversión en R&D

Determina el volumen dirigido hacia tecnologías de energía sostenible vs. fósil (Acemoglu, 2002; Acemoglu et al., 2012)

2

Desarrollo Tecnológico

Describe cómo las tecnologías evolucionan en regiones desarrolladas

3

Transferencia Tecnológica

Describe cómo se desarrollan las tecnologías en regiones emergentes

Mecanismo de Inversión en R&D

El primer mecanismo determina la distribución de inversión entre tecnologías sostenibles y fósiles mediante la siguiente relación:

$$\frac{\Pi_{set}^k(t)}{\Pi_{fet}^k(t)} = (1 + q_{se}^k) \times \frac{\eta_{se}}{\eta_{fe}} \times \frac{1}{(1 - t_{set}^k)^{\frac{1}{1-\alpha}}} \times \left(\frac{\psi_{fe}}{\psi_{se}} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \times \left(\frac{p_{se}^k(t)}{p_{fe}^k(t)} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \times \frac{L_{se}^k(t)}{L_{fe}^k(t)} \times \frac{A_{se}^k(t)}{A_{fe}^k(t)}$$

Si esta relación es mayor que 1, la mayoría de la investigación se dirige hacia tecnologías de energía sostenible.



Efecto Productividad

Incentiva investigación en el sector con tecnologías más avanzadas y productivas



Efecto Tamaño de Mercado

Dirige R&D hacia sectores con mayor tamaño de mercado



Efecto Precios

Incentiva investigación en el sector con precios más altos



Efecto Experiencia

Dirige innovación hacia el sector que reduce costos más rápidamente



Efecto Propensión

Incentiva R&D en el sector que produce nuevas tecnologías más rápidamente

Dinámica del Modelo y Calibración

Ecuaciones Fundamentales

El sistema se describe mediante tres ecuaciones diferenciales que modelan:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\xi(Y_{fe}^A + Y_{se}^E) + \delta S \\ \frac{dA_j^A}{dt} &= \gamma_j(A_j^A)\eta_j\theta_j^A A_j^A \\ \frac{dA_j^E}{dt} &= \nu_j\gamma_j(A_j^E)\theta_j^E (A_j^A - A_j^E)\end{aligned}$$

Donde S representa la calidad ambiental, A la productividad tecnológica, y los subíndices indican región (A=avanzada, E=emergente) y sector energético.

Proceso de Calibración

La calibración reproduce series históricas de consumo de energía fósil en dos regiones mediante minimización de errores cuadráticos medios:

$$\begin{aligned}\min_{\gamma_{re}, \gamma_{ce}, \eta_{re}, \eta_{ce}, \nu_{re}, \nu_{ce}, r^N, r^S} \quad & MSE_N + MSE_S \\ \text{s.t.} \quad & \gamma_{re}, \gamma_{ce}, \eta_{re}, \eta_{ce}, \nu_{re}, \nu_{ce}, r^N, r^S \in [0.001, 0.12]\end{aligned}$$

Los resultados muestran ajuste preciso entre datos simulados y registros históricos de 1985-2010 para regiones OECD y No-OECD.

Optimización de Políticas Climáticas

El problema de optimización maximiza la utilidad intertemporal de consumidores en ambas regiones, considerando consumo y calidad ambiental:

$$\begin{aligned} & \max_{\tau^A, \tau^E, h^A, h^E, q^A, q^E} \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+\rho)^t} (u^A + u^E) \\ & \text{s.t.} \\ & \tau^A, \tau^E, h^A, h^E, q^A, q^E \in [0, 1] \end{aligned}$$



Impuestos al Carbono

τ^A y τ^E : Impuestos en regiones avanzadas y emergentes



Subsidios Tecnológicos

h^A y h^E : Subsidios para tecnologías de energía sostenible



Inversión en R&D

q^A y q^E : Subsidios para investigación en energía sostenible

Este enfoque permite identificar combinaciones óptimas de políticas que balanceen objetivos económicos y ambientales bajo incertidumbre profunda.