

Grupo de Investigación en **Diseño y Optimización de Procesos y Servicios (DOPS)**

Planificación energética con energías renovables

Barcelona, 30 de abril de 2023



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

- **Presentación del grupo de investigación**

- **Planificación energética con energías renovables**
 - **Evaluaciones de proyectos**
 - **Diseño local multi-criterio**
 - **Diseño regional**

Presentación del grupo de investigación DOPS

Grupo de Investigación en

Diseño y Optimización de Procesos y Servicios de la UPC (DOPS)

(previously Supply Chain and Operations Management- SCOM)

- El grupo DOPS desarrolla investigación para la mejora de la **eficiencia y sostenibilidad económica y medioambiental** de las organizaciones:
www.dops.upc.edu
- Desarrolla **herramientas de soporte a la toma de decisiones** para el diseño de: aprovisionamiento, producción, distribución o recuperación.
- Equipo de profesorado de **11 miembros**, algunos de ellos dedicados a la línea de **planificación energética con energías renovables**



Dra Laia Ferrer-Martí
Responsable del Grupo
Catedrática



Dr Bruno Domenech
Profesor Agregado



Dr Marc Juanpera
Post-doc



Msc. Alba
Leduchowicz
Doctoranda



Dr Rafael Pastor
Catedrático



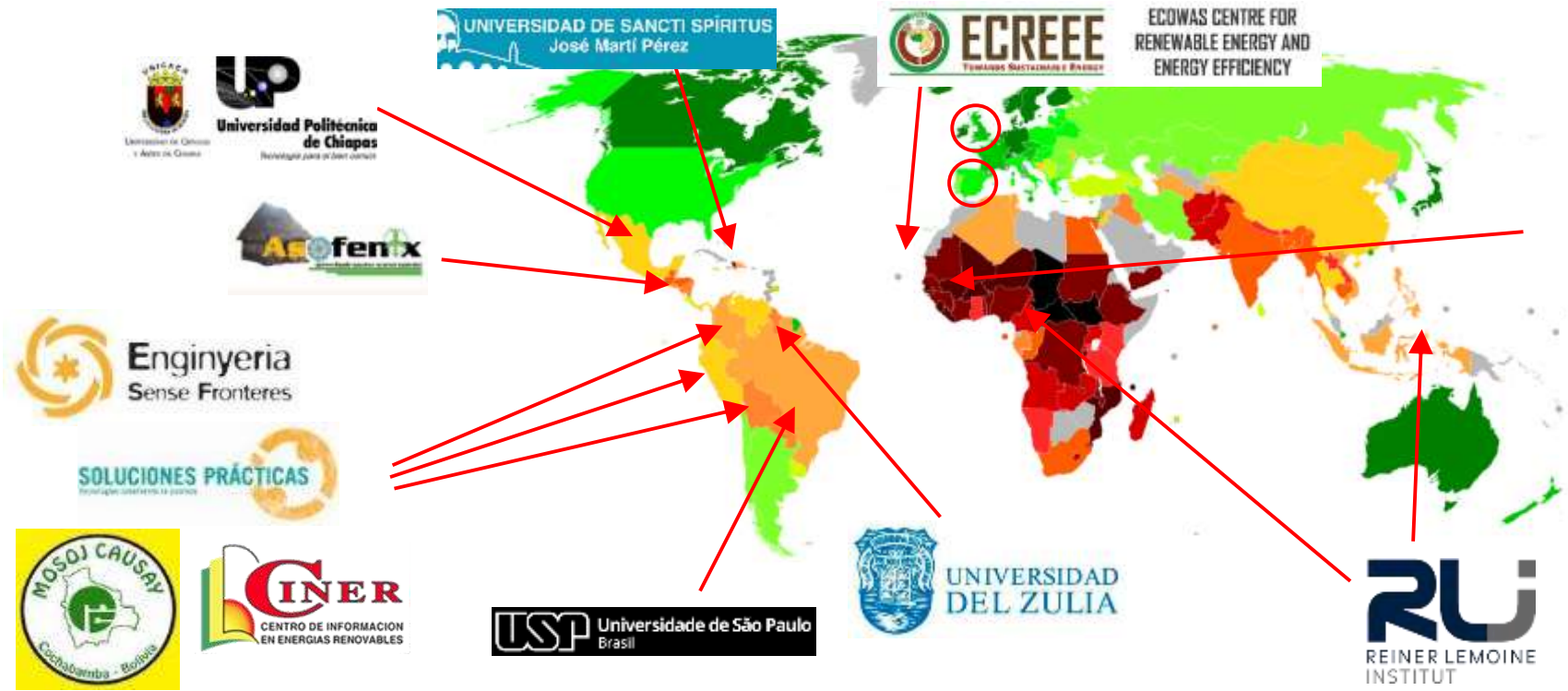
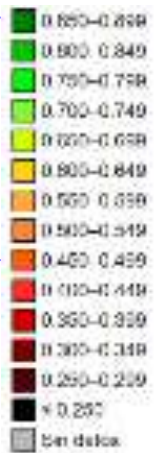
Dr Antonin Ponsich
Profesor lector

Presentación del grupo de investigación DOPS

- Métodos cuantitativos para resolver problemas de organización:
 - ❑ Modelos matemáticos de optimización
 - ❑ Simulación
 - ❑ Algoritmos heurísticos
 - ❑ Metaheurísticas, matheurísticas
 - ❑ Técnicas estadísticas
 - ❑ Decisión multicriterio
- Líneas de investigación:
 - ❑ Diseño de la Supply Chain
 - ❑ Dirección de operaciones
 - ❑ Distribución urbana y movilidad
 - ❑ Logística sanitaria
 - ❑ Economía circular i social
 - ❑ **Planificación energética con energías renovables**

Planificación energética con energías renovables

Evaluaciones de proyectos/planes de electrificación
 Diseño local multi-criterio
 Diseño regional



The Inequality-Adjusted Human Development Index, using data from the 2018 report.

Evaluación de proyectos de electrificación

Objetivo:

- Análisis multicriterio del impacto de los sistemas para incorporar nuevas funcionalidades en las herramientas de diseño.
 - Criterios: Técnico, económico, social, ambiental, institucional
 - De diseño, implementación y/o funcionamiento
 - Adaptados y particularizados a los proyectos y contextos

Sustainability Dimensions	Design Critería	Implementation Critería	
	Design	Intermediate Results	Final Results
Enviromental (E)	Communities fragile ecosys (E-1) Technological change (E-2) Emissions mitigation (E-3)	Communities fragile ecosys (E-1) Technological change (E-2)	Emissions mitigation (E-3)
Technical (I)	Adequacy (T-1)		Adequacy (T-1) Reliability (T-2)
Socioeconomic (SE)	Management model (SE-1) Rates sustainability (SE-2) Productivity (SE-3) Beneficiaries per phases (SE-4) Education (SE-5) Health (SE-6)	Management model (SE-1) Rates sustainability (SE-2) Beneficiaries per phases (SE-4)	Productivity (SE-3) Education & ICT (SE-5) Health (SE-6)
Institutional (I)	Institutional alignment (I-1) Economic sustainability (I-2) Program's influence in REI (I-3) Energy Equity (I-4)	Institutional alignment (I-1) Economic sustainability (I-2)	Program's influence in REI (I-3) Energy Equity (I-4)

Evaluación de proyectos de electrificación

Características:

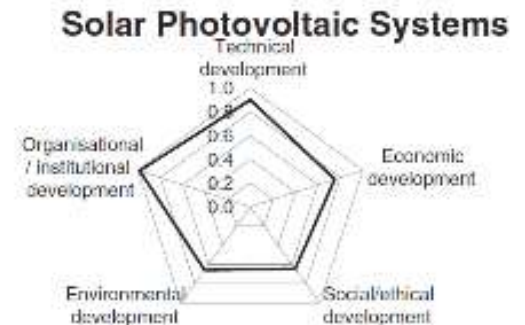
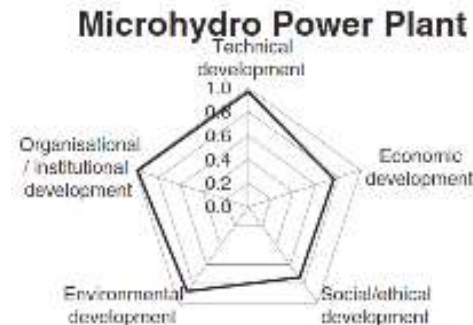
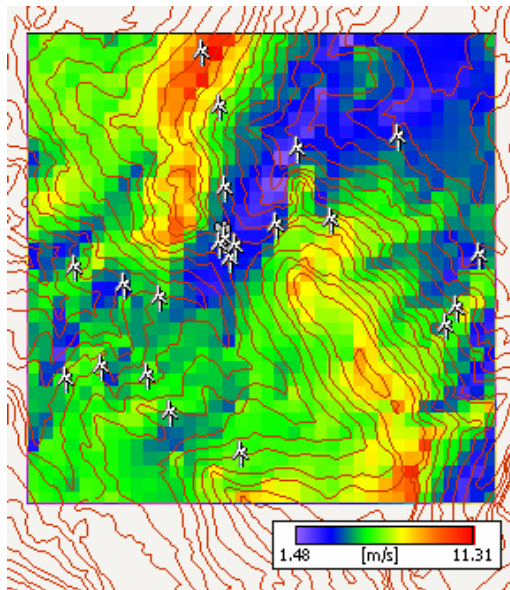
- Entrevistas, encuestas, focus group y análisis datos técnicos
- Funcionamiento técnico y de modelos de gestión
- Alcance: proyectos y planes de electrificación
- Valoraciones cualitativas y cuantitativas
- Actores: usuarios y promotores
- Desagregado por géneros



Evaluación de proyectos de electrificación

Resultados: Recomendaciones para futuros proyectos (ejemplos)

- Se debe analizar el balance entre microrredes y puntos individuales
 - Los sistemas individuales permiten un funcionamiento sencillo, aunque están más limitados.
 - Las microrredes promueven el desarrollo de las comunidades, permiten más flexibilidad de consumo y evitan desigualdades entre beneficiarios.
 - Es necesario realizar un análisis de recurso a microescala (sobre todo para sistemas individuales)
 - La tecnología adecuada depende del recurso y de la seguridad de suministro



Evaluación de proyectos de electrificación

Resultados: Recomendaciones para futuros proyectos (ejemplos)

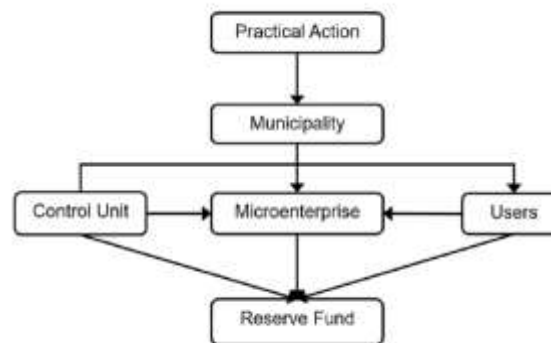
- Permitir el desarrollo de pequeñas actividades productivas es clave para el impacto al desarrollo y la apropiación de los sistemas
- Las mujeres se benefician especialmente
 - de la electrificación comunitaria (educación y salud)
 - y de la domiciliaria si la cantidad de energía no es muy limitada



Evaluación de proyectos de electrificación

Resultados: Recomendaciones para futuros proyectos (ejemplos)

- La mayoría de los fallos en los proyectos se deben
 - a problemas sociales entre usuarios
 - al incorrecto funcionamiento del modelo de gestión y mantenimiento
 - Incorrecto dimensionado de los sistemas (no cubren suficiente demanda)
- El modelo de gestión debe involucrar a todos los actores
 - Usuarios pagan una tarifa y participan del órgano de control
 - Participan en la construcción
 - La municipalidad es el dueño de los sistemas
 - La gestión pueden ser con empresas privadas (microempresas de la propia comunidad)



Practical Action: Implements the project

Municipality: Legal owner of the systems

Microenterprise: Operates and manages the systems

Users: Pay a monthly tariff

Control unit: supervises the microenterprise and users, and solves conflicts

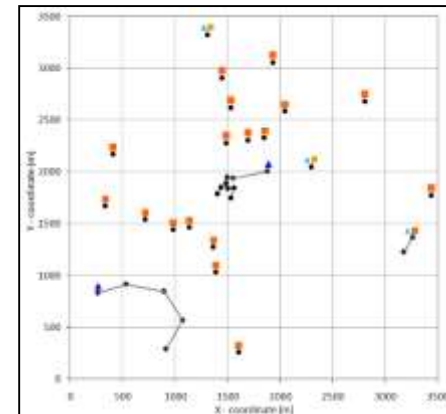
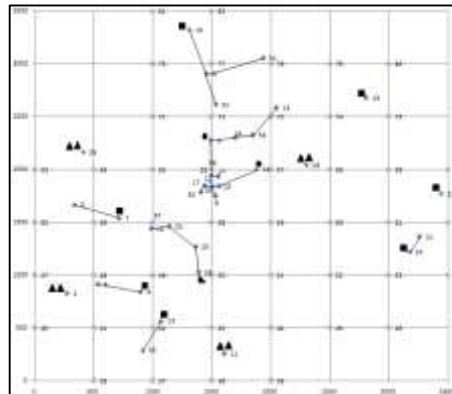
Reserve fund: Comes from the tariff collection

Diseño local multicriterio

Objetivos:

- Desarrollar modelos de optimización para diseñar proyectos, que:
 - **Decidan** el tamaño y la localización de los generadores (eólico, solar, hidro) y la distribución eléctrica (individual o microred)
 - **Consideren** la ubicación, demanda y recurso de cada punto de consumo
 - **Incorporen** restricciones de carácter social:
 - Estudiar los usos energéticos cubiertos
 - Facilitar la gestión de los sistemas (número y tamaño de microrredes)
 - Mejorar la Seguridad/equidad del suministro eléctrico
 - Otras: evitar robos, robustez frente averías

Example of rural community in Peru: Solutions depending total demand



Diseño local multicriterio

Herramientas:

■ Para el diseño de proyectos

- ❑ Modelos matemáticos de optimización lineal
- ❑ Algoritmos heurísticos y metaheurísticos
- ❑ Eso permite obtener un conjunto de soluciones posibles según los datos de partida y los condicionantes/restricciones considerados

■ Para la selección de la solución más adecuada

- ❑ Técnicas de resolución multicriterio (programación compromiso)
- ❑ Definición y ponderación de los criterios (AHP)
- ❑ Definición de la evaluación de las soluciones
- ❑ Consideración de la opinión de los usuarios y promotores (determinista y difuso/fuzzy)

Diseño local multicriterio

MICROGRID OPTIMIZER

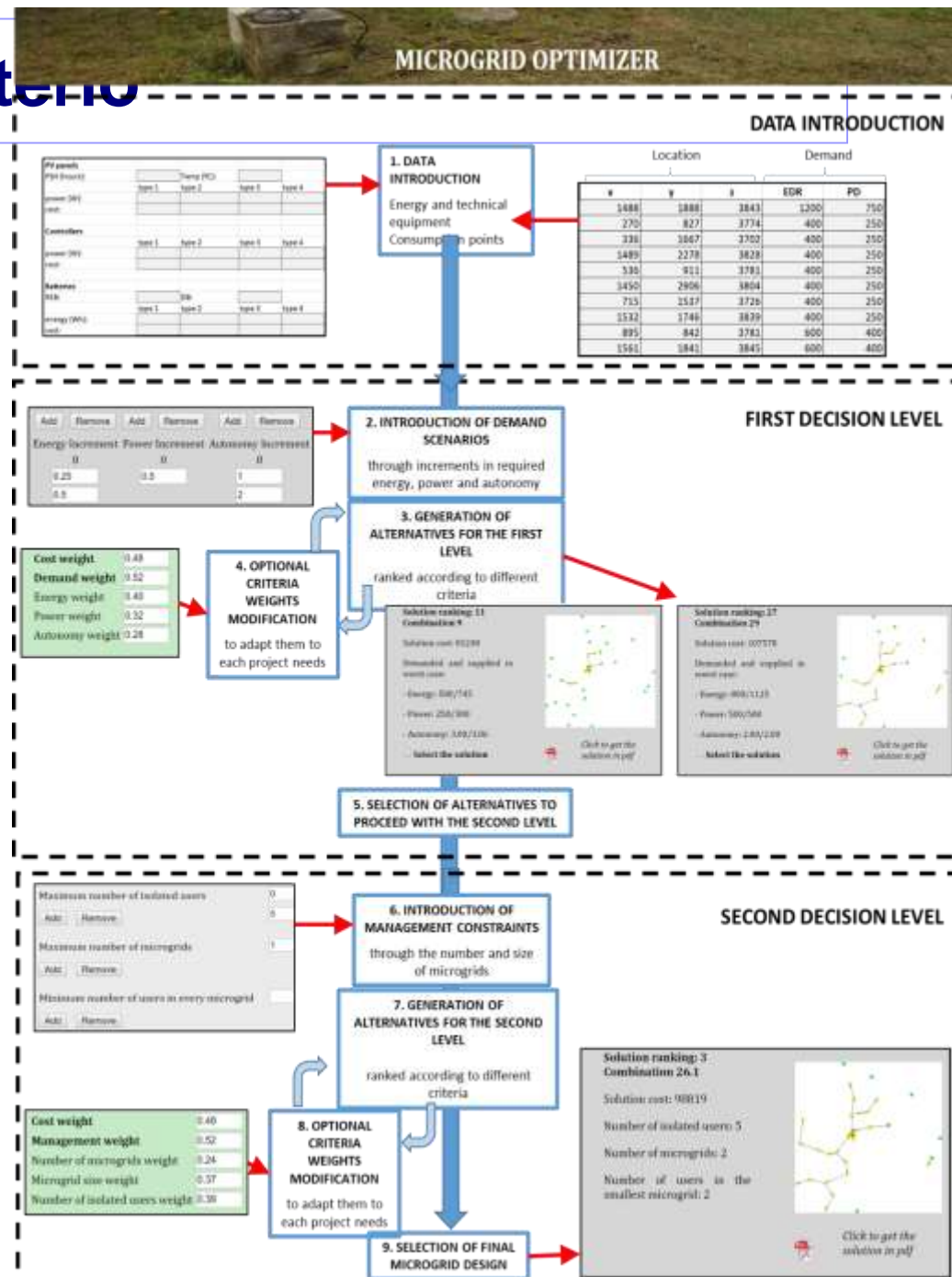
Objetivos:

Desarrollar herramientas multicriterio para seleccionar la mejor solución, que:

- **Incluya** criterios económicos, técnicos, sociales y ambientales
- **Faciliten** la interacción con los beneficiarios, promotores de los proyectos, expertos técnicos y sociales

Adaptar las herramientas desarrolladas a distintos contextos y países

<https://viking.upc.edu/>



Experiencia en Perú

■ Contrapartes



Ingeniería
Sense Fronteras



Green
Empowerment



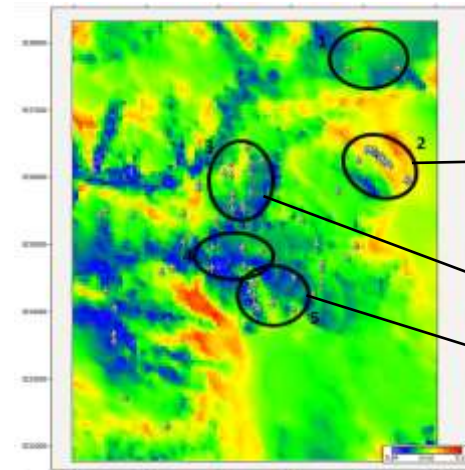
1.- El Alumbre
- Eólico individual
- Desigualdades en generación y consumo

2.- Campo Alegre
- Híbrido individual
- Sistemas sobredimensionados

Desarrollo de herramientas de mejora del diseño:

- Evaluación del recurso eólico
- Optimización del diseño considerando microredes
- Variaciones sociales
 - facilitar la gestión
 - mejorar la seguridad
- Selecciones multicriterio

3.- Alto Perú



Mapa de viento de Alto Perú

Parte Carretera
Microredes eólicas
Muy buen potencial
Proximidad entre casas

Zona Norte/ Sur
Solar individual
Conflictos entre vecinos
Bajo recurso eólico

Experiencia en Bolívia

■ Contrapartes



■ Turco y Challapata

- Eólico/solar individual

■ Para futuros proyectos, el uso de microredes permitiría:

- ❑ Mejorar la seguridad frente a averías sin incrementar el coste
- ❑ Evitar desigualdades sociales sin riesgos de robatorios y falta de mantenimiento

	Individual (actual)	Microred (1 tipus de aerog)		Microred (4 tipus de aerog)	
		Coste (\$)	Diferencia	Coste (\$)	Diferencia
Turco	19423	17862	-8,0%	16862	-13,2%
Challapata	14447	13886	-3,9%	13886	-3,9%

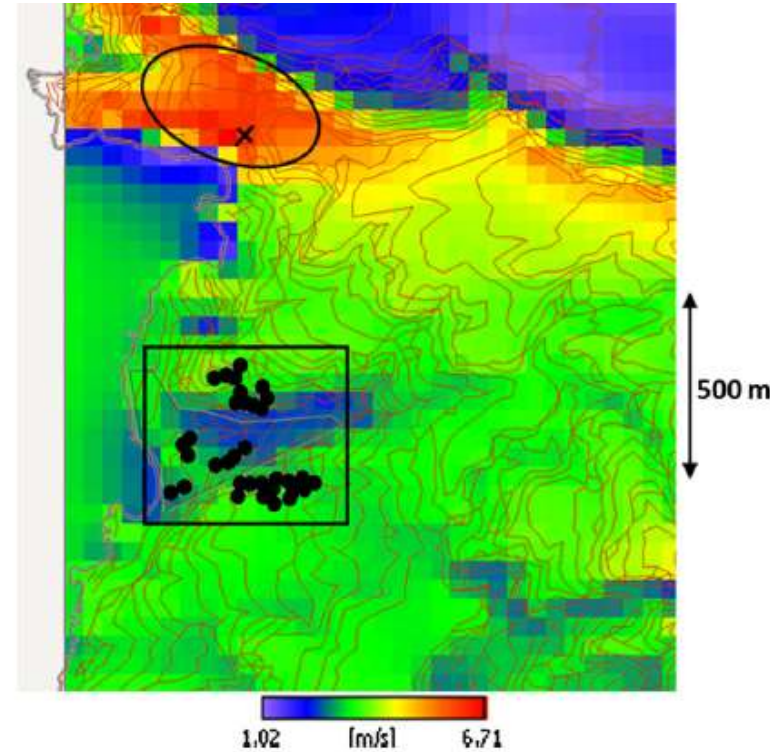
Experiencia en Cabo Verde

■ Contrapartes



ECOWAS CENTRE FOR
RENEWABLE ENERGY AND
ENERGY EFFICIENCY

- Evaluación de viento, propuesta de diseño de proyectos y de sustitución de generadores diésel por aerogeneradores

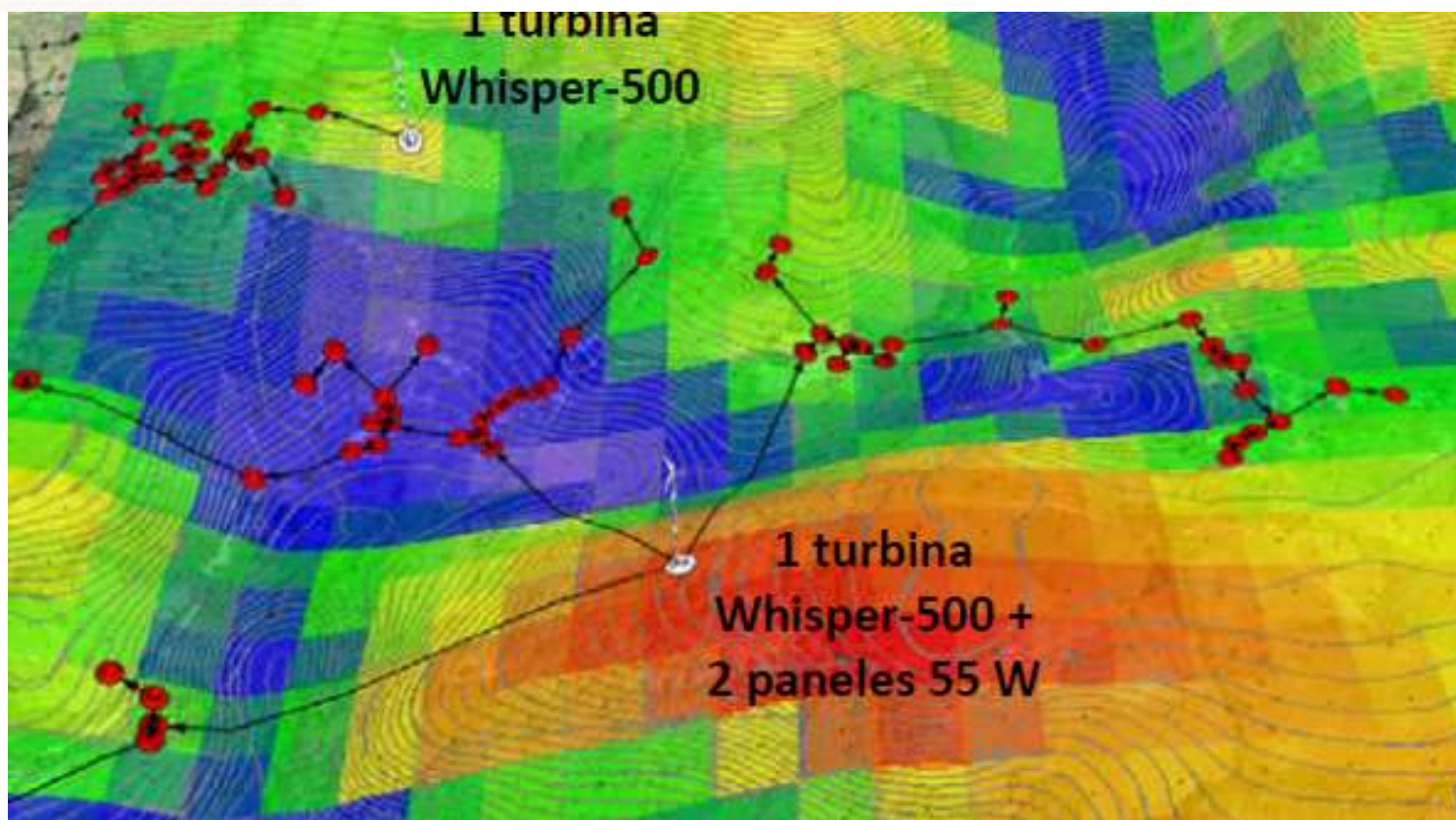


Experiencia en Nicaragua

- Contrapartes



- Propuesta de electrificación basada en paneles solares individuales, microredes solares y microredes eólicas

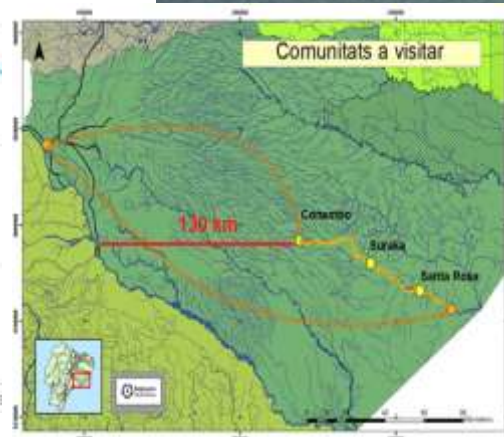
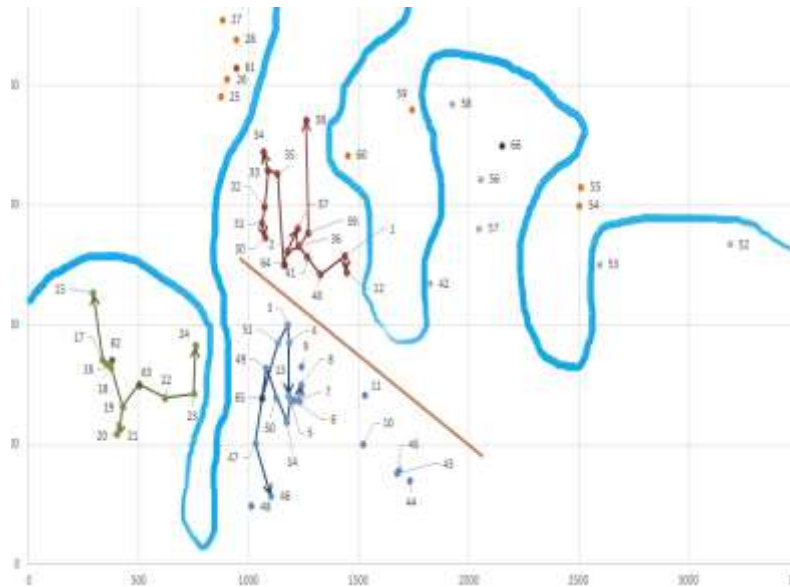


Experiencia en Ecuador

■ Contrapartes



- Participación en el proceso de electrificación de la selva amazónica
- Electrificación con paneles solares, para minimizar la tala de árboles
- Restricciones topográficas: ríos, pistas de aterrizaje



Diseño regional de la electrificación

Experiencia en la región de San Pablo

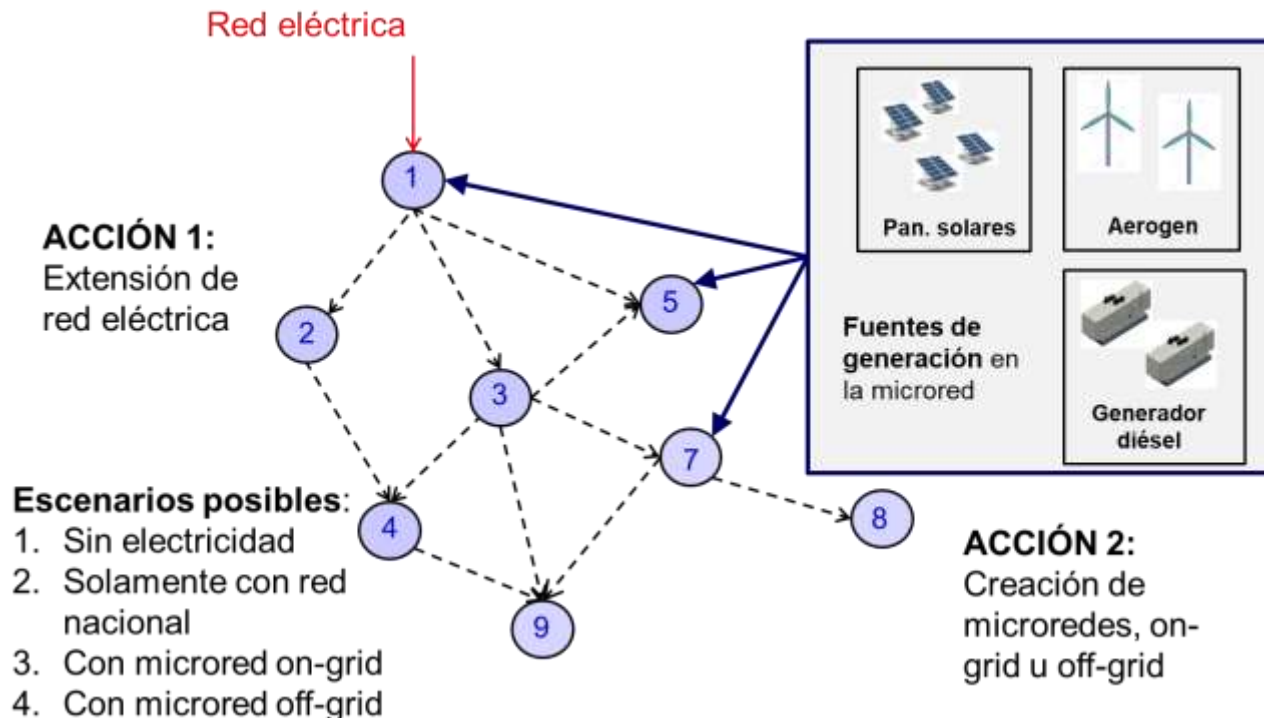
- Desde 2005 a 2013, Practical Action impulsó el plan de electrificación rural en la región de San Pablo:
 - Identificación de las comunidades y recogida de datos
 - Propuesta de tecnología a utilizar (en función del recurso energético disponible)
 - Priorización según la disponibilidad presupuestaria por tecnología



Diseño regional de la electrificación

Objetivo:

- Definir un plan temporal para ampliar la electrificación en una región
 - Considerar sistemas off-grid/on-grid y distintas fuentes de generación/distribución
 - Posibilidad de interconexión de microredes situadas en comunidades distintas
 - Utilizar procedimientos multi-criterio. Toma de decisiones en base a criterios económicos, técnicos, sociales, institucionales y ambientales



Diseño regional de la electrificación

Paso 1: Diseño local multicriterio

Dimensionado de los sistemas posibles en todas las comunidades:

- Considerando solo llegada de la red, microredes on-grid u off-grid
- Considerando todas las opciones de fuentes de generación de las microredes (por ej. sólo solar, solar y eólica, solar y diésel, etc.)

Paso 2: Evaluación multicriterio de proyectos

Cálculo de índices multicriterio para evaluar la satisfacción de cada comunidad con cada sistema

Paso 3: Propuesta de diseño regional

Optimización de las acciones de electrificación a lo largo de fases temporales

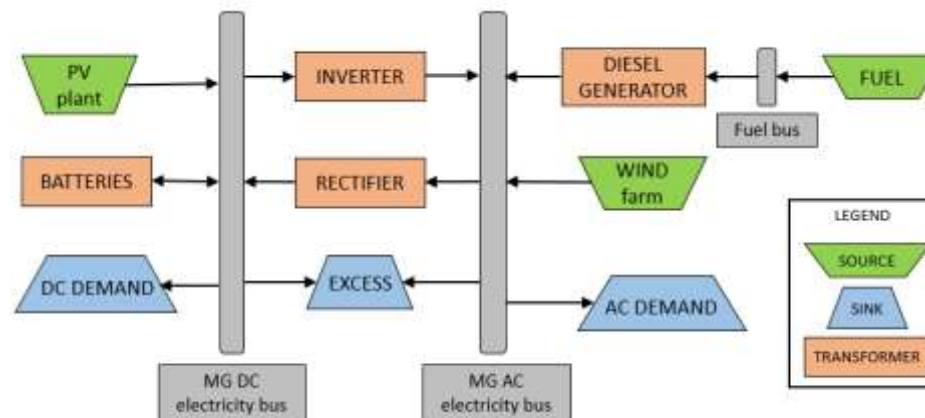
- Con el objetivo de maximizar la satisfacción de la región,
- Considerando el presupuesto disponible en cada fase

Diseño regional de la electrificación

Paso 1: Dimensionado de los sistemas posibles en todas las comunidades

- Representación de un sistema con microred off-grid (no hay red nacional) y que considera energía solar, eólica y generadores diésel. Se requiere:
 - datos técnicos y económicos de los equipos (placas, aerogeneradores, etc.)
 - Ubicación de cada comunidad
 - Demanda de cada comunidad y perfiles de demanda
 - Potencial solar y eólico
 - Encuestas a técnicos y promotores y usuarios
- Se obtiene las potencias a instalar de cada equipo y los costes asociados

$$\begin{aligned} & [min] \text{coste} \\ & = \sum \text{costes inversión} \\ & + \sum \text{costes operación} \\ & + \sum \text{costes de consumo} \end{aligned}$$

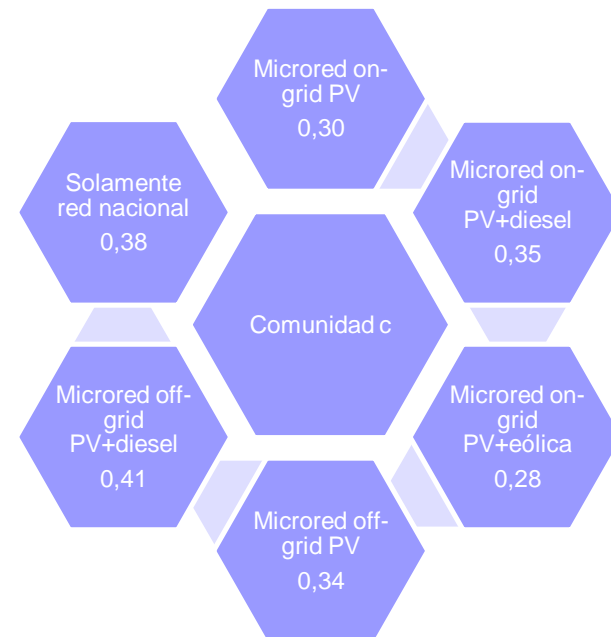


Diseño regional de la electrificación

Paso 2: Cálculo de índices multicriterio para evaluar la satisfacción de cada comunidad con cada sistema

- Cada sistema posible tiene asociado un índice multicriterio, indicativo de la satisfacción de la comunidad con el sistema.

Dimensiones	Criterios
Económica	Desembolso inicial
	Costes de operación y mantenimiento
Técnica	Autonomía del sistema
	Cumplimiento total de demanda
	Fiabilidad de las opciones de generación
	Fallos de equipos
Socio-institucional	Tarifa de la electricidad
	Aceptación de los usuarios
	Alineación institucional
Ambiental	Emisiones de CO ₂
	Impacto ambiental a la población
	Residuos de componentes

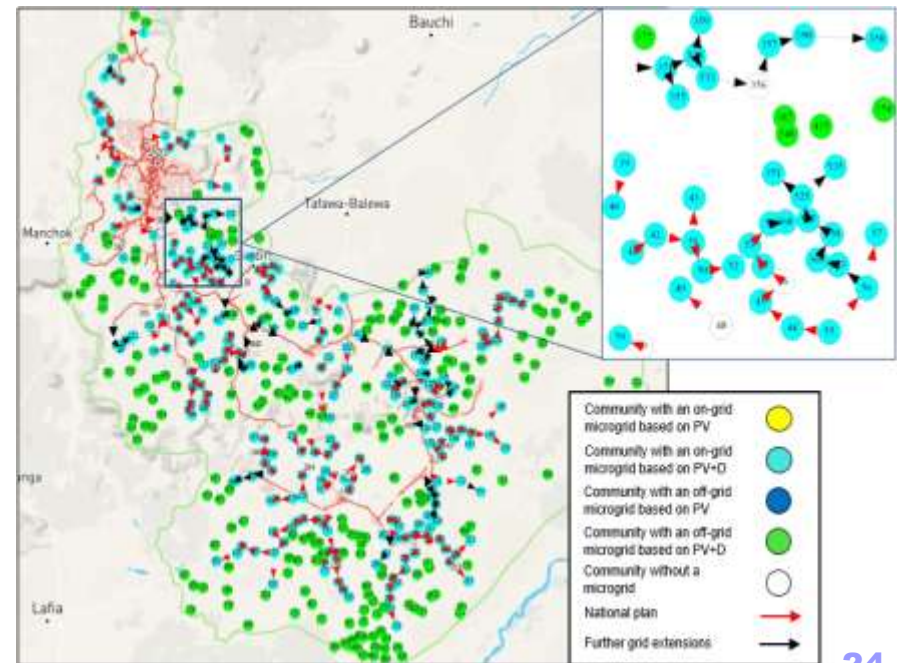
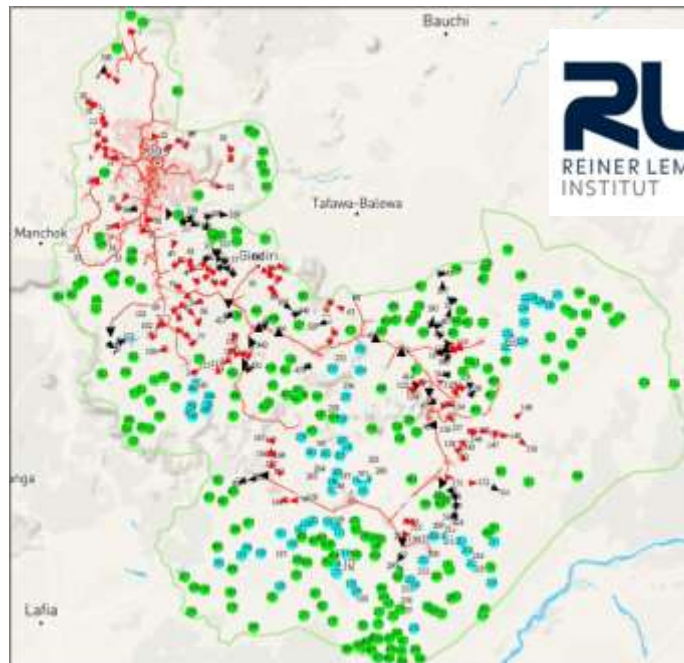


- Se calculan los índices mediante el método de clasificación compromiso (cálculo de la distancia de cada alternativa a una solución ideal óptima para todos los criterios)

Diseño regional de la electrificación

Paso 3: Optimización de las acciones de electrificación a lo largo de fases temporales

- Se maximiza la satisfacción global de la región (demanda cubierta ponderada por los índices multicriterio)
- Se respeta el presupuesto disponible para desembolso inicial
- Ejemplo: estado de Plateau (Nigeria)
 - Tres fases de electrificación, energía solar, con distintos tipos de microred, y extensión de red eléctrica



Muchas gracias por su atención

**Grupo de Investigación en
Diseño y Optimización de Procesos y Servicios (DOPS)**

Planificación energética con energías renovables

Barcelona, 20 de abril de 2023



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**