Climate Change AI

Diseñar en la práctica su proyecto de IA para el clima

Dra. Dina Machuve

7 de agosto de 2026

Programa

1. Evaluar la idoneidad de la IA y la madurez tecnológica
2. Flujos de datos y vías de despliegue
3. Evaluación de impacto e indicadores
4. Partes interesadas, poder y sostenibilidad

Rompehielos

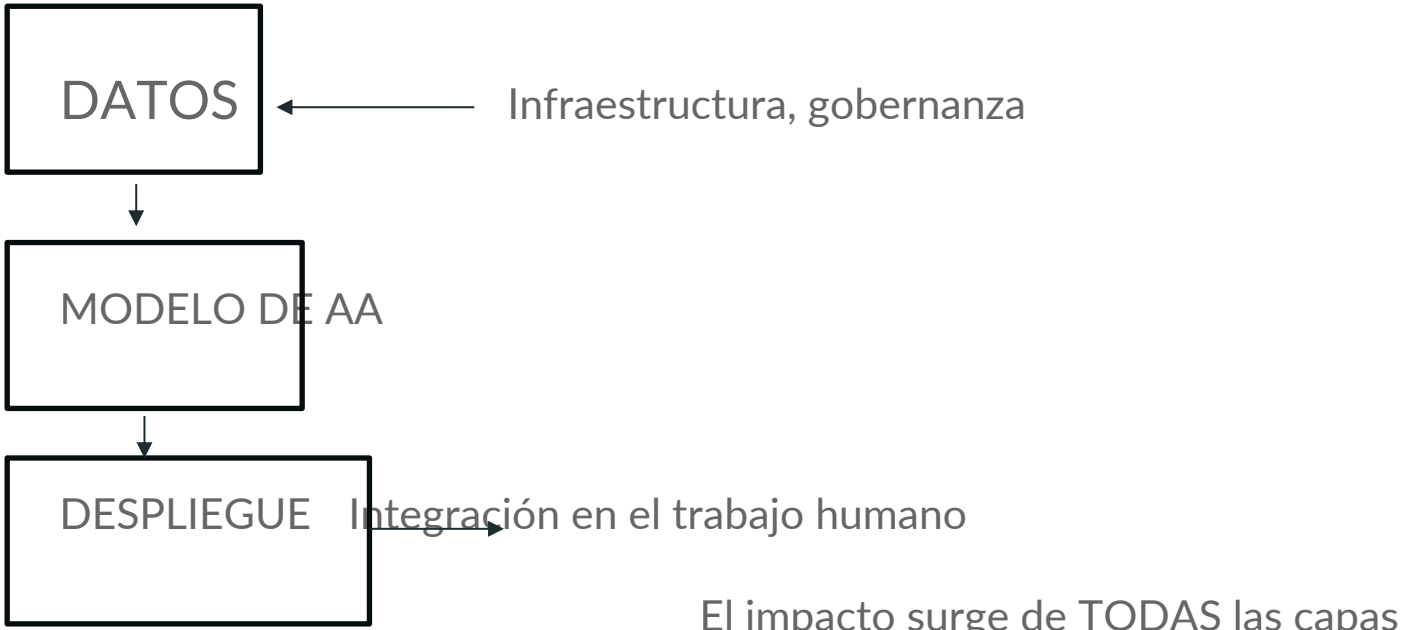
- Identifique retos climáticos en los que cree que la IA podría ayudar

partici.fi/32112222



Conceptos clave

- El aprendizaje automático es solo un componente



El impacto surge de TODAS las capas

Evaluar la idoneidad de la IA y la madurez tecnológica

¿Es la IA la herramienta adecuada?

- Preguntas antes de elegir la IA:
  - ¿Disponemos de datos de calidad suficientes?
  - ¿Son compatibles las restricciones operativas con flujos de trabajo de IA?
  - ¿Aceptarán las partes interesadas recomendaciones algorítmicas?
  - ¿Podrían métodos más sencillos lograr resultados comparables?

¿Es la IA la herramienta adecuada?

- Cuándo aporta valor la IA:
  - Patrones complejos, alta dimensionalidad
  - Necesidad de escalar, aceleración más allá del ritmo humano
  - Se requiere inferencia en tiempo real

- Cuándo bastan soluciones más sencillas
  - Decisiones simples basadas en reglas
  - Datos limitados
  - Alto riesgo sin explicabilidad

Niveles de madurez tecnológica en el contexto climático

- Qué es desplegable ya y qué requiere más innovación
- Riesgo de prometer capacidades que aún no existen
- Equilibrar ambición y viabilidad

Niveles de madurez tecnológica en el contexto climático

FACTIBLE YA

- Monitoreo de la deforestación por satélite
- Predicción de la demanda de energía
- Estimación de las reservas de carbono
- Modelización regional del rendimiento de cultivos
- Automatización de inventarios de emisiones

Niveles de madurez tecnológica

REQUIERE INNOVACIÓN

- Previsión microclimática hiperlocal
- Agentes de equilibrio de renovables a escala de red
- Extinción de incendios totalmente autónoma
- Diagnóstico de precisión de la salud del suelo
- Cascadas de optimización intersectoriales

Elegir un enfoque de IA

Tipo de tarea	Métodos	Compromisos
Regresión/previsión	Bosque aleatorio, XGBoost	Velocidad vs interpretabilidad
Clasificación (binaria/multiclase)	Regresión logística, CNN	Exactitud vs complejidad
Análisis espacial	GAN, autocodificadores	Resolución vs cómputo
Detección de anomalías	VAE	Sensibilidad vs falsos positivos
Aprendizaje por refuerzo	PPO, DQN	Flexibilidad vs estabilidad del entrenamiento

Elegir un enfoque de IA

Lista de comprobación:

- Experiencia disponible en el equipo
- Requisitos de latencia
- Frecuencia de actualización del modelo
- Presupuesto de hardware/software
- Requisitos normativos/de cumplimiento

Caso de estudio – el cultivo de café en Tanzania

- 4.° productor de África
- 150 000 toneladas al año
- Ingresos de 100 a 135 M$ al año
- Producido por 450 000 pequeñas explotaciones familiares
- Agricultores organizados en cooperativas de comercialización agrícola



TCB (2021), Tanzanian Coffee Industry Development Strategy 2020-2025, *Tanzania Coffee Board. https://shorturl.at/yNHMZ*

- Mercados de exportación del café tanzano
- Países de la UE 40 %
    - Alemania, Bélgica, Italia, Suecia y Polonia
- Otros mercados 60 %
    - EE. UU.
    - Japón, Corea del Sur, China, India



EU Commission (2023), Regulation (EU) 2023/1115 on deforestation-free products. https://shorturl.at/ETo3z

- 90 % de la exportación de café
  - Producido por pequeños agricultores
  - Sin información de trazabilidad
  - Georreferenciación de agricultores al 70 % en dos regiones
  - Registro central público de caficultores
- 10 % de exportación directa
  - Grandes fincas
  - Información de trazabilidad disponible



TCB (2021), Tanzanian Coffee Industry Development Strategy 2020-2025, *Tanzania Coffee Board*

- Registro central de agricultores
  - Costoso para el Estado
  - La georreferenciación de fincas es un trabajo continuo
  - Actualización de la información (fincas y agricultores)
  - Sostenibilidad de la plataforma poco clara
- Riesgo de perder el mercado de la UE
- Evidencia de Etiopía: caficultores se han pasado a otros cultivos



Sorokin, S. (2024), How are EUDR requirements implemented in companies' supply networks? *The case of Ethiopian Coffee sourcing*, *IIIEE Master Thesis*, Lund University.

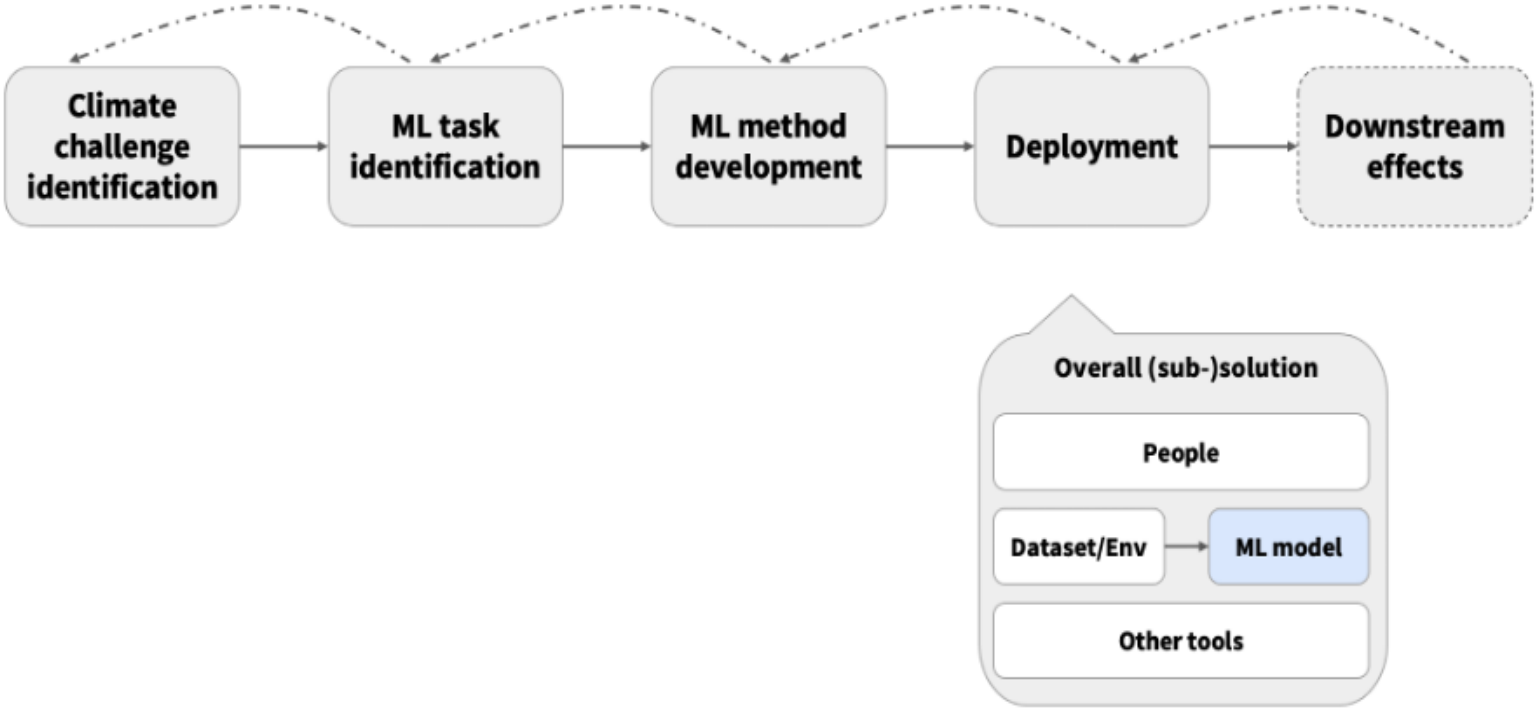
Punto de control 1

- Evalúe las soluciones de IA propuestas a los caficultores.
    - Seleccione los casos de uso «adecuados para la IA»

partici.fi/32112222

Flujos de datos y vías de despliegue

Lifecycle of an ML-for-climate project



1. Etapas del flujo de despliegue: reto climático

Identificación del reto climático

- Definición del problema y evaluación de las necesidades de las partes interesadas

Integración del caso de estudio: caficultores

- **Sistema actual**: registro nacional de caficultores para cumplir el EUDR (trazabilidad)
- **Brecha**: el registro por sí solo no ayuda a los agricultores a adaptarse al cambio climático
- Pequeños agricultores: el grupo más vulnerable al cambio climático.
- Reto para los agricultores: falta de información para percibir el cambio climático y responder a él.

Mbwambo, S. et al (2021), Climate Change Perceptions by Smallholder Coffee Farmers in Northern and Southern Highlands of Tanzania, *Climate*; 9, 90. https://doi.org/10.3390/cli9060090

2. Etapas del flujo de despliegue: oportunidades de IA

Definición de la tarea de AA

- Traducir el problema en predicción/clasificación/control óptimo formal

Problema	Enfoque tradicional	Solución de IA	Valor añadido
Evaluación del riesgo climático	Promedios históricos	Previsión meteorológica con AA	Predicciones a nivel de finca
Verificación de deforestación	Visitas de campo manuales	Satélite + visión por computador	Monitoreo en tiempo real
Predicción del rendimiento	Experiencia de expertos	Modelos de conjunto	Calendario preciso

3. Etapas del flujo de despliegue: modelización

Desarrollo del método de AA

- Entrenamiento, validación y ciclos de iteración del modelo
- Disponibilidad vs adecuación de los datos (calidad > cantidad)
- Ingeniería de variables para datos climáticos (temporales, espaciales, ambientales)
- Marco de selección del modelo: compromiso interpretabilidad vs exactitud
- Retos de validación en contextos climáticos (entornos no estacionarios)

3. Etapas del flujo de despliegue: modelización

Desarrollo de modelos de AA para caficultores

- Visión por computador: detección de deforestación (ChangeNet / U-Net)
- Series temporales: previsión del rendimiento (LSTM / Prophet)
- Clasificación: puntuación del riesgo de enfermedades (bosque aleatorio / XGBoost)
- Recomendación: ventanas óptimas de cosecha (optimización con RL)

4. Etapas del flujo de despliegue: despliegue

Despliegue

- Producción completa con infraestructura y soporte

Resultados para los caficultores (ideal)

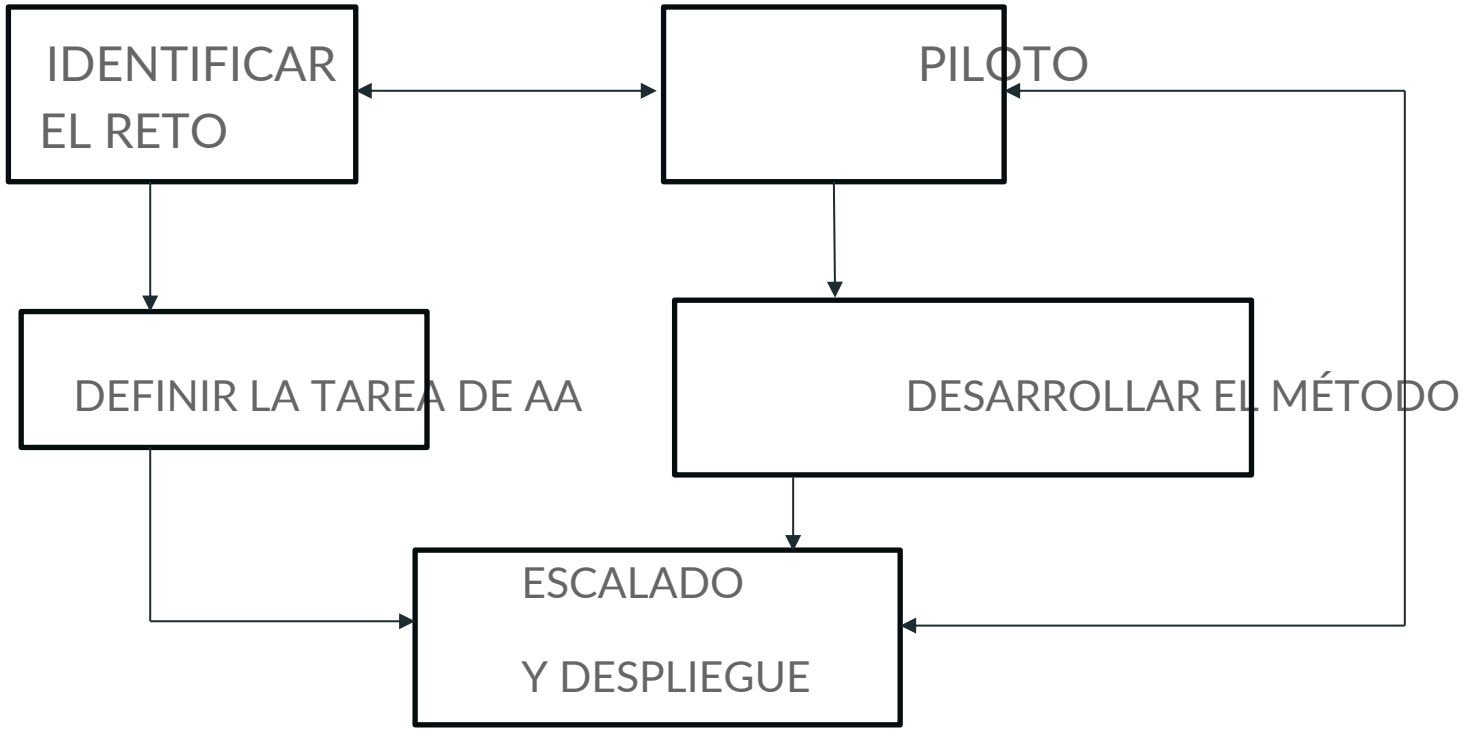
- Informes de cumplimiento del EUDR (automatizados)
- Alertas de riesgo climático (SMS/USSD)
- Recomendaciones de asesoramiento (lengua local)
- Elegibilidad para créditos de carbono

Etapas del flujo de despliegue: resumen

1. Identificación del reto climático -> definición del problema y evaluación de las necesidades de las partes interesadas
2. Definición de la tarea de AA -> traducir el problema en predicción/clasificación/control óptimo formal
3. Desarrollo del método -> entrenamiento, validación y ciclos de iteración del modelo
4. Piloto/prueba -> despliegue limitado que mide la usabilidad y las primeras señales
5. Escalado/despliegue -> producción completa con infraestructura y soporte
6. Seguimiento/mantenimiento -> seguimiento del rendimiento, corrección de la deriva, actualizaciones

Ciclo de retroalimentación

- Cada flecha es una oportunidad de detectar antes un desajuste



Ciclos de retroalimentación entre etapas

- La iteración es necesaria: no es lineal
- Los primeros despliegues sirven para afinar el modelo
- Los datos de rendimiento reales replantean los supuestos iniciales

El AA como un componente más

- Dependencias de infraestructura (conectividad, hardware)
- Requisitos de intervención humana
- Integración con los flujos de trabajo y sistemas de decisión existentes

Punto de control 2

- Dirige un proyecto de IA para el clima que predice el riesgo de incendios forestales con imágenes satelitales y datos meteorológicos. Su equipo está diseñando la vía de despliegue.

Pregunta:

- ¿Qué afirmación refleja MEJOR un diseño sólido del flujo para este proyecto?

partici.fi/32112222

Evaluación de impacto e indicadores

Del impacto a los indicadores

Proceso:

- Definir primero el resultado deseado,
- Identificar proxies medibles
- Validar la cadena causal

Indicadores fáciles ≠ indicadores significativos

Del impacto a los indicadores

Resultado deseado	**Indicadores**
Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	Consumo de combustible ↓, uso de kWh ↓
Mejora de la resiliencia de adaptación	Gravedad de las pérdidas de cosecha ↓, éxito de las evacuaciones ↑
Eficacia de la conservación	Estabilidad de las poblaciones de especies ↑
Mejora de la equidad	Participación de hogares marginados ↑

Qué se puede y qué no se puede medir

- Medidas directas vs proxies
- Variables latentes que requieren inferencia
- Desfases entre la intervención y los efectos observables

Limitaciones de la medición

Medido directamente	Requiere inferencia / modelización
Consumo de electricidad de la red	Eficiencia de los electrodomésticos
Índices de vegetación por satélite	Biodiversidad bajo el dosel
Volúmenes de productos exportados	Distribución de ingresos de los agricultores
Sensores de ocupación de edificios	Percepción de confort de los ocupantes
Conteos de tráfico	Exposición de los viajeros a la contaminación del aire

Las variables no medidas acumulan sesgo con el tiempo si no se abordan explícitamente

Indicadores a corto vs a largo plazo

Dimensión	**Corto plazo**	**Largo plazo**
Ejemplos	Tasa de adopción, exactitud del modelo	Reducción de emisiones, mejoras de resiliencia
Frecuencia de medición	Continua/semanal	Anual/bienal
Dificultad de atribución	Baja-media	Alta
Palancas de intervención	Diseño del producto, UX	Políticas, inversión en infraestructura

Punto de control 3

- Su equipo trabaja en un proyecto de IA para el clima que usa imágenes satelitales para detectar la deforestación ilegal en áreas protegidas de selva tropical. Está diseñando el marco de evaluación de impacto para financiadores y partes interesadas.

Pregunta:
¿Qué marco de indicadores capta MEJOR el impacto climático real y evita los errores de medición habituales?

partici.fi/32112222

Partes interesadas, poder y sostenibilidad

Mapa de partes interesadas

Categoría	Características	Necesidades de participación
Configuradores	Reguladores, financiadores, responsables políticos	Consultas formales, informes de transparencia
Usuarios	Operadores, trabajadores de primera línea, comunidades	Talleres de codiseño, formación
Partes afectadas	Comunidades afectadas indirectamente	Mecanismos de rendición de cuentas, canales de reclamación
Opositores	Grupos que soportan pérdidas concentradas	Medidas de mitigación, reparto alternativo de beneficios

Ejercicio de conciencia del poder: ¿quién tiene voz hoy? ¿Quién carece de representación?

La escalera de participación ciudadana de Arnstein

Peldaños de empoderamiento

- NIVEL 3: PARTICIPACIÓN SIMBÓLICA
    - Consulta (se piden opiniones, sin garantía de incorporarlas)
    - Apaciguamiento (papeles consultivos menores, influencia limitada)
    - Información (comunicación unidireccional, retroalimentación opcional)
- NIVEL 2: TRANSFERENCIA DE PODER
    - Asociación (responsabilidades de gobernanza compartidas y negociadas)
    - Poder delegado (la comunidad tiene poder de veto/aprobación)
    - Control ciudadano (la autonomía local domina las decisiones)

Conciencia de las dinámicas de poder

PREGUNTAS DE CONTROL

- ¿A quién pertenece la soberanía sobre los datos brutos?
- ¿Quién accede de forma independiente a los pesos del modelo entrenado?
- ¿Quién controla el suministro de infraestructura de cómputo?
- ¿Quién decide la hoja de ruta de funcionalidades prioritarias?

Dinámicas de poder

REPARTO DE BENEFICIOS

- ¿Dónde se concentran exactamente las principales ganancias económicas?
- ¿Empleo creado internamente o externamente?
- ¿Transferencia de conocimientos que permita la autosuficiencia local?

REPARTO DE COSTES:

- ¿Quién asume principalmente los gastos de conectividad?
- ¿Se asignan adecuadamente las obligaciones de mantenimiento?
- ¿Se comparten los riesgos de forma proporcionada y responsable?

Guía de puntuación: mayoría de respuestas afirmativas = alineación equitativa con tendencia positiva

Marco de sostenibilidad

- Viabilidad económica más allá de la financiación piloto
- Apropiación institucional y capacidad de mantenimiento
- Aceptación comunitaria y desarrollo de conocimiento local
- Estrategias de salida que preserven el valor

Caso de estudio en profundidad

Caficultores

- **Reto**: el nuevo Reglamento de la UE sobre deforestación (EUDR) exige cadenas de suministro de café trazables.
- **Infraestructura actual**: registro central nacional en desarrollo que inscribe a los agricultores, georreferencia las fincas y almacena datos a nivel de finca accesibles a los proveedores antes de la exportación.
- **Partes interesadas**: pequeños agricultores, cooperativas, junta del café (regulador y organismo certificador), instituto nacional de investigación del café, empresas exportadoras, importadores de la UE.

Productos de datos climáticos con IA propuestos para los agricultores

Descripción del producto	Problema abordado	Aspectos de implementación
Modelo de predicción del rendimiento	Planificación bajo incertidumbre, momento de venta	Requiere datos históricos de rendimiento e integración de imágenes satelitales
Alerta temprana de heladas/enfermedades	Prevención de pérdidas	Sistema de alertas móviles; necesita validación sobre el terreno
Asesor de la ventana óptima de cosecha	Calidad constante, maximización del precio	Análisis de patrones meteorológicos + modelización de la madurez de la cereza
Estimador de secuestro de carbono	Posible elegibilidad para créditos de carbono	Modelización del suelo, seguimiento agroforestal
Panel de previsión de precios	Mejor poder de negociación	Agregación de inteligencia de mercado; riesgo de asimetría de información

Preguntas críticas

1. **Gobernanza de datos:** ¿a quién pertenecen los datos de geolocalización y producción de los agricultores? ¿Podría volverse abusivo si el acceso de los proveedores prima sobre la privacidad y los beneficios de los agricultores?
2. **Equidad:** ¿obtendrán ventajas competitivas los agricultores con tecnología mientras los productores marginados pierden posición en el mercado?
3. **Dependencia de infraestructura:** brechas de conectividad: ¿pueden las herramientas pensadas primero para funcionar sin conexión evitar la exclusión?
4. **Desarrollo de capacidades:** ¿el registro da a los agricultores información útil para actuar, o solo extrae datos con fines de cumplimiento?
5. **Mecanismos de redistribución del poder:** plataformas de análisis propiedad de las cooperativas frente a sistemas centralizados controlados por el Estado o los compradores.

Diseño participativo

- Los agricultores como codesarrolladores, no solo como fuentes de datos
- Crear ciclos de retroalimentación en los que los resultados del modelo mejoren visiblemente las decisiones de los agricultores.
- El cumplimiento normativo no debe eclipsar los resultados de desarrollo.

Lecturas

CEIMIA. (2025). State of AI in climate action in Sub-Saharan Africa. International Center of Expertise in Montreal on Artificial Intelligence. https://shorturl.at/STDyd

Mienye, I. D., Sun, Y., & Ileberi, E. (2024). Artificial intelligence and sustainable development in Africa: A comprehensive review. *Machine Learning with Applications*, *18*, 100591. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100591

Nhemachena, C., et al. (2024). Using artificial intelligence in support of climate change adaptation Africa: Potentials and risks. Humanities and Social Sciences Communications, 11(4223). https://doi.org/10.1057/s41599-024-04223-7

UNFCCC & UNIDO (2025). Artificial Intelligence for Climate Action: Advancing Mitigation and Adaptation in Developing Countries. TEC Technical Paper. https://shorturl.at/flofg



Gracias