



# Gestión de la demanda bajo el paradigma de *Smart Grids*

Sebastián Montes de Oca

Dr. Pablo Monzón

Dr. Pablo Belzarena

Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República

2018



# Agenda

## Introducción

Motivación

Síntesis de la propuesta

Objetivos

## Modelo de cada agente del sistema DSM

Modelo Proveedor de servicios

Modelo Usuario final

Modelo DSO

## Esquema DSM y simulaciones

Esquema DSM

Simulaciones

Trabajo a futuro



# Agenda

## Introducción

Motivación

Síntesis de la propuesta

Objetivos

## Modelo de cada agente del sistema DSM

Modelo Proveedor de servicios

Modelo Usuario final

Modelo DSO

## Esquema DSM y simulaciones

Esquema DSM

Simulaciones

Trabajo a futuro



# Objetivos del plan estratégico del sector





## Desafíos técnicos fundamentales

Balance de forma continua  
Generación = Demanda  
(competencia)

Calidad de entrega  
del Servicio  
(Monopolios)

$$\text{Potencia} = \text{Corriente} \cdot \text{Voltaje}$$



## Desafíos técnicos fundamentales

Balance de forma continua  
Generación = Demanda  
(competencia)

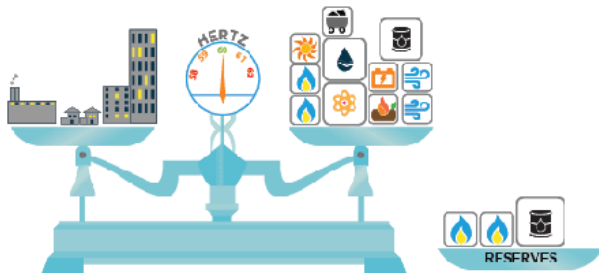
Calidad de entrega  
del Servicio  
(Monopolios)

$$\text{Potencia} = \text{Corriente} \cdot \text{Voltaje}$$

*Es muy difícil almacenar energía en grandes cantidades*



## Balance entre Demanda Vs Generación





## Sobre-generación : Disminuyo la Generación







## Pico de demanda: aumento la generación





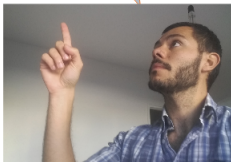
## Balace entre consumo y generación





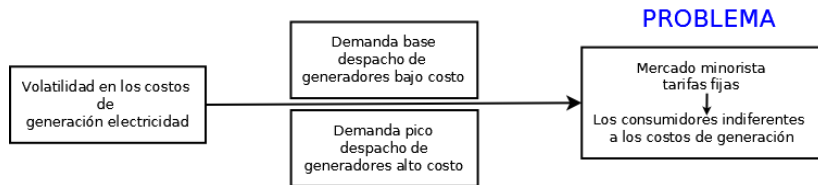
## Situación actual del consumidor minorista

"Quiero tomar decisiones basado en precio, servicios, confort, calidad de entrega del servicio ..."



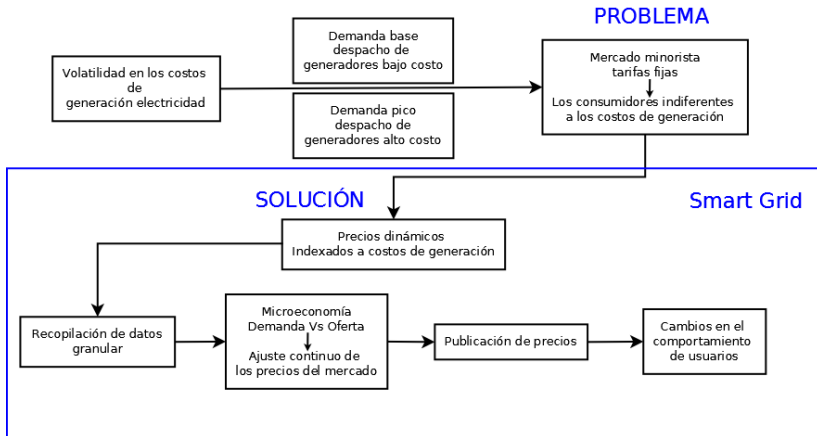


## Síntesis de la propuesta



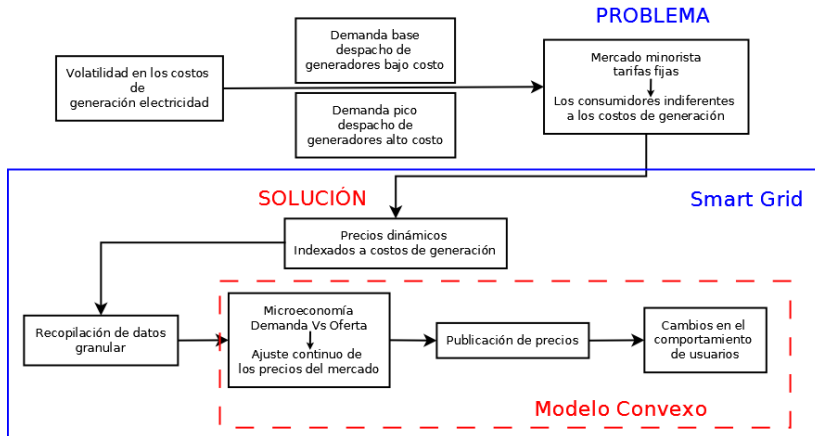


## Síntesis de la propuesta





## Síntesis de la propuesta





# Objetivos propuestos





# Agenda

## Introducción

Motivación

Síntesis de la propuesta

Objetivos

## Modelo de cada agente del sistema DSM

Modelo Proveedor de servicios

Modelo Usuario final

Modelo DSO

## Esquema DSM y simulaciones

Esquema DSM

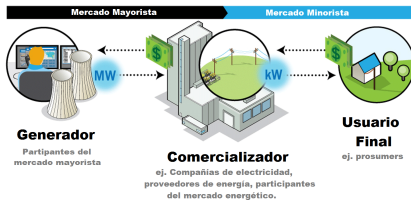
Simulaciones

Trabajo a futuro





## Modelo del proveedor de servicios energéticos



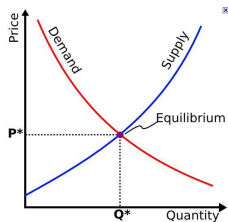
### Cubrir costos operativos

mín  $P_{z,w}$  Costos Operativos – Recaudación

$$\text{s.t } \sum_{h \in H_z} p_h \leq P_z, \quad \forall t \in \tau$$

$$|P_z(t)| \leq P_{max}^{DR}, \quad \forall t \in \tau_d \quad (DR \text{ call})$$

### Equilibrio oferta-demanda





# ¿Cómo modelamos al usuario final?



Generación a nivel local

Medición en tiempo real y conectividad

Sistema de Almacenamiento en el usuario

Smart Apps

EV - Cuando cargar



# Modelos de aplicación y sistema de almacenamiento

## APP térmica

$$T_h^{comf} - T_h^{in}(\mathbf{y}_h) \leq \delta_h \quad \forall t \in A_{ht}$$

$$U_{h1}(\mathbf{y}_h) := -a_h \|T_h^{comf} - T_h^{in}(\mathbf{y}_h)\|^2$$

## EV, Lavadoras, etc

$$y_{min}(t) \leq y_h(t) \leq y_{max}(t)$$

$$Y_{min} \leq \sum_t y_h(t) \leq Y_{max}$$

$$U_{h2}(\mathbf{y}_h) := U_{h2} \left( \sum_t y_h(t) \right)$$

## Sistema ESS

$$0 \leq b_h(t) \leq B_h^{max}$$

$$r_h^{min} \leq r_h(t) \leq r_h^{max}$$

$$b_h(T) \geq \gamma B_h^{max}, \gamma \in (0, 1]$$

$$D_h(\mathbf{r}_h) = \eta_1 \sum_t (r_h)^2 - \eta_2 \sum_t (r_h(t)r_h(t+1))$$

## Problema de Optimización

$$\text{máx}_{y_{hi}, r_h} \sum_i U_i(y_{hi}) - D_h(r_h) - w \cdot p_h$$

s.t. App Constrains

App Constrains

$$\sum_i y_{hi} + r_h + \hat{x}_h = p_h$$



## Maximización del bienestar social

(Considerando solo al proveedor del servicio y el usuario final)

$$\min_{\mathbf{y}, \mathbf{r}, \mathbf{p}, \mathbf{P}_d} C_d(\mathbf{P}_d; t) - \sum_{h=1}^H [U_h(T_h^{in}(\mathbf{y}_h, t); t) - D_h(\mathbf{r}_h)]$$

$$\text{s.t. } p_h = y_h + r_h + \hat{x}_h, \forall h \in \mathcal{H}$$

Restricciones Smart Apps,  $\forall h \in \mathcal{H}$

Restricciones Batería,  $\forall h \in \mathcal{H}$

Restricciones de abastecimiento de la comercializadora

$$\boxed{\sum_{h=1}^H \mathbf{p}_h - \mathbf{P}_d = 0} \rightarrow \text{restricción de acople del sistema} \rightarrow (\epsilon)$$



## Flujo óptimo de Potencia

- Necesidad de planificación.
- Verificación de restricciones.
- Modelado y optimización de recursos.

mín Función de costos de operación de la red  
s.t Restricciones en las variables de control  
Restricciones en variables de operación



## Flujo óptimo de Potencia

- Necesidad de planificación.
- Verificación de restricciones.
- Modelado y optimización de recursos.

mín Función de costos de operación de la red  
s.t Restricciones en las variables de control  
Restricciones en variables de operación

**Problema no-lineal y no convexo**



## OPF convexo

$$\min_{\mathbf{x}(t)} \sum_i \alpha \cdot (V_{ref} - V_i(t)) + \sigma \cdot \sum_i P_{loss}(t)$$

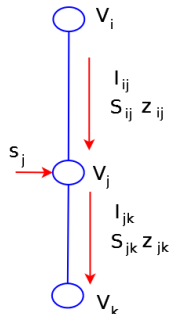
$$V_i = V_j + z_{ij} I_{ij}; \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^*; \quad \forall (i, j) \in \mathcal{E}$$

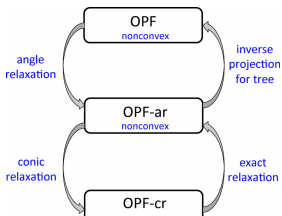
$$s_j = \sum_{k:j \rightarrow k} S_{jk} - \sum_{i:i \rightarrow j} (S_{ij} - z_{ij} |I_{ij}|^2)$$

$$V_i^{min} \leq |V_i(t)| \leq V_i^{max}, \forall i \in \mathcal{N}, \forall t \in \tau_{dr}$$

OPF  
(Kirchoff)



OPF  
convexo





## Modelo DSM como OPF

$$\begin{aligned} \min_{(\mathbf{P}_z, \mathbf{p}, \mathbf{y}, \mathbf{r}, \mathbf{q}, \mathbf{x})} \quad & \sum_{t=1}^T C_{DSO}(\mathbf{x}(t)) + \sum_z C_z(\mathbf{P}_{dz}; t) \\ & - \sum_{h \in \mathcal{H}} [U_h(T_h^{in}(\mathbf{y}_h; t); t) - D_h(\mathbf{r}_h)] \end{aligned}$$

s.t. Restricciones de los participantes, *OPF*

$$p_i = p_i^g - \sum_{\text{nodo } i} p_h \rightarrow (\mu_i)$$

$$q_i = q_i^g - \sum_{\text{nodo } i} q_h \rightarrow (\lambda_i)$$

$$\sum_{h \in \mathcal{H}} p_h - \sum p_i^g(t) = \sum_z P_{dz}(t) - \text{pérdidas} \rightarrow (\sigma)$$

$$\sum_{\text{clientes} \in z} p_h - P_{dz} \leq 0 \forall z \in \text{Com} \rightarrow (\epsilon_z)$$





# Agenda

## Introducción

Motivación

Síntesis de la propuesta

Objetivos

## Modelo de cada agente del sistema DSM

Modelo Proveedor de servicios

Modelo Usuario final

Modelo DSO

## Esquema DSM y simulaciones

Esquema DSM

Simulaciones

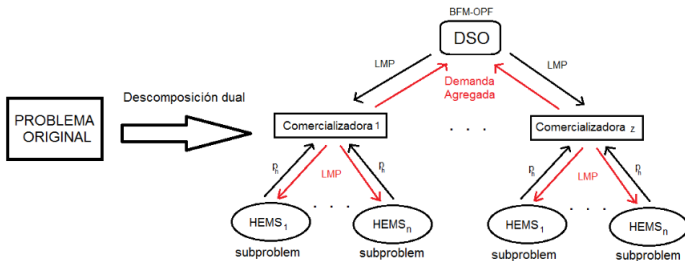
Trabajo a futuro



# Descomposición dual

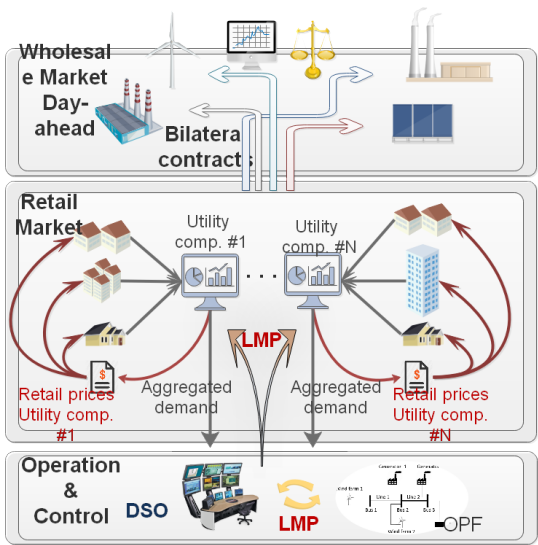


Descomposición dual  
solución descentralizada



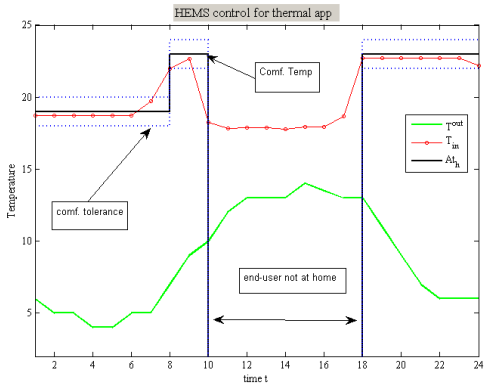


# Esquema del DSM



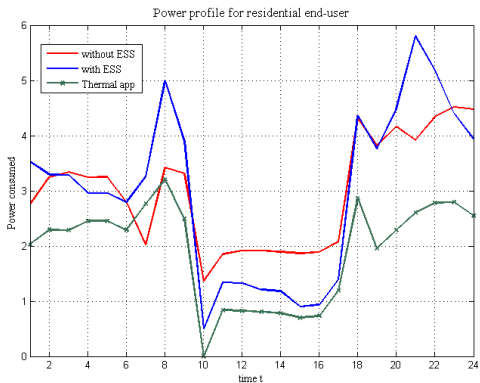


# Simulación





# Simulación





## Trabajo a futuro

- Introducción de incertidumbre en el modelo.
  - programación dinámica estocástica.
  - modelo convexo del problema.
- Viabilidad de desarrollar un modelo minorista " en escenario futuro cercano" para Uruguay
  - existe espacio para competencia minorista
  - generación de un mercado minorista
  - ¿cómo explotar la flexibilidad del usuario?



# Muchas gracias