



# Gestión de Recursos de Demanda bajo el Paradigma de Smart Grid

Mercados Eléctricos - MMEE

Sebastián Montes de Oca

Universidad de la República del Uruguay

Noviembre 2023

- 1 Objetivos
- 2 Introducción - Escenario Futuro
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes
- 5 Sistema Eléctrico - contexto
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales
- 7 Ejemplos

- 1 Objetivos
- 2 Introducción - Escenario Futuro
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes
- 5 Sistema Eléctrico - contexto
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales
- 7 Ejemplos

## Objetivo General

Aplicar las TICs para facilitar la transición hacia un sistema energético más limpio

## Objetivos Específicos

- ▶ Las TICs y la Digitalización en el SS.EE.
- ▶ Flexibilidad de la demanda - Agregadores como intermediarios
- ▶ ¿Cómo acoplar el transporte y el SS.EE. en forma eficiente?

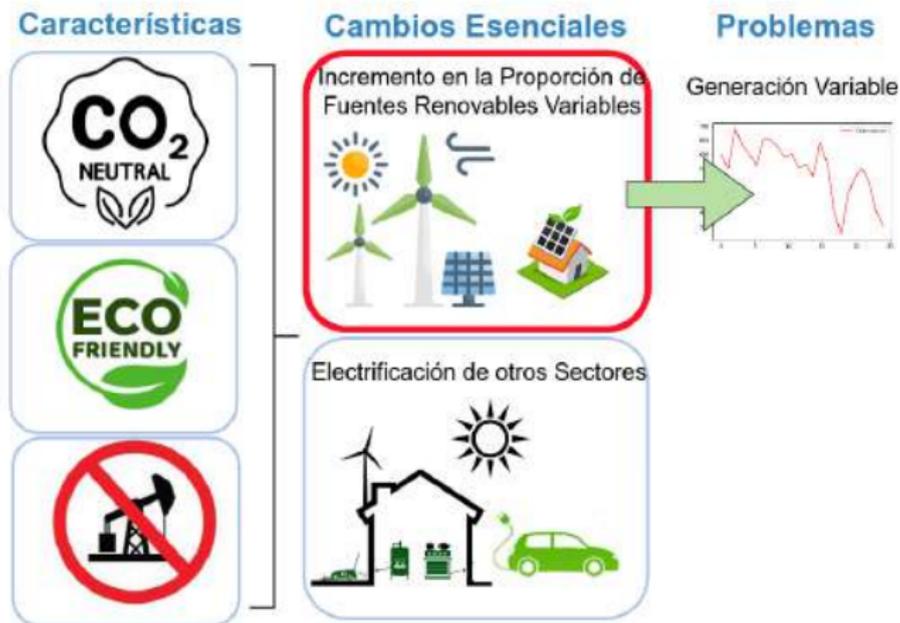
## Alcance

- ▶ No se realiza un estudio del mercado
- ▶ No se hace validación económico

- 1 Objetivos
- 2 **Introducción - Escenario Futuro**  
**Sistema con Fuentes Variables**
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes
- 5 Sistema Eléctrico - contexto
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales
- 7 Ejemplos

## 2 Sistema Energético del Futuro

| 5



## 2 Fuentes de Generación Renovables Variables

| 6

La base de funcionamiento del SS.EE. es el balance (en diferentes escalas de tiempo) entre lo que se genera (o planifica generar) y lo que se consume (o se espera consumir).

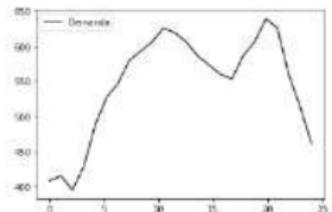
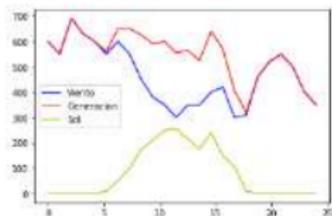
### Paradigma Tradicional

**GENERACIÓN** → **DEMANDA**

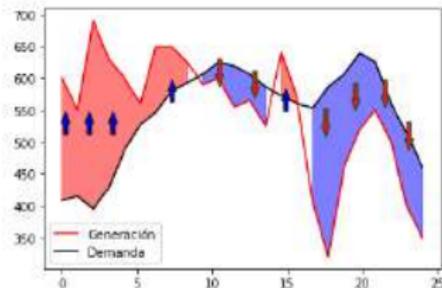


### Nuevo Paradigma

**GENERACIÓN** ← **DEMANDA**

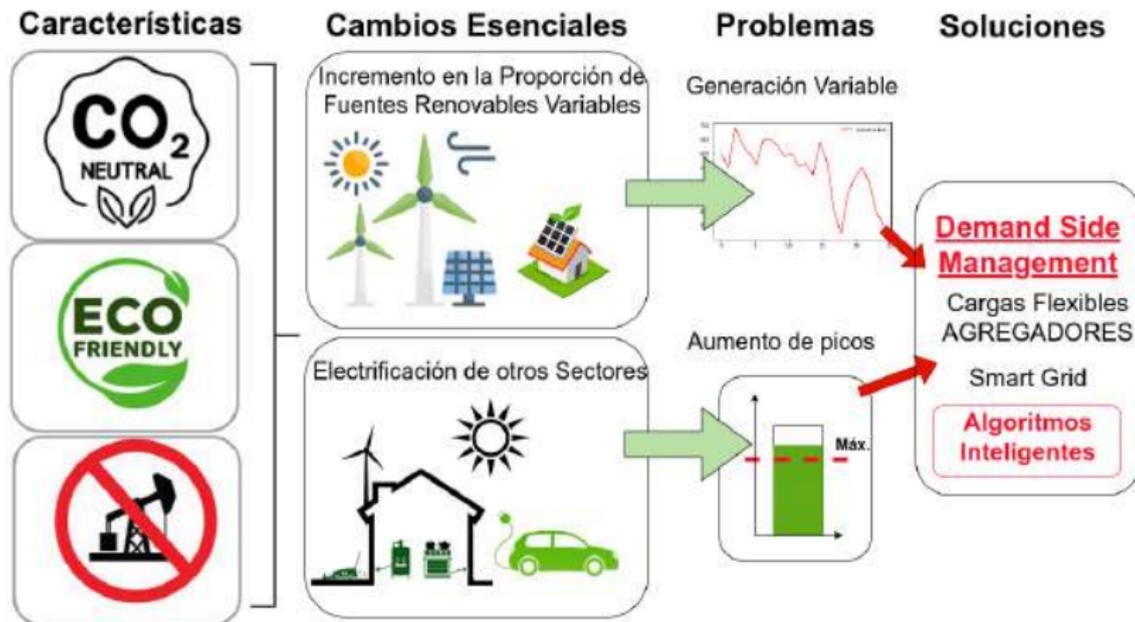


### DSM



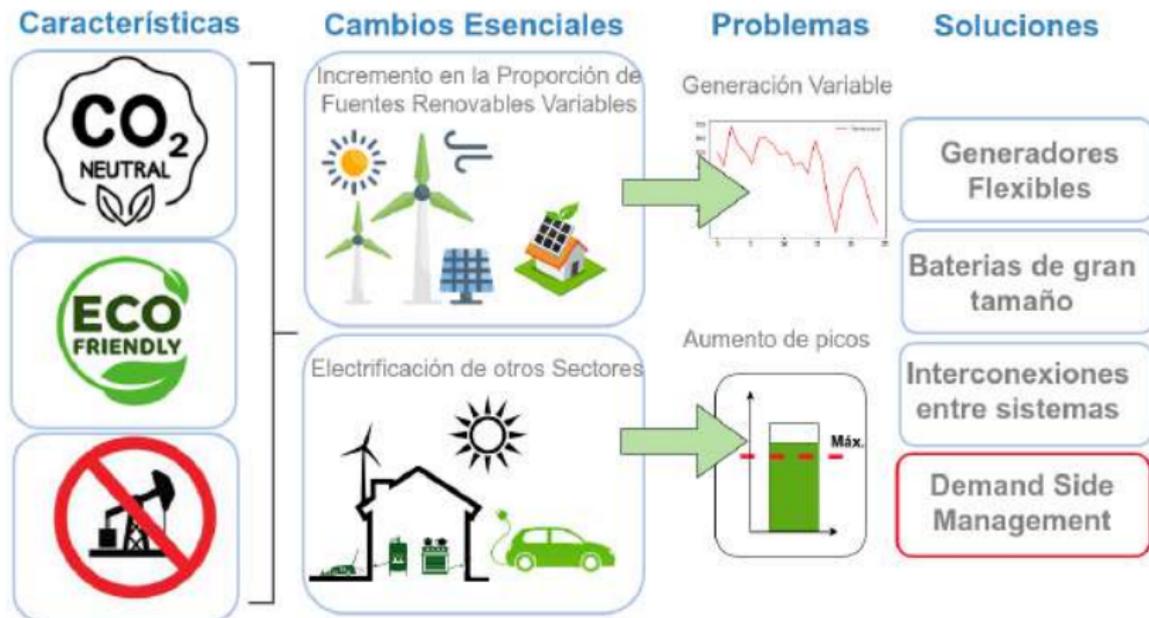
## 2 Necesidad de Flexibilidad

| 7



## 2 Necesidad de Flexibilidad

| 7



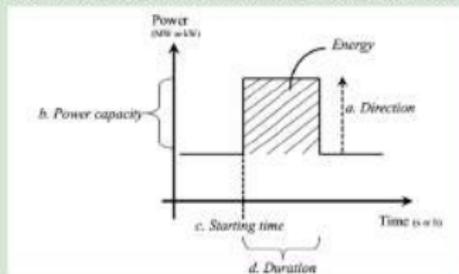
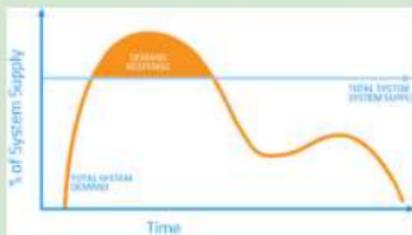
- 1 Objetivos
- 2 Introducción - Escenario Futuro
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.**
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes
- 5 Sistema Eléctrico - contexto
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales
- 7 Ejemplos

**Definición:**

Se relaciona con la habilidad del sistema eléctrico para adaptarse a los cambios.

## ¿Porqué incorporar Flexibilidad en el sistema?

- Incremento en la volatilidad y la incertidumbre de generación
- Operación y Planificación: más cerca de los límites del sistema



<sup>1</sup>Flexibilidad en el SSEE Agencia IRENA

#### La Flexibilidad debe ser considerada como:



Desde el punto de vista del Sistema completo (mantener el balance)

Desde una perspectiva Local (Mantener la calidad en la entrega del servicio)

---

Necesidades de **Operación y Planificación**: requiere diferentes escalas de tiempo

Fracciones de **segundo**  
ej. Estabilidad de frecuencia

**minutos/horas**  
ej. redes de distribución, despacho  
de generadores

**Meses/ Años**  
ej. Planificación de la red,  
generación de incentivos

---

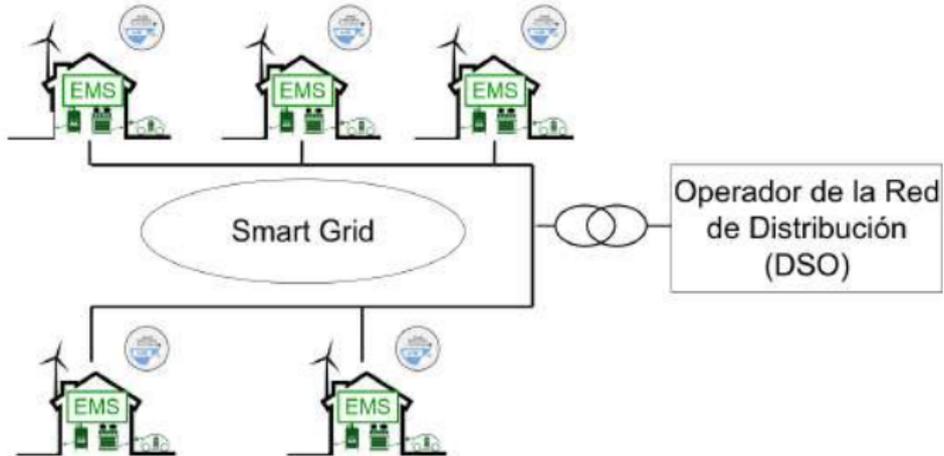
<sup>2</sup>Ejemplos de costos y perspectivas por tecnología  
<https://www.irena.org/Energy-Transition/Planning/Flexibility>

- 1 Objetivos
- 2 Introducción - Escenario Futuro
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes**
- 5 Sistema Eléctrico - contexto
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales
- 7 Ejemplos

## 4 ¿Qué son las Redes Inteligentes o *Smart Grids*?

### Smart Grid = Red Distribución + Digitalización y TICs

Las *smart grids* en inglés, se refieren a sistemas eléctricos que incorporan las TICs para mejorar la eficiencia, confiabilidad, sostenibilidad y flexibilidad de la infraestructura eléctrica. Estas redes permiten la integración de diversas fuentes de energía, la gestión bidireccional de la electricidad (producción y consumo), la detección y respuesta a fallos en tiempo real, así como la optimización de la operación a través del monitoreo y control automatizado<sup>3</sup>.



<sup>3</sup>Nuevas Oportunidades y Mercados: <https://www.iea.org/reports/unlocking-smart-grid-opportunities-in-emerging-markets-and-developing-economies>

## 4 Usuario Final-Gestión del Consumo

| 13

### Nueva Tecnología Disponible

- ▶ Paneles Solares
- ▶ Sistemas de Baterías
- ▶ Vehículos Eléctricos (EVs)
- ▶ *Smart Loads* (Cargas Flexibles)

### Energy Management System



### Basado en Reglas

- ▶ Fácil de implementar
- ▶ Sencillo para el usuario
- ▶ Real-Time

### Basado Planificación

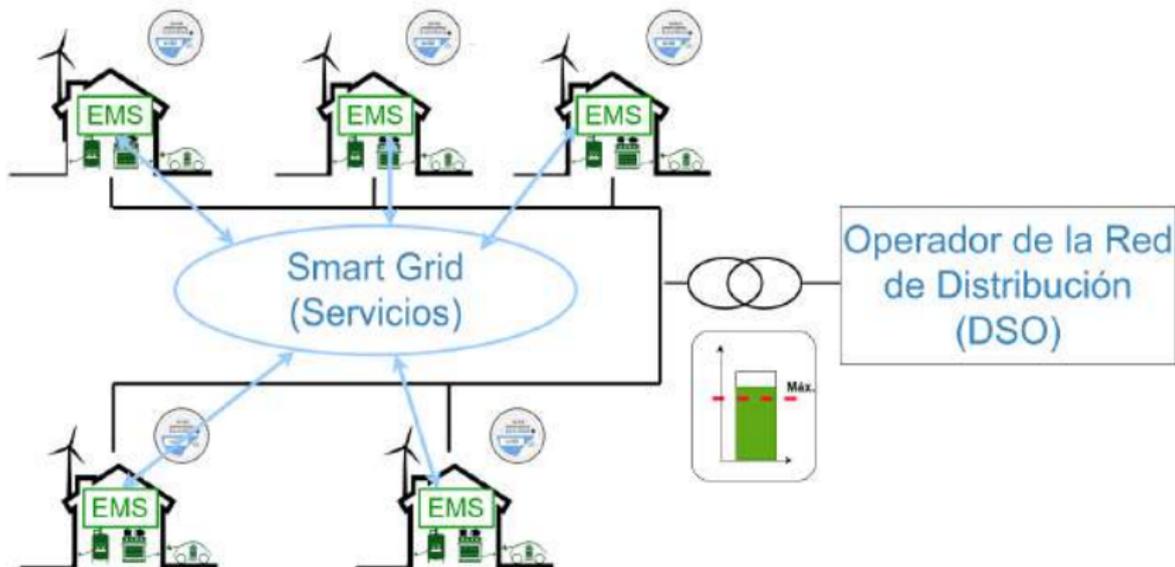
- ▶ Basado en modelos
- ▶ Planificación eficiente
- ▶ Optimización



Un Energy Management Service (EMS) se refiere a una solución que ayuda a los usuarios residenciales y comerciales a gestionar y optimizar el consumo de energía en sus instalaciones. Estos servicios suelen utilizar tecnologías digitales y sistemas de monitoreo para proporcionar información detallada sobre el uso de la energía, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas y planificadas para reducir costos y mejorar la eficiencia de consumo.

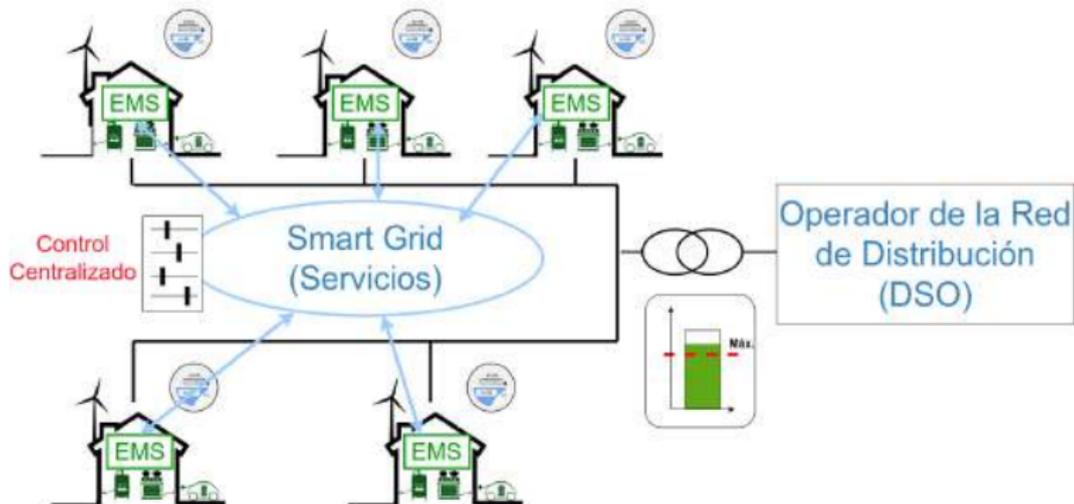
## 4 ¿Qué son las Redes Inteligentes o *Smart Grids*?

| 15



## 4 ¿Qué son las Redes Inteligentes o *Smart Grids*?

| 16

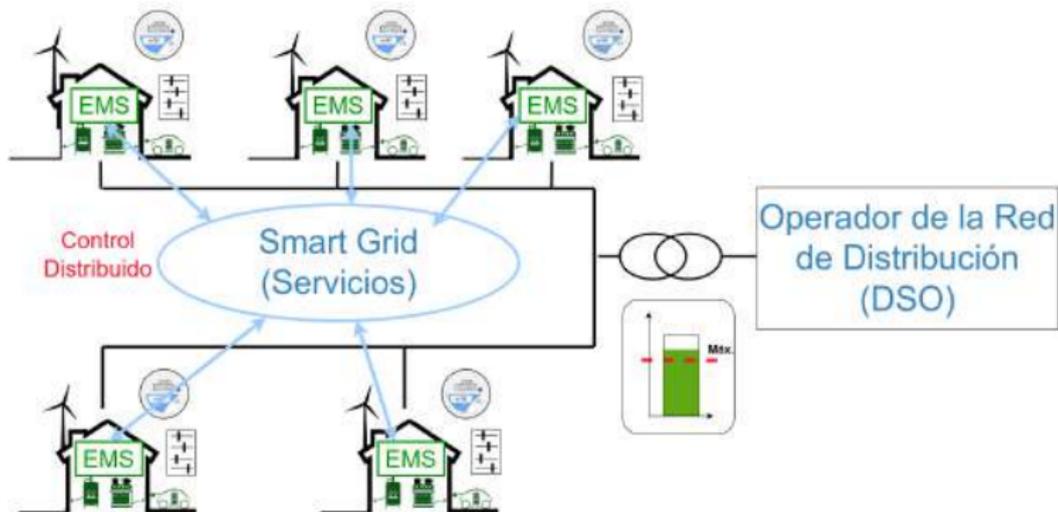


### Sistema de Control Centralizado

En un sistema de control centralizado, todas las decisiones de control y gestión de consumo se toman desde una ubicación central, generalmente por parte del operador del sistema. Este operador emite directrices y comandos a los diversos agentes o usuarios, quienes ejecutan las acciones indicadas sin autonomía para tomar decisiones independientes. La comunicación fluye de manera unidireccional, con el operador dictando las pautas de operación sin recibir retroalimentación directa de los agentes.

## 4 ¿Qué son las Redes Inteligentes o *Smart Grids*?

| 17



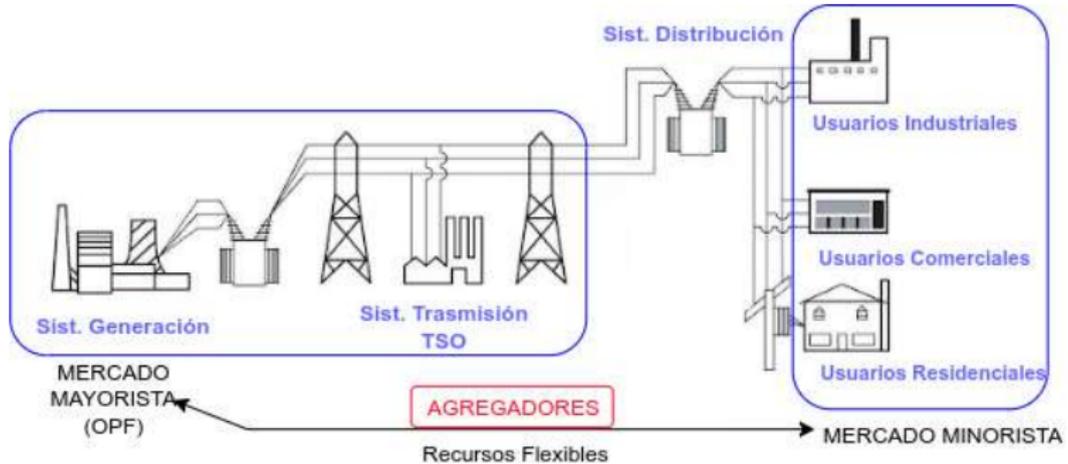
### Sistema de Control Descentralizado

En un sistema de control distribuido, cada agente o usuario toma decisiones autónomas en relación con su control y consumo. Estas decisiones se basan en señales de control, como precios o puntos de operación, enviadas por el operador del sistema. Los agentes pueden, a su vez, responder proporcionando información relevante en función de estas señales (ej, consumo planificado o la aceptación de una oferta).

- 1 Objetivos
- 2 Introducción - Escenario Futuro
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes
- 5 Sistema Eléctrico - contexto  
OPF en Distribución**
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales
- 7 Ejemplos

## 5 Sistema Eléctrico (SS.EE.)

| 19



### Participación Pasiva

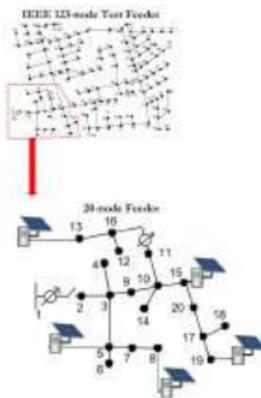
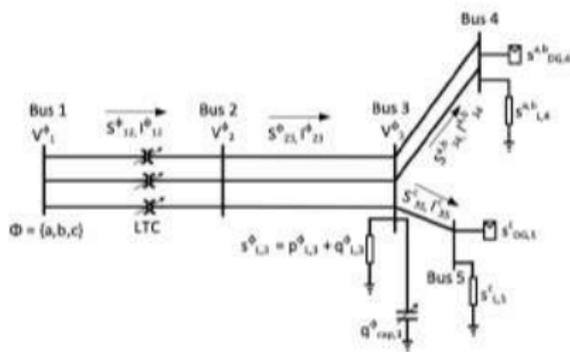
- Time of Use
- Critical Peak Pricing
- Day Ahead Prices
- Real Time Prices

### Part. Activa (compromiso)

- Mercado Mayorista
- Servicios de Red
- Control Centralizado
- Reducción Voluntaria

### Definición OPF

Despacho Económico + Restricciones de Red



### Flujo de carga Óptimo

El Optimal Power Flow (OPF) se refiere a un problema matemático en el campo de la ingeniería eléctrica que busca optimizar la distribución de potencia en un sistema de energía eléctrica, teniendo en cuenta variables como la generación, la demanda y las restricciones operativas, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la confiabilidad del sistema.

## 5 Optimización de los Recursos del Sistema

| 21

Problema: Optimizar los Recursos en el Sistema

Enfoque anterior: Operador de Red (DSO-Utility) + Usuarios Finales

Nueva Hipótesis<sup>4</sup>: Agentes Involucrados

Operador de Red (DSO-Utility) + Varios Agregadores + Usuarios Finales

### PROBLEMA DE PLANIFICACIÓN

Problema Global para la  
Sociedad  
(Optimizar Recursos)



Objetivo: separar operación de la red y servicios eléctricos

Problema distribuido

¿Señales de Control?

PRECIOS

<sup>4</sup>Demand Side Management: Optimal Demand Response in Distribution Networks With Several Energy Retail Companies, Eng. Sustain. Bldgs. Cities. 2020

### Objetivos

Optimizar recursos y preservar la privacidad de la información



### Nuevas Tecnologías

- ▶ Generadores Distribuidos
- ▶ Datos en tiempo real
- ▶ Gemelos digitales y AI
- ▶ Nuevo paradigma del usuario

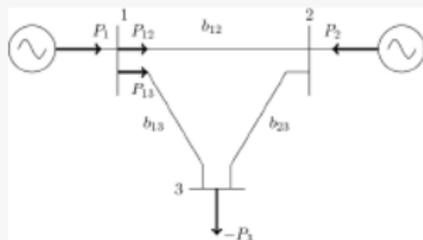
### DSO y Cambio de Paradigma

Redes Activas ↔ OPF distribución

### Definición OPF

Despacho Económico + Restricciones de Red

### Modelo



$$\min \sum C_g(P_g) + C_{RED}(s)$$

$$s.t. \quad h(s) = 0 \quad \text{Balance de potencia}$$

$$g(s) \leq 0 \quad \text{Restricciones de Red}$$

$$P^{max} \leq P_g \leq P^{max}$$

### Problemas

- ▶ No Convexo, NP-Hard

### Sol. tradicional (Trasmisión)

- ▶ Aproximación lineal
- ▶ No sirve en Dist.

### Propuesta Distribución

- ▶ DistFlow
- ▶ Relajación Convexa
- ▶ Topología Radial

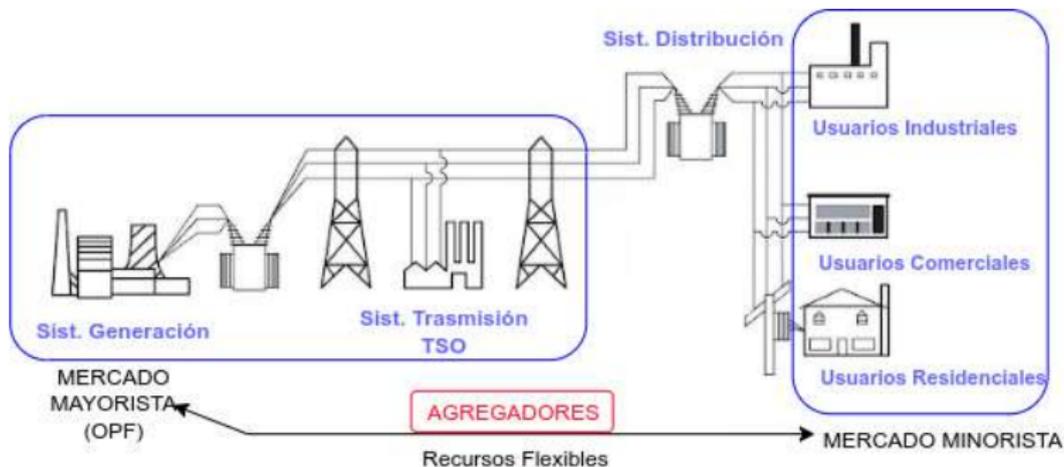
### Posibles funciones de Costo del DSO

- ▶ Minimizar Pérdidas
- ▶ Minimizar recorte de PV
- ▶ Maximizar desviaciones de V
- ▶ Aplanar curva de demanda

Consideramos una función de costos Convexa

### Variable de optimización del DSO

$$s = (s_0, V, I, P_{ij}, Q_{ij})$$



¿Un **Agregador** (Utility) o Varios? ¿Cuántos?

### Participación Pasiva

- Time of Use
- Critical Peak Pricing
- Day Ahead Prices
- Real Time Prices

### Part. Activa (compromiso)

- Mercado Mayorista
- Servicios de Red
- Control Centralizado
- Reducción Voluntaria

- 1 Objetivos
- 2 Introducción - Escenario Futuro
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes
- 5 Sistema Eléctrico - contexto
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales**
- 7 Ejemplos

## Sistema Trasmisión



## Sistema de Distribución

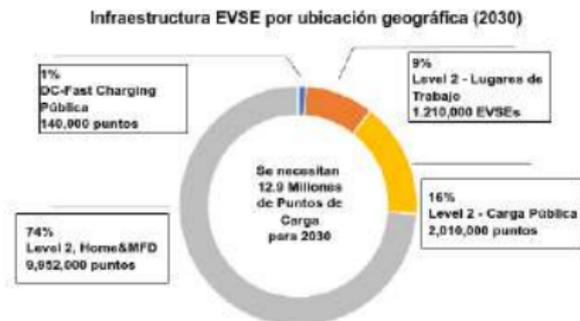
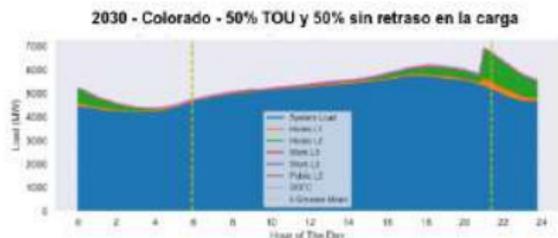


Figure: Source: Bloomberg New Energy Finance

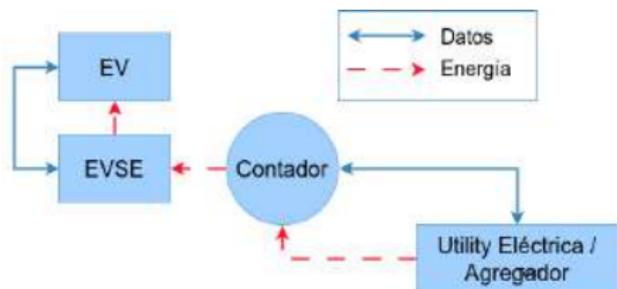
## Flexibilidad



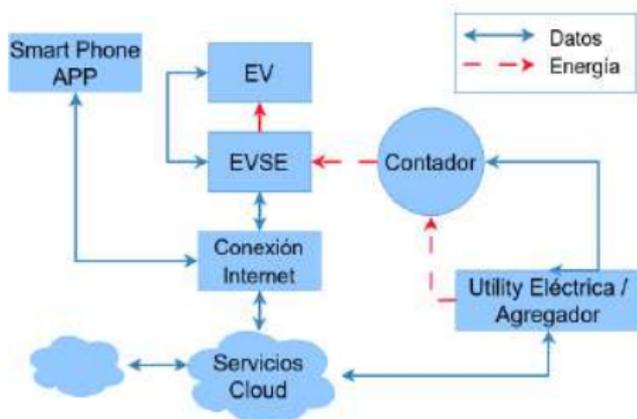
## Problemas



## 6 Plataformas Digitales Equipos Residenciales



**Cargadores NO conectados en red,** se comunican con el EV al conectarse, pueden ser programados off-line.



**Cargadores conectados en red,** permite a las estaciones de carga o al cliente ajustar el perfil de carga basado en precio o señales de control. Conectividad permite a Agregadores utilizar datos para optimizar la carga de múltiples estaciones.



### Usuarios Finales

- ▶ 50 Usuarios Residenciales
- ▶ Residenciales
  - > Propietarios del EVSE
  - > 40 km diarios

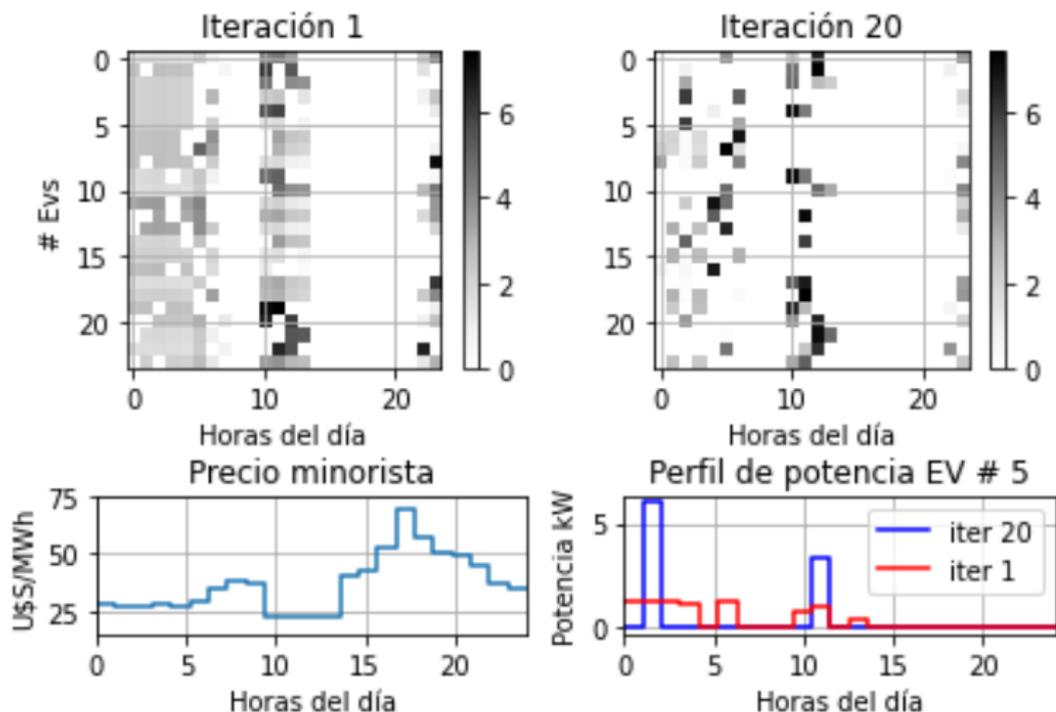
### Agregadores

- ▶ Participa mercado planificación (DAM)
- ▶ Compra de paquetes de energía renovables

### Objetivo

El objetivo es poder compartir la infraestructura de carga (potencia de la instalación) entre los usuarios, cumpliendo sus restricciones de carga y haciendo uso de la flexibilidad temporal.

## 6 Resultados para la flota de EVs



## 6 EVs Residenciales distribuidos en la Ciudad

| 32

### Motivación

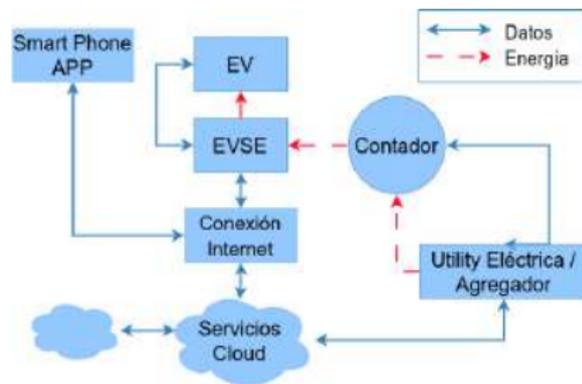
- ▶ Escalar cantidad de EVs
- ▶ Absorber exceso de renovables

### Problemas

- ▶ Ofertas Mercado Mayorista (MW)
- ▶ Orden de convergencia (msg)
- ▶ Sincronismo iteraciones

### Propuestas

- ▶ Modelos de Optimización de gran escala
- ▶ Modelos estocásticos



- 1 Objetivos
- 2 Introducción - Escenario Futuro
- 3 Flexibilidad en el SS.EE.
- 4 Digitalización - Redes Inteligentes
- 5 Sistema Eléctrico - contexto
- 6 Agregadores de EVs Residenciales y Comerciales
- 7 Ejemplos

## Necesidad Energética de los Data Centers

La madurez de la tecnología de virtualización en la nube y los modelos de inteligencia artificial con miles de millones de parámetros conllevan un consumo significativo de energía. Esto ha resultado en que los centros de datos representen aproximadamente entre el 3% y el 5% del consumo total de energía a nivel mundial<sup>5</sup>.

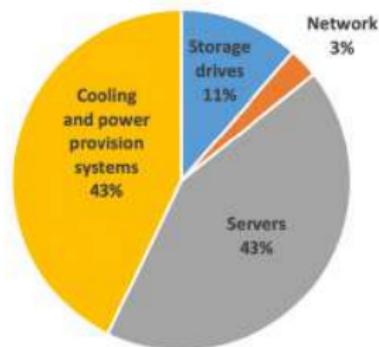
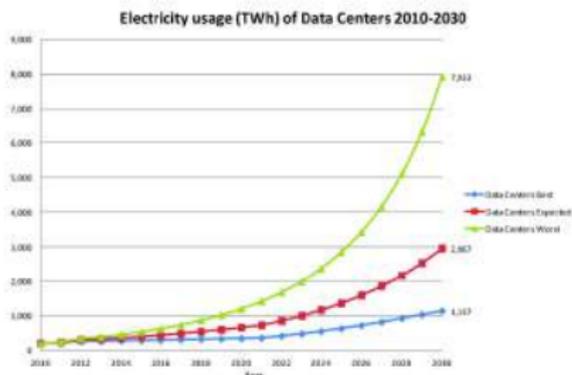
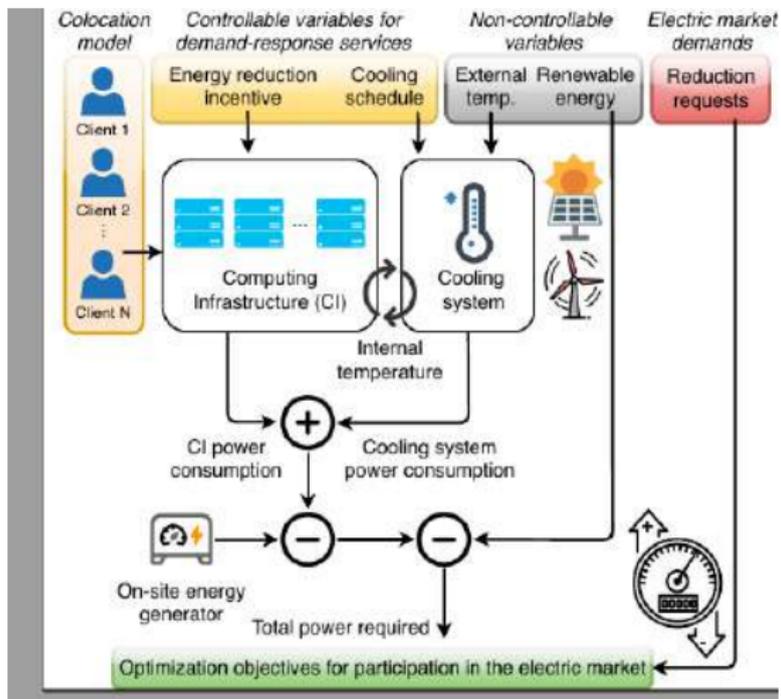


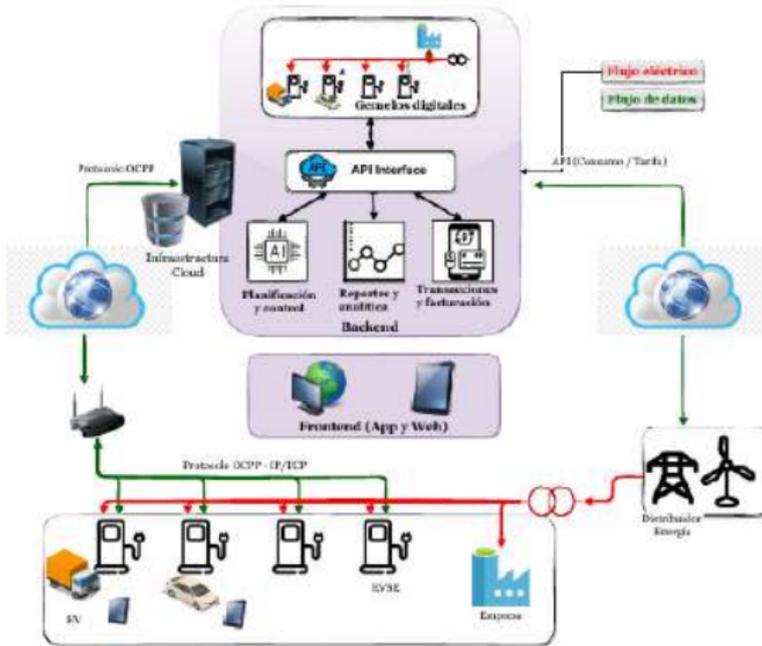
Figure 1. Fraction of U.S. data center electricity use in 2014, by end use. Source: Shehabi 2016.

<sup>5</sup>Referencia: Negotiation Approach for the Participation of Datacenters and Supercomputing Facilities in Smart Electricity Markets, December 2020, journal: Programming and Computer Software

## 7 Green Datacenter

| 35





Referencia: Z. Lee, G. Lee, T. Lee, C. Jin, R. Lee, Z. Low, D. Chang, C. Ortega, S. H. Low. Adaptive Charging Networks: A Framework for Smart Electric Vehicle Charging, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(5):4339-4350, September 2021

### Escenario de simulación

Batería 100kWh - 200kms

Cargador L2

Sesiones de 100kms/día

Arribo 07pm y partida 07 am

Flota 11 Camiones

Capacidad planta 100 kW

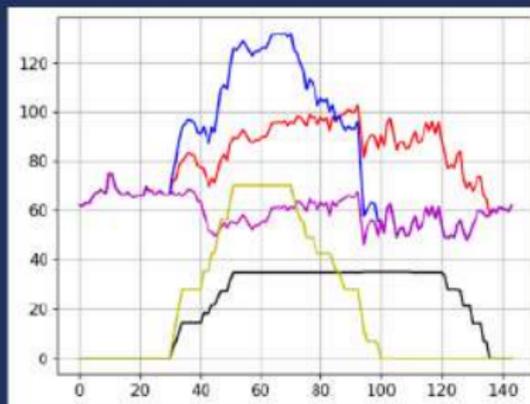


### Escenario de simulación

Smart Charge Vs Uncontrolled

Peak limit 100 kW

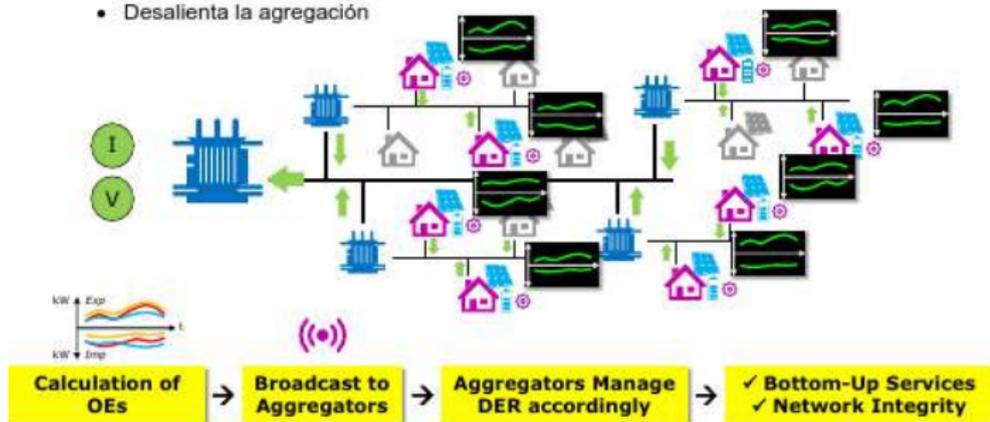
Consumo Medio de la planta



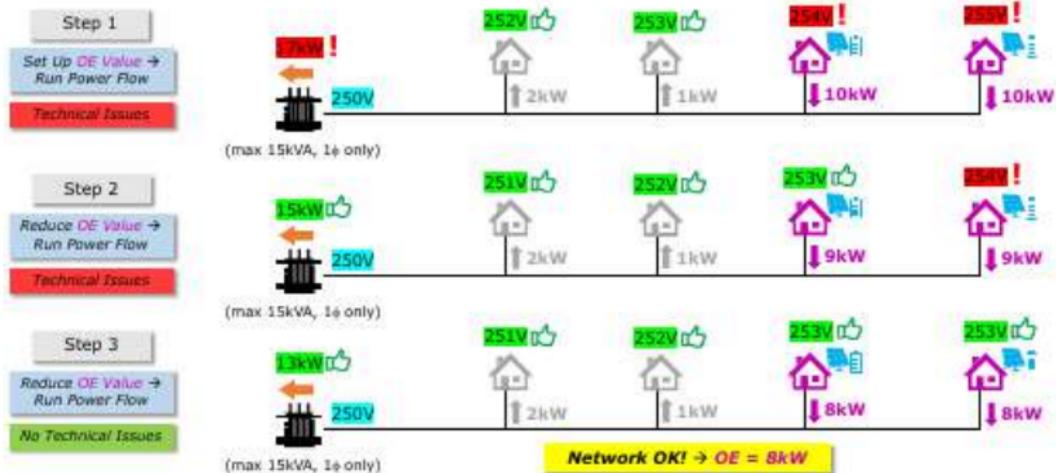
## Feed-in de solar distribuida

### Caso de Australia

- Alta penetración de PV residencial
- Standard Offer 5 kV o menos
- Problemas: limita la penetración de PV, poco atractivos
- Desalienta la agregación



## 7 PV residencial



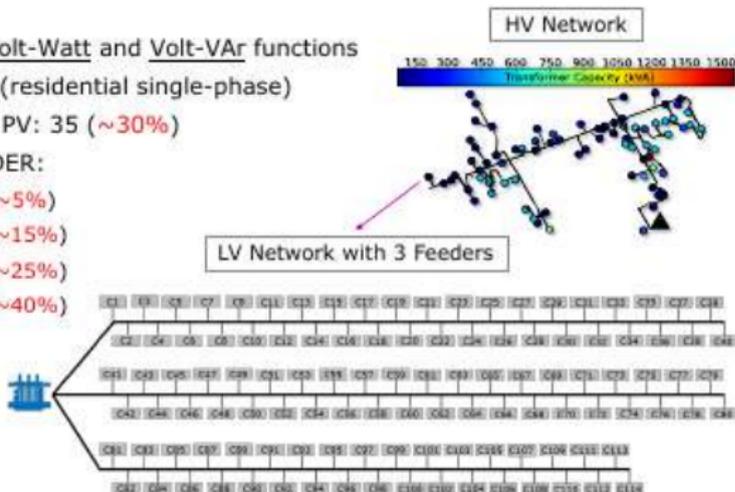
## Feed-in de solar distribuida

### Caso de estudio - 4 escenarios

- Use of off-LTC taps, Volt-Watt and Volt-VAr functions
- Total customers: 114 (residential single-phase)
- Passive customers w/ PV: 35 (~30%)
- Active customers w/ DER:
  - Scenario 1 (S1): 5 (~5%)
  - Scenario 2 (S2): 16 (~15%)
  - Scenario 3 (S3): 28 (~25%)
  - Scenario 4 (S4): 45 (~40%)

**Methods Investigated**

- Fixed Exports (1.5kW)
- Asset Capacity OE
- AC\_CrV OE
- AC\_VV OE
- ... compared to Ideal OE



Referencia: Liu, Michael, Ochoa, Luis(Nando), Wong, Peter, Theunissen, John. (2022). Using OPF-Based Operating Envelopes to Facilitate Residential DER Services. IEEE Transactions on Smart Grid. 10.1109/TSG.2022.3188927.



Referencia [www.fetch.ai](http://www.fetch.ai)