

Seminario: Gestión de Energía en Microrredes Eléctricas – Parte II

Adriana Carolina Luna Hernández

**En el marco del curso de Doctorado en Microrredes Eléctricas
Universidad Distrital Francisco José de Caldas**

Fecha: 8 y 15 de noviembre de 2023

Hora: 18-21 horas

Lugar: Remoto.

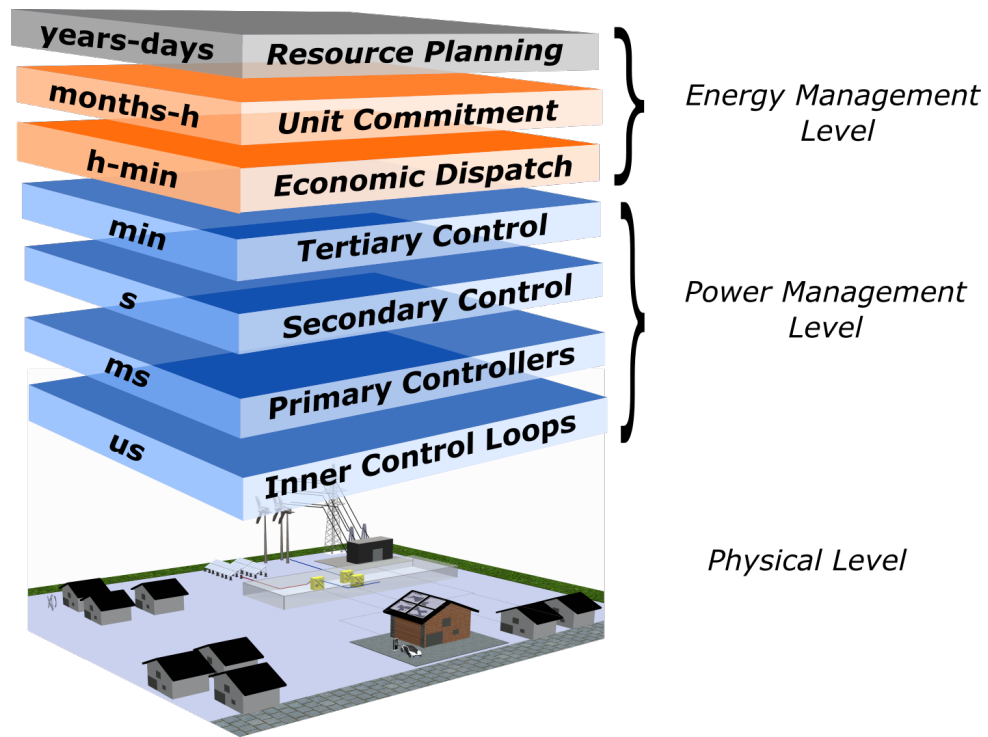


UPR
Recinto Universitario de Mayagüez

Agenda

- **Parte I. Introducción a la Gestión de Energía en Microrredes Eléctricas**
 - Generalidades de Sistemas de Gestión en Microrredes
 - Gestión del lado de la Generación
- **Parte II. Gestión de Energía en MG**
 - Gestión del lado de la Generación (Cont.)
 - Inclusión de Sistemas de Almacenamiento de Energía
 - Gestión del lado de la demanda

Parte II. Gestión de Energía en Microrredes Eléctricas del lado de la Generación (Continuación)



Enfoque de Gestión desde el Punto de vista de la Generación - DER

Gestión de Energía desde el lado de la generación en Microrredes

Economic Dispatch + Unit Commitment

Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Conceptos en Sistemas de Potencia:

ED Objective

$$\min \sum_{k \in \{\text{generator_buses}\}} s_k P_{gk}$$

UC Objective

$$\min \underbrace{\sum_t \sum_i z_{it} F_{it}}_{\text{Fixed (no-load) Costs}} + \underbrace{\sum_t \sum_i g_{it} C_{it}}_{\text{Production Costs}} + \underbrace{\sum_t \sum_i y_{it} S_{it}}_{\text{Startup Costs}} + \underbrace{\sum_t \sum_i x_{it} H_{it}}_{\text{Shutdown Costs}}$$

Gestión de Microrredes basado en optimización:

$$\begin{aligned} & \min_x F(x) \\ & \text{Subject to:} \\ & \quad h(x) = c \\ & \quad g(x) \leq b \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} & \min_{P_{Gi}} C_T \triangleq \sum_{i=1}^m C_i(P_{Gi}) \\ & \text{s.t:} \\ & \quad \sum_{i=1}^m P_{Gi} = P_D + P_{Losses} \end{aligned}$$

Despacho económico: programar generación que minimice el costo operativo instantáneo, sujeto a la restricción de balance de energía

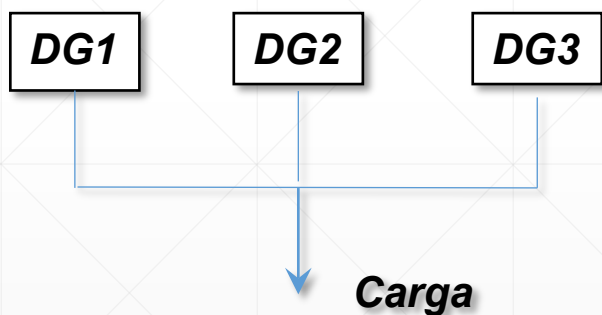
Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Ejemplo:

Microrred Aislada con tres

Generadores Distribuidos

(DG – Distributed Generators)



$$\begin{aligned} & \min_x F(x) \\ \text{Subject to:} \\ & h(x) = c \\ & g(x) \leq b \end{aligned}$$

$$\min_{P_{Gi}} C_T \triangleq \sum_{i=1}^N C_i(P_{Gi})$$

s.t:

$$\sum_{i=1}^N P_{Gi} = P_D + P_{Losses}$$

$$P_{min_i} \leq P_{Gi} \leq P_{max_i} \quad \forall i = 1, \dots, N$$

1. Índice de numero de generadores: $i = 1, \dots, N$
2. Variables de decision: $x = P_{Gi}$
Número de restricciones ?
3. Parámetros del Sistema: P_{min_i}, P_{max_i}

Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Modelos de Unidades de Generacion:

Diesel Generator Cost:

$$(1) \quad C_{DG}(P_G) = a + bP_G + cP_G^2$$

$$(2) \quad C_{DG}(P_G) = a + bP_G$$

Fuel Cell y

Microturbinas:

$$C_{FC}(P_J) = C_{gn} \frac{P_J}{\eta_J}$$

η_J :

FC: eficiencia es modelada con valores a trozos con respecto a P
MT: incrementa con la potencia entregada

(1) F. A. Mohamed and H. N. Koivo, "Online Management of MicroGrid with Battery Storage Using Multiobjective Optimization," 2007 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, Setubal, Portugal, 2007, pp. 231-236, doi: 10.1109/POWERENG.2007.4380118.

(2) F. de Bosio, A. C. Luna, L. A. d. S. Ribeiro, M. Graells, O. R. Saavedra and J. M. Guerrero, "Analysis and improvement of the energy management of an isolated microgrid in Lencois island based on a linear optimization approach," 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Milwaukee, WI, USA, 2016, pp. 1-7.

Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Modelos de Unidades de Generacion: Con Fuentes de Energía Renovables (RES – Renewable Energy Sources):

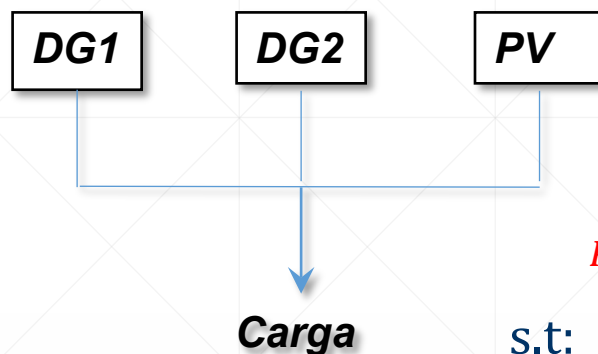
1. PV No gestionable

$$\min_{P_{Gi}} C_T \triangleq \sum_{i=1}^N C_i(P_{Gi})$$

s.t:

$$\sum_{i=1}^m P_{Gi} + PV = P_D + P_{Losses} + P_{dump}$$

$$P_{min_i} \leq P_{Gi} \leq P_{max_i} \quad \forall i = 1, \dots, N$$



1. PV Gestionable (curtailment)

$$\min_{P_{PV}, P_{Gi}} C_T \triangleq \sum_{i=1}^N C_i(P_{Gi}) + C_{penPV}(P_{PV})$$

s.t:

$$\sum_{i=1}^m P_{Gi} + P_{PV} = P_D + P_{Losses}$$

$$P_{min_i} \leq P_{Gi} \leq P_{max_i} \quad \forall i = 1, \dots, N$$

$$0 \leq P_{PV} \leq P_{mppt_i}$$

Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Modelado de Unidades de Generacion:

Diesel Generator Costo, considerando su estado (encendido):

$$P_{min_i} \leq P_{Gi} \leq P_{max_i} \quad \forall i = 1, \dots, N$$

LP



$$C_{DG}(P_G) = a + bP_G + cP_G^2$$

$$P_{Gi} \geq P_{min_i} * x_{gi} \quad \forall i = 1, \dots, N$$

$$P_{Gi} \leq P_{max_i} * x_{gi} \quad \forall i = 1, \dots, N$$

$$x_{gi} \in \{0,1\} \text{ (Variable binaria)}$$

MILP

F. A. Mohamed and H. N. Koivo, "Online Management of MicroGrid with Battery Storage Using Multiobjective Optimization," 2007 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, Setubal, Portugal, 2007, pp. 231-236, doi: 10.1109/POWERENG.2007.4380118.

K. Thirugnanam, S. K. Kerk, C. Yuen, N. Liu and M. Zhang, "Energy Management for Renewable Microgrid in Reducing Diesel Generators Usage With Multiple Types of Battery," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 65, no. 8, pp. 6772-6786, Aug. 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2795585.

Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Modelado de Unidades de Generacion: Diesel Generator Costo, costo de encendido (Start-up cost)

Ejemplo de implementacion

1. Costo adicional de encendido a la Funcion Obj .

Parámetros adicional, CF_{DG_i} (fijo)

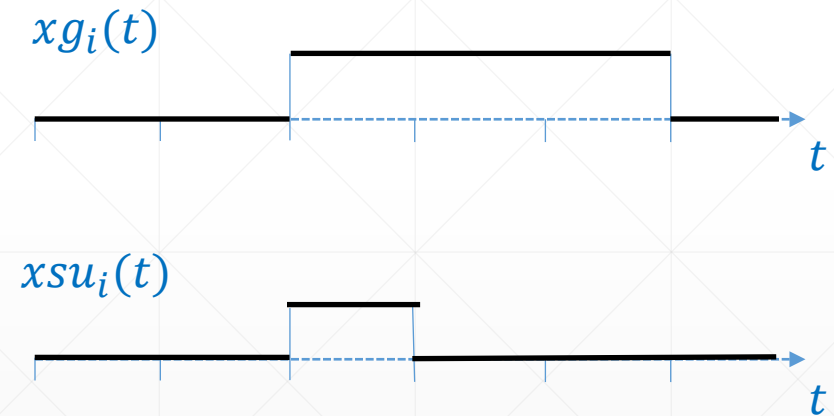
2. Indice adicional referente al tiempo (discreto):

$$k = 1, \dots, K \quad t = k\Delta t \quad t = \Delta t, \dots, T$$

3. Variables adicional de decision auxiliar (binaria):

$$x_{su_i}(t)$$

Aumenta: Número de variables, restricciones, etc



Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Modelado de Unidades de Generacion: Diesel Generator Costo, costo de encendido (Start-up cost): Ejemplo

$$\min_{xg_i(t), xsu_i(t), P_{Gi}(t)} C_T \triangleq \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^N [C_i(P_{Gi}, t) + CF_{DGi} * xsu_i(t)] \right]$$

s.t.

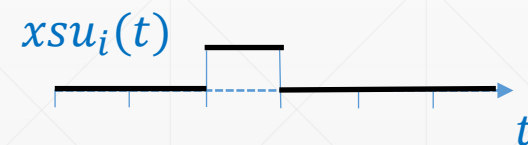
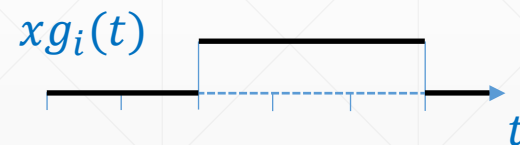
$$\sum_{i=1}^N P_{Gi}(t) * \Delta t = P_D(t) * \Delta t + P_{Losses}(t) * \Delta t, \quad \forall t = \Delta t, \dots, T$$

$$P_{min_i} * xg_i(t) \leq P_{Gi}(t) \leq P_{max_i} * xg_i(t) \quad \forall i, t$$

$$xsu_i(t) \leq xg_i(t) \quad \forall i, t$$

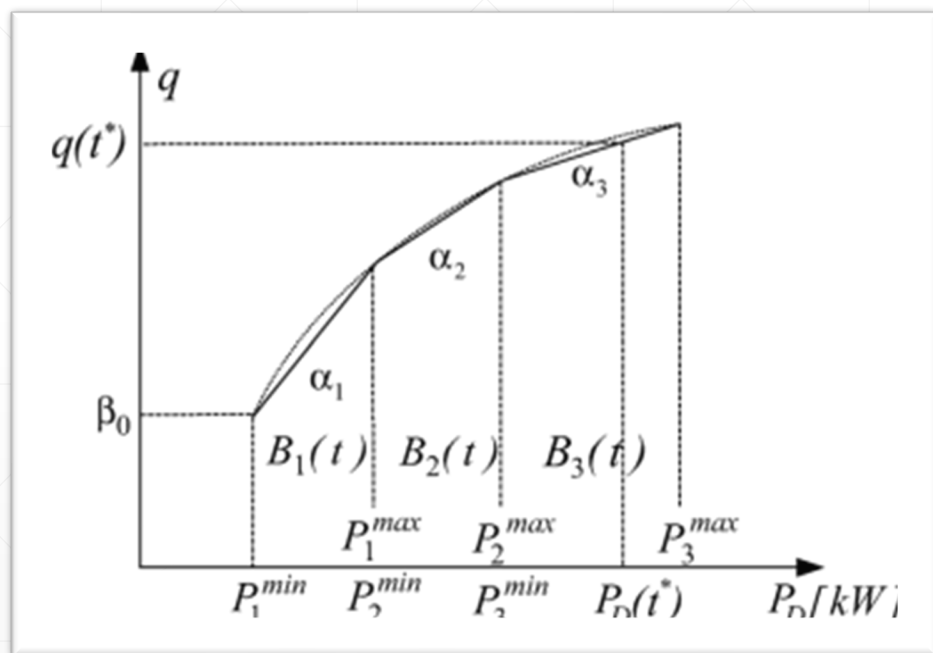
$$xsu_i(t) \geq [xg_i(t) - xg_i(t - 1)] \quad \forall i, t$$

$$xg_i(k), xsu_i(k) \in \{0,1\}, \quad \forall i, k$$



Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Otro ejemplo: Modelado de Unidades de Generacion: Costo Generador Diesel



$q(t)$: consumo de combustible del generador

$$q(t) = \sum_{v=1}^{n_v} (\alpha_v P_v(t) + \beta_v B_v(t))$$

$$\sum_{v=1}^{n_v} B_v(t) \leq 1$$

$$P_D(t) = \sum_{v=1}^{n_v} P_v(t)$$

$$P_v^{\min} B_v(t) \leq P_v(t) \leq P_v^{\max} B_v(t), \quad v = 1, \dots, n_v$$

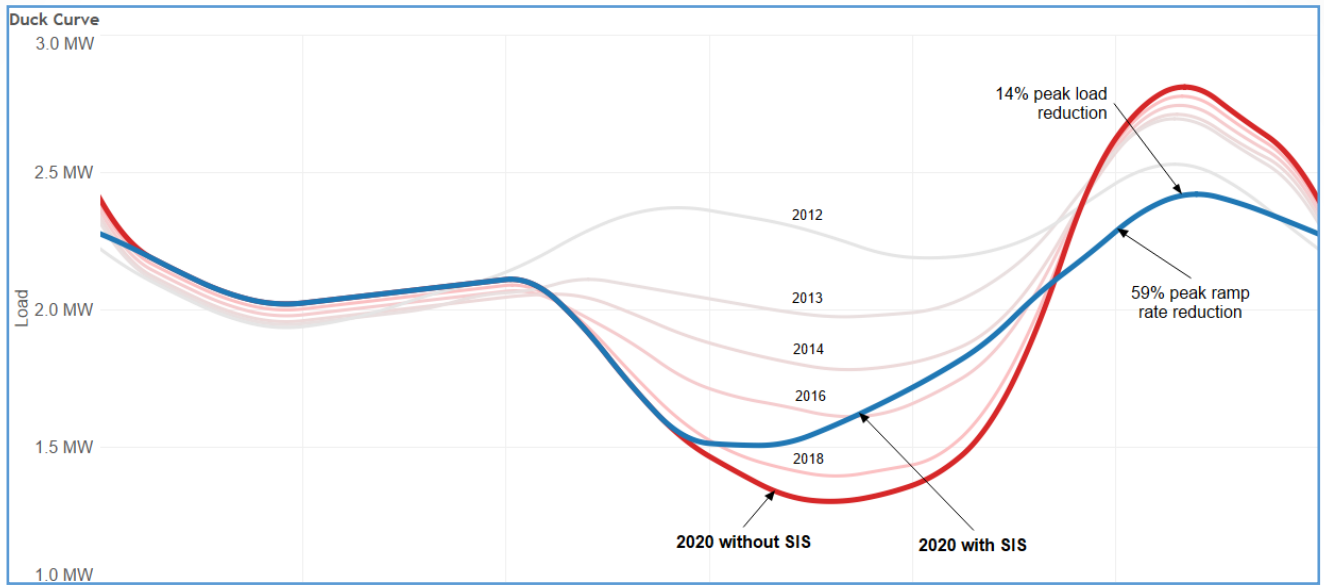
Gestion de Microrredes desde el lado de la Generacion

Modelado de Unidades de Generacion: Costo Generador Diesel

$$C_s(t) \geq C_D \left(\sum_{v=1}^{n_v} B_v(t) - B_{g0} \right) \quad t = 1$$
$$C_s(t) \geq C_D \left(\sum_{v=1}^{n_v} B_v(t) - \sum_{v=1}^{n_v} B_v(t-1) \right) \quad t > 1$$
$$C_s(t) \geq 0$$

$C_s(t)$: costo de arranque del generador diesel

Parte II.
**Gestión de Energía en Microrredes
Eléctricas – Inclusión de
Almacenamiento y Gestión de la
Demanda**



Curva del Pato
Sobre-generación de energía solar
SIS - Integrated Storage Systems

Inclusión de Sistemas de Almacenamiento de Energía en Gestión de Microrredes

Funciones habilitadas por ESSs en Gestión de Energía

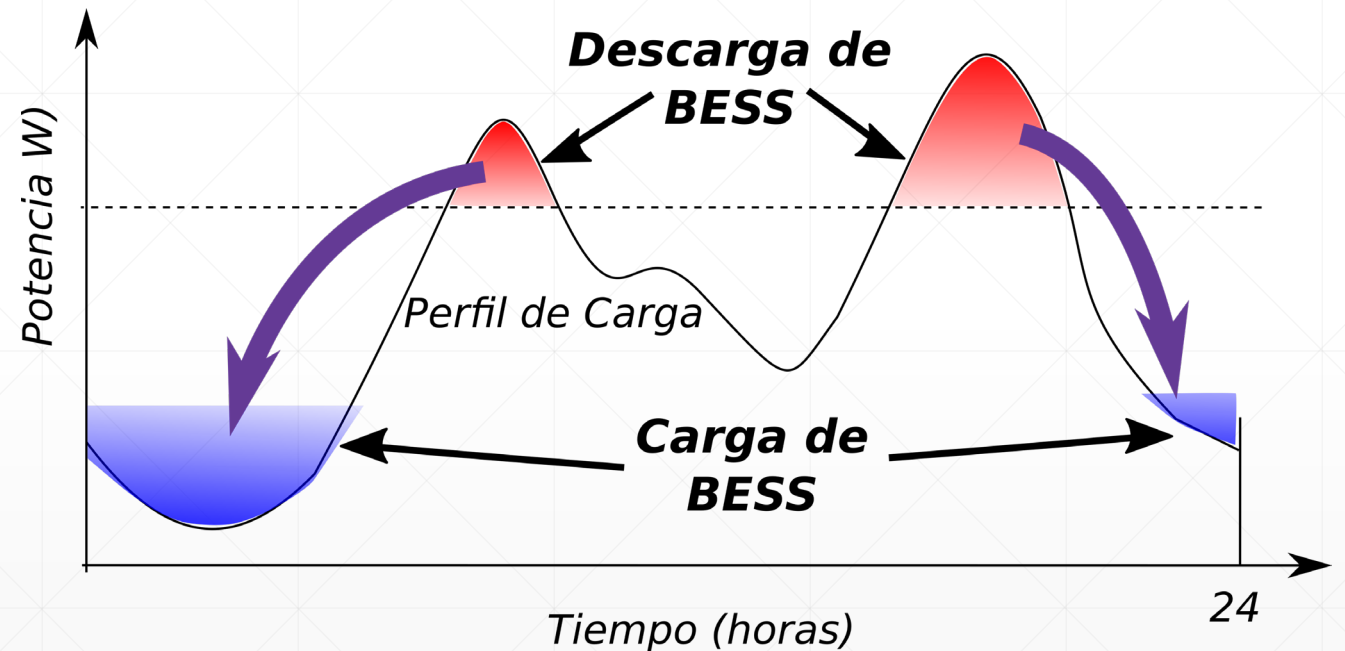
- Recorte de picos. Reduce el pico de la demanda
- Nivelación de Carga. Reduce grandez fluctuaciones en la demanda
- Arbitraje de energía. Considera la tarifa de energía para desplazar el consumo
- Reserva de generación. Compensa caídas de generacion

Funciones habilitadas por ESSs en Gestión de Energía

- Recorte de picos. Reduce el pico de la demanda
- Nivelación de Carga. Reduce grandez fluctuaciones en la demanda
- Arbitraje de energía. Considera la tarifa de energía para desplazar el consumo
- Reserva de generación. Compensa caídas de generacion

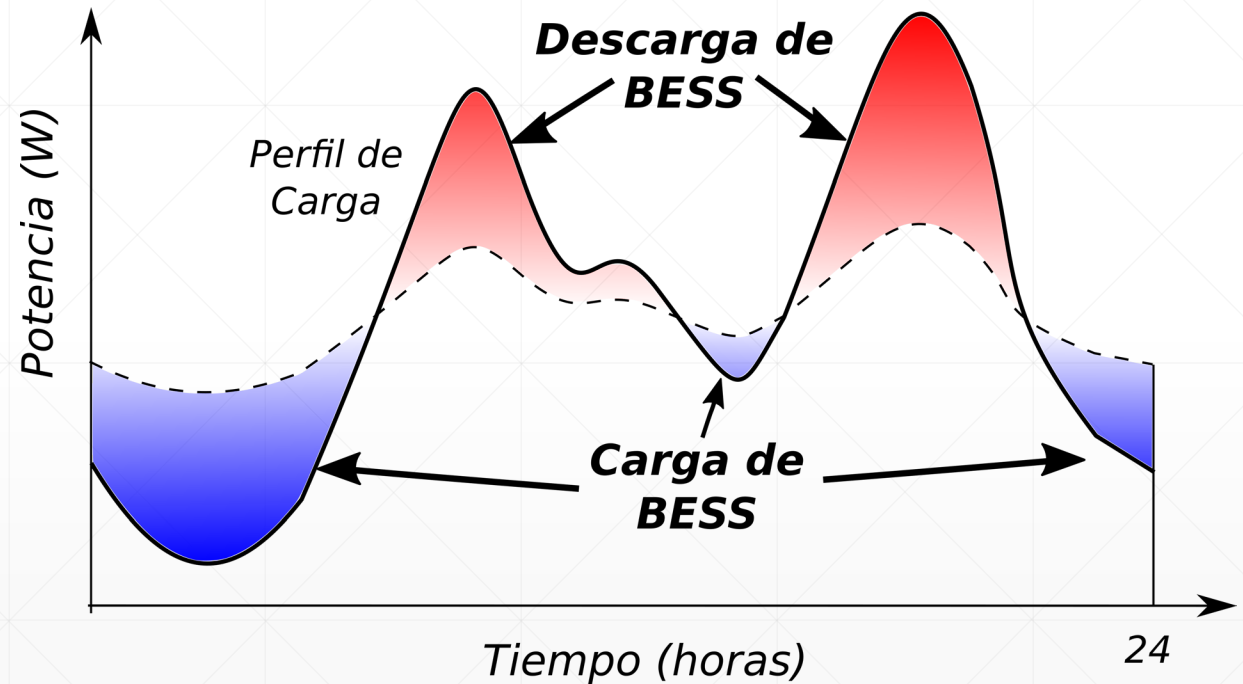
Aplicaciones habilitadas por ESSs en Gestión de Microrredes

- **Recorte de picos.** Reduce el pico de la demanda
- Nivelación de Carga. Reduce grandez fluctuaciones en la demanda
- Arbitraje de energía. Considera la tarifa de energía para desplazar el consumo
- Reserva de generación. Compensa caídas de generacion



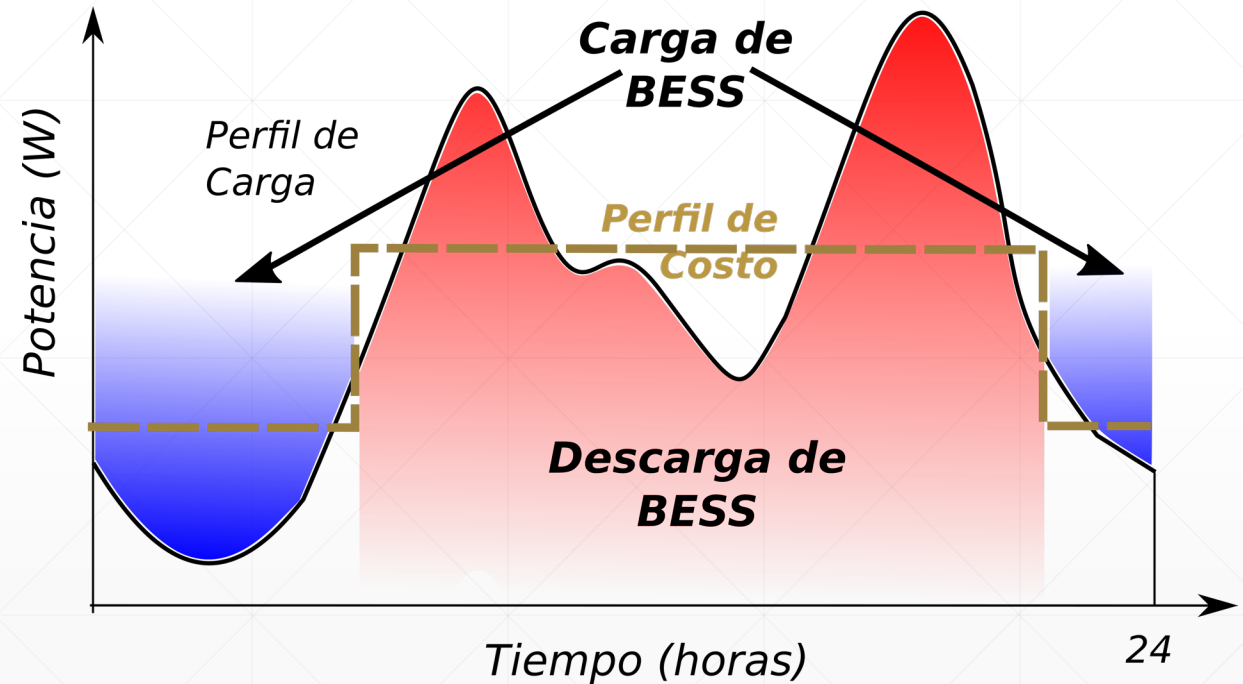
Aplicaciones habilitadas por ESSs en Gestión de Microrredes

- Recorte de picos. Reduce el pico de la demanda
- Nivelación de Carga. Reduce grandez fluctuaciones en la demanda
- Arbitraje de energía. Considera la tarifa de energía para desplazar el consumo
- Reserva de generación. Compensa caídas de generacion



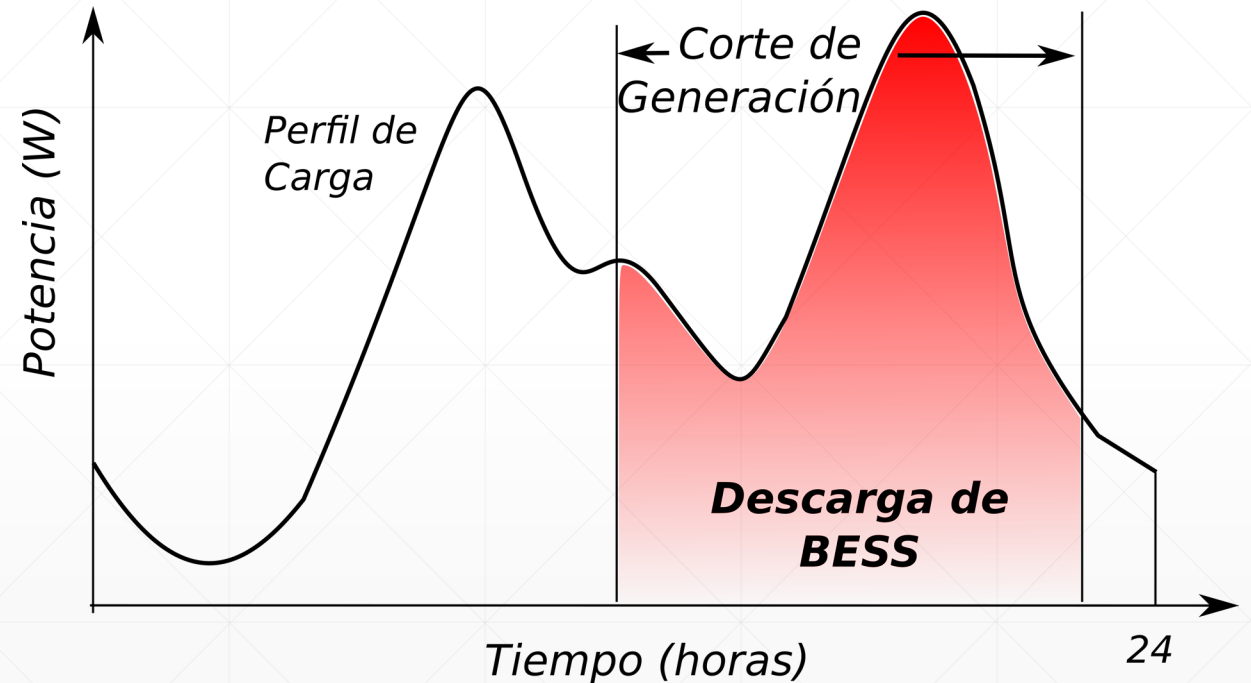
Aplicaciones habilitadas por ESSs en Gestión de Microrredes

- Recorte de picos. Reduce el pico de la demanda
- Nivelación de Carga. Reduce grandez fluctuaciones en la demanda
- **Arbitraje de energía.** Considera la tarifa de energía para desplazar el consumo
- Reserva de generación. Compensa caídas de generacion



Aplicaciones habilitadas por ESSs en Gestión de Microrredes

- Recorte de picos. Reduce el pico de la demanda
- Nivelación de Carga. Reduce grandez fluctuaciones en la demanda
- Arbitraje de energía. Considera la tarifa de energía para desplazar el consumo
- **Reserva de generación.** Compensa caídas de generacion

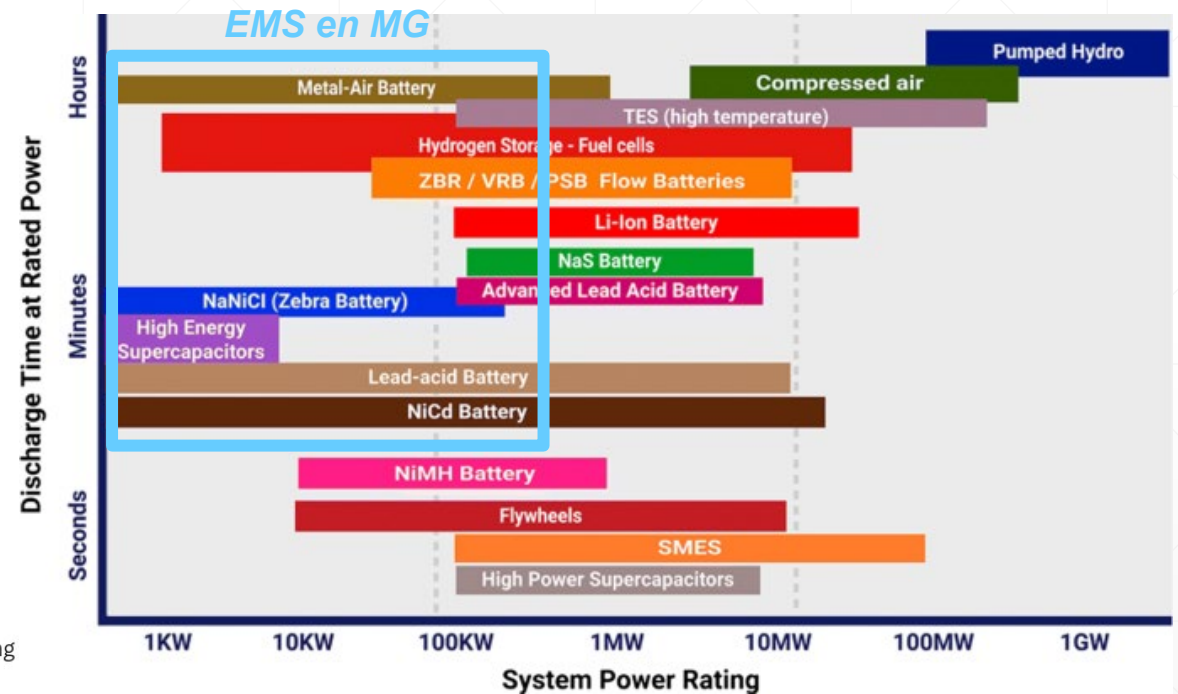


Tecnologías de Sistemas de Almacenamiento de Energía

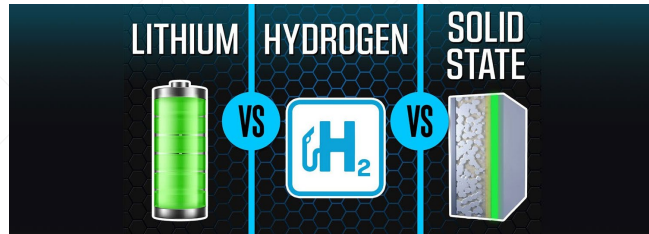
	ELECTRICAL		MECHANICAL			ELECTROMECHANICAL			CHEMICAL	THERMAL
	Supercapacitors	SMES	PHS	CAES	Flywheels	Sodium Sulfur	Lithium Ion	Redox Flow	Hydrogen	Molten Salt
Maturity	Developing	Developing	Mature	Mature	Early commercialised	Commercialised	Commercialised	Early commercialised	Demonstration	Mature
Efficiency	90-95%	95-98%	75-85%	70-89%	93-95%	80-90%	85-95%	60-85%	35-55%	80-90%
Response Time	ms	<100 ms	sec-mins	mins	ms-secs	ms	ms-secs	ms	secs	mins
Lifetime, Years	20+	20+	40-60	20-40	15+	10-15	5-15	5-10	5-30 years	30 years
Charge time	s - hr	min - hr	hr - months	hr - months	s - min	s - hr	min - days	hr - months	hr - months	hr - months
Discharge time	ms - 60 min	ms - 8 s	1 - 24 hs+	1 - 24 hs+	ms - 15 min	s - hr	min - hr	s - hr	1 - 24 hs+	min - hr
Environmental impact	None	Moderate	Large	Large	Almost none	Moderate	Moderate	Moderate	Dependent of H2 production method	Moderate

*Magnetic energy storage.
Li-ion

Source: Korea Battery Industry Association 2017 "Energy storage system technology and business model".



EV - Aplicación que impulsa la investigación en ESSs



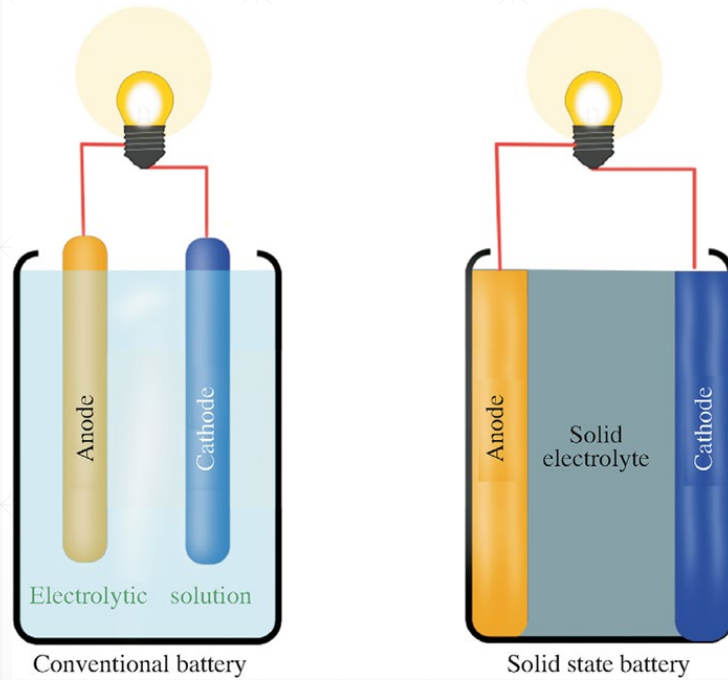
TOYOTA'S BATTERY TECHNOLOGY ROADMAP

	TODAY	NEXT-GENERATION		FURTHER EVOLUTION		
	2023	2026	2026-2027	2027-2028	2027-2028	TBD
	Battery for bZ4X	Performance	Popularisation	High-Performance	Solid-State 1	Solid-State 2
	Monopolar		Bipolar		N/A	N/A
Electrolyte type	Liquid			Solid		
Chemistry	Li-Ion		LiFePO ^{*1}	Li-Ion		
Driving range (WLTP)	500km	> 800km	> 600km	> 1,000km	> 1,000km	> 1,200km
Cost	-	-20% vs bZ4X	-40% vs bZ4X	-10% vs NG performance version	TBD	TBD
Fast charge time ^{*2}	~30 min.	~20 min.	~30 min.	~20 min.	~10 min.	TBD

^{*1} Lithium iron phosphate ^{*2} SoC = 10-80%

NOTE: Established driving range includes aerodynamic and vehicle weight improvements

EV – Comparación entre Tecnologías con Estado Solido



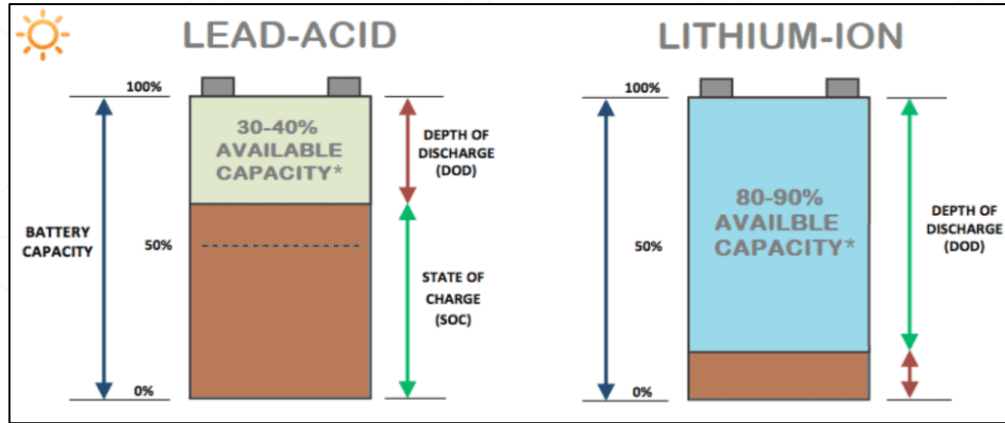
Baterías de estado sólido:

- Seguridad Mejorada
- Menor tiempo de recarga
- Mayor densidad de energía y de potencia

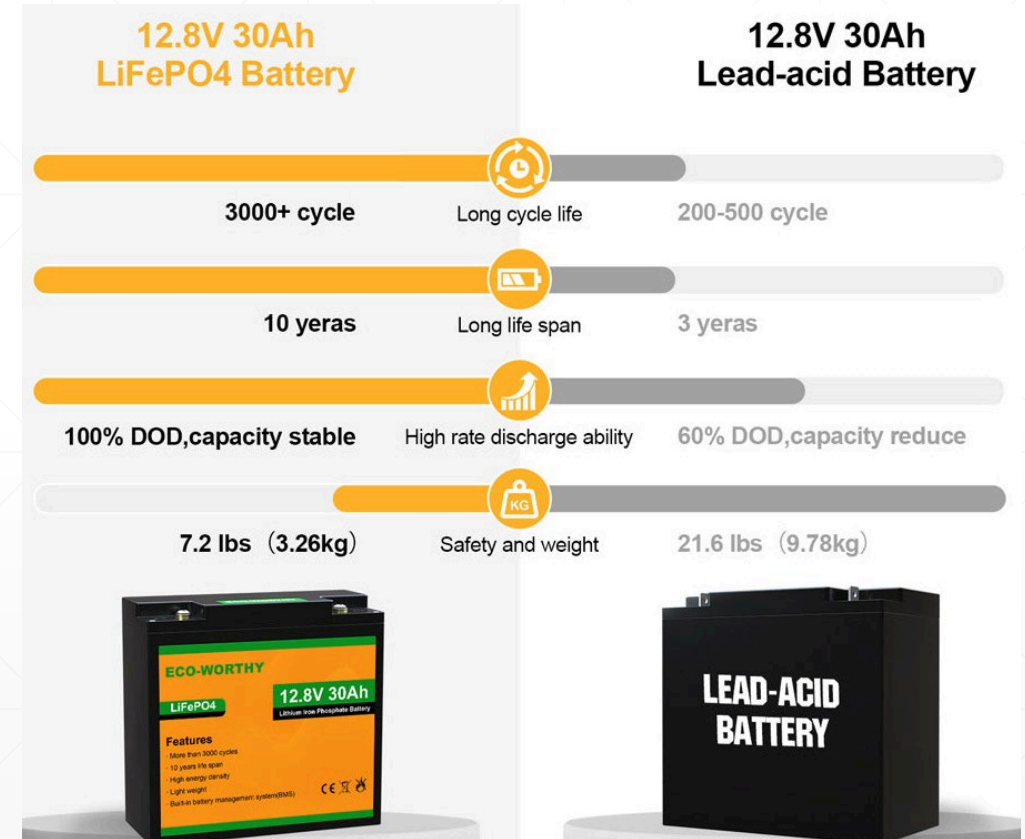
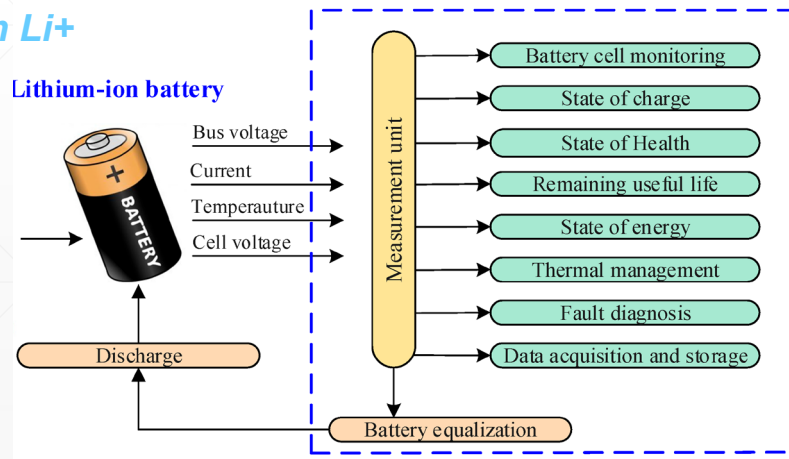
SOLID STATE BATTERY COMPANIES & TECHNOLOGIES
© Roland Zenn, September 2020

	ANODE	ELECTROLYTE
QuantumScape	Anode-free Lithium	Oxidic & Sulfidic Ceramic
solid energy	Lithium	Semi-solid Solvent-in-Salt
ionic MATERIALS	Lithium or Graphite	Doped Pi-conjugated Polymer
Sion Power	Lithium	Hybrid Ceramic-Polymer
Solid Power	Lithium	Sulfidic Glass-Ceramic
Bolloré	Lithium	PEO-based Polymer
ProLogium	Lithium or Graphite/Si	Oxidic Ceramic
Hydro Québec	Lithium	e.g. PEO-based Polymer
Panasonic	Lithium	Oxidic & Sulfidic Ceramic
SAMSUNG	Lithium Ag-C coated	Sulfidic Glass-Ceramic

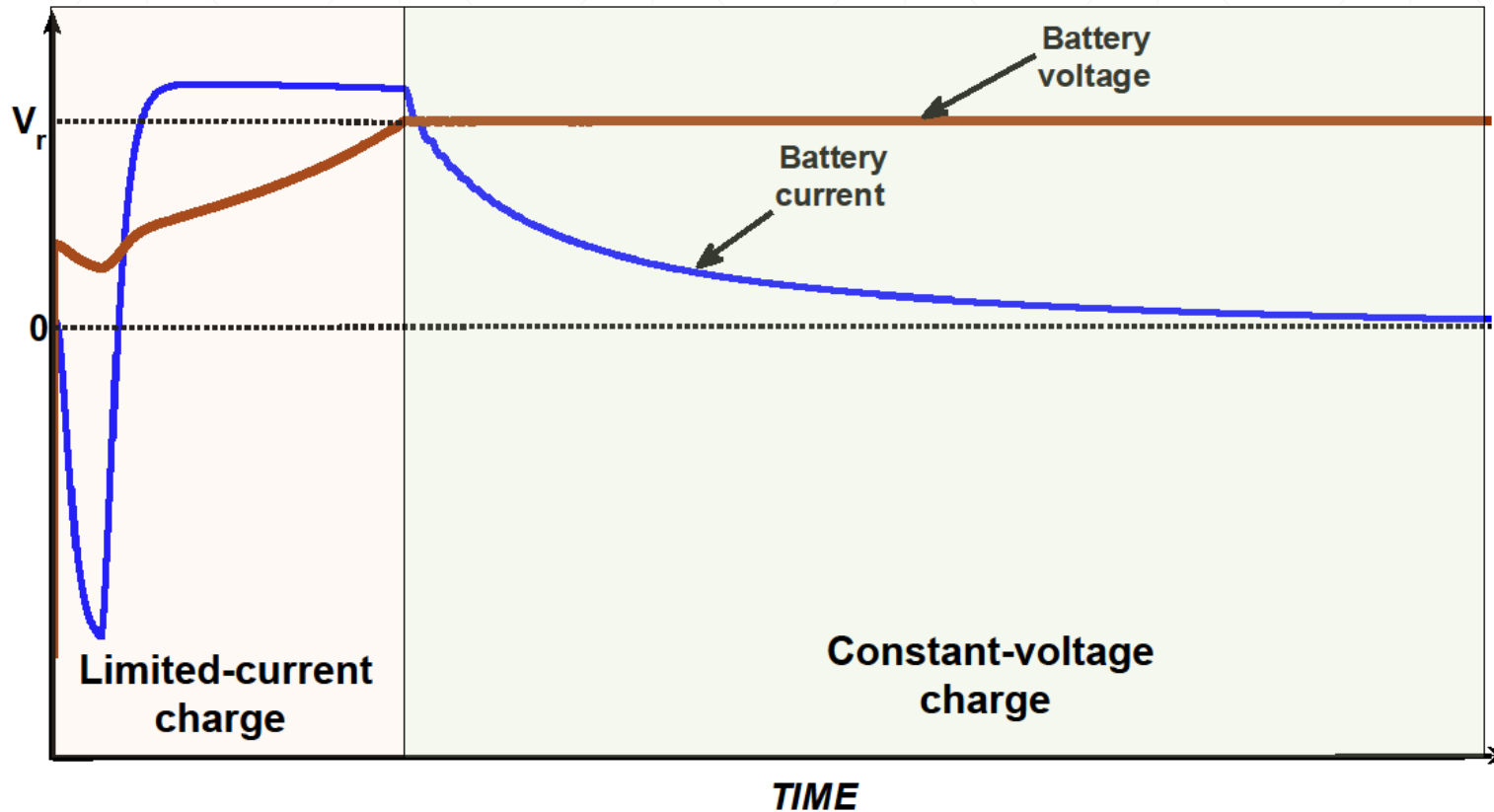
Aplicaciones habilitadas por ESSs en Gestión de Microrredes



BMS en Li+



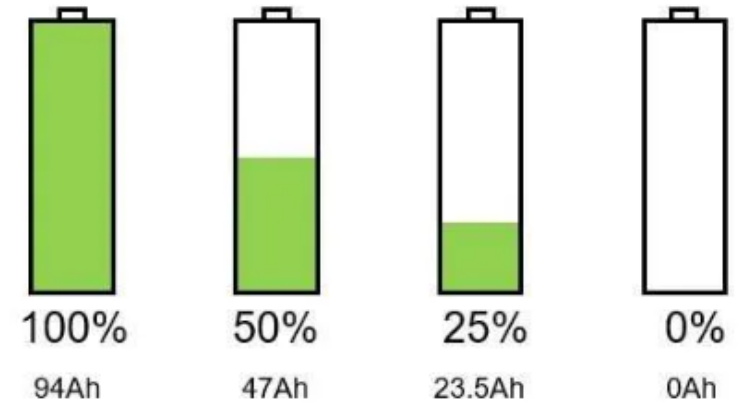
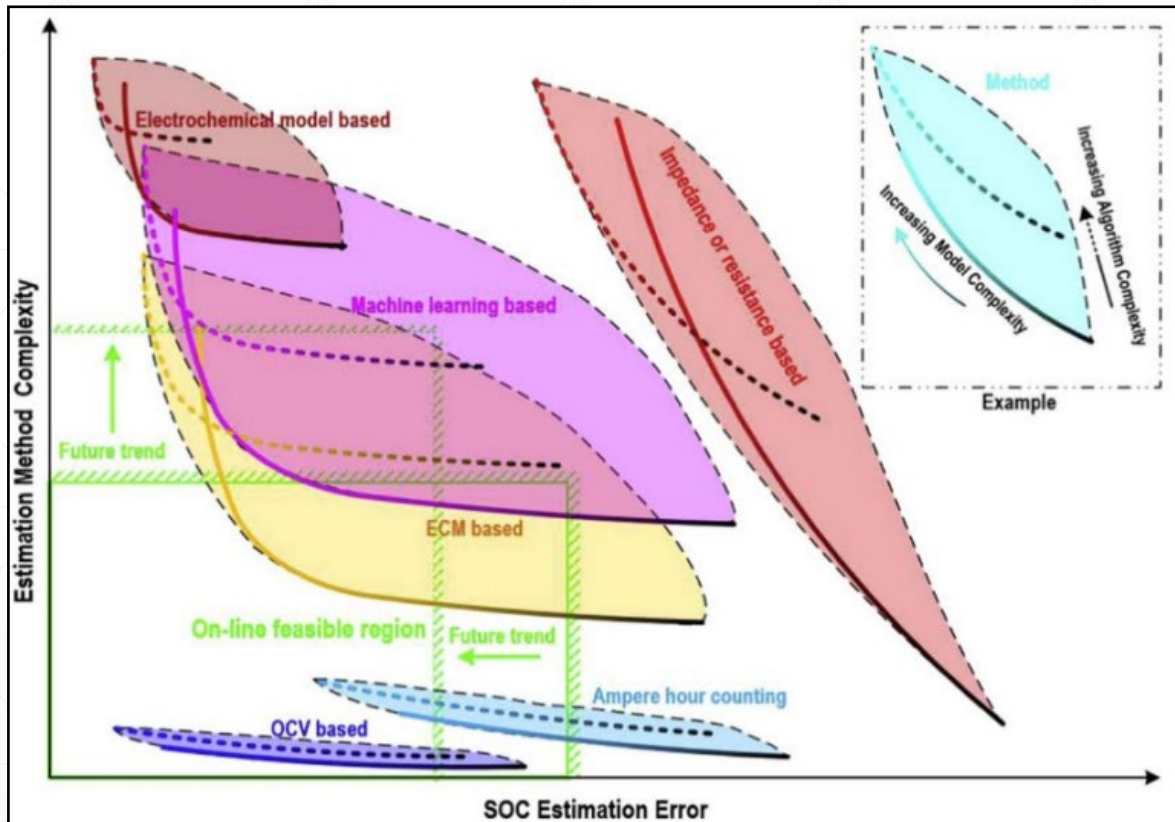
Dinámica de los Sistemas de Almacenamiento de Energía



Procedimiento de carga de dos etapas:

- Carga con corriente controlada
- Carga con voltaje controlado

Estimación del Estado de Carga en ESS (SoC - State of Charge)



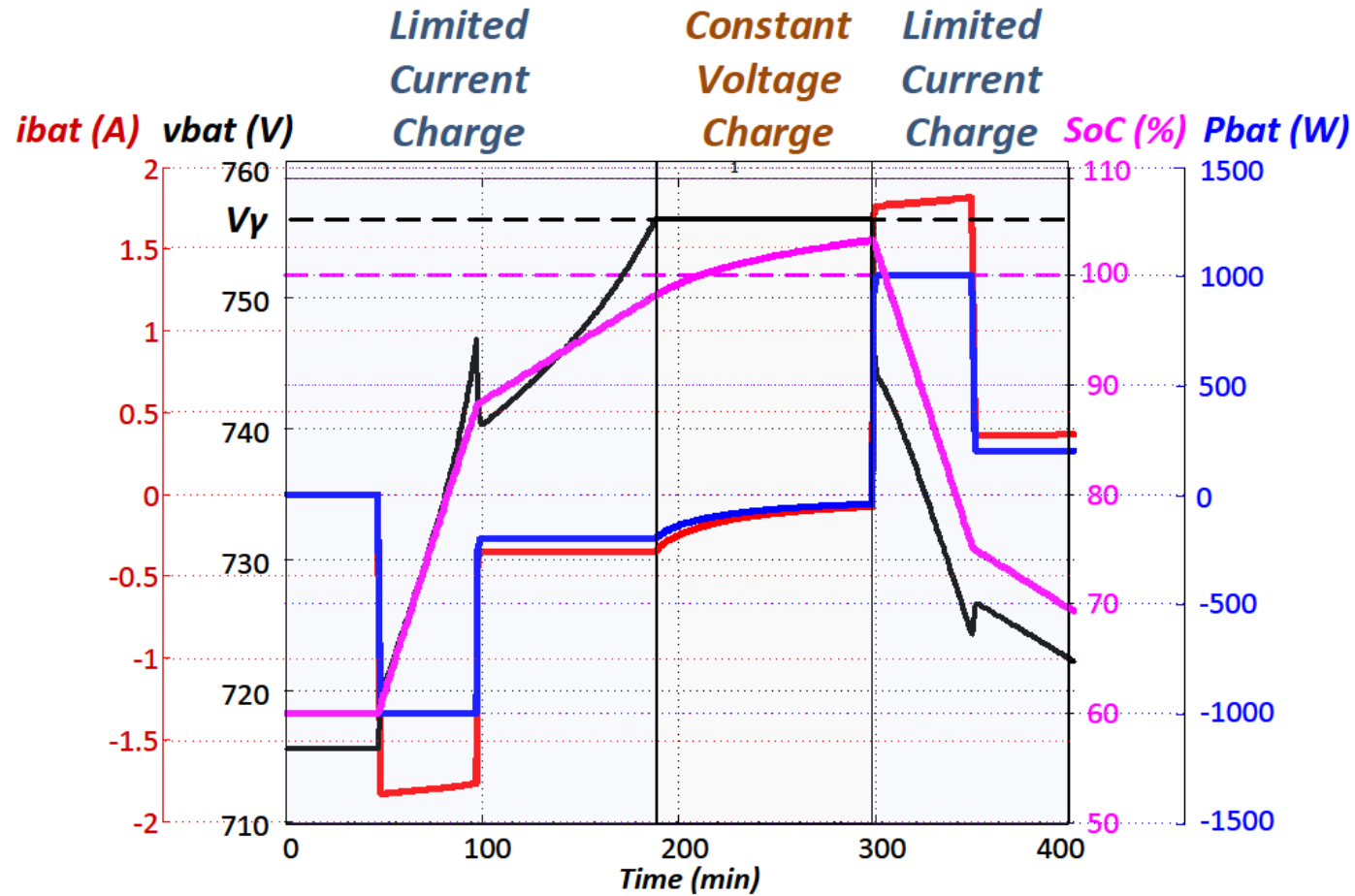
- SoC estimation by coulomb counting method:

$$SoC(\Delta t)_{Bat(i)} = SoC(0)_{Bat(i)} - \int_0^{\Delta t} \eta_{Bat(i)} \frac{I_{Bat(i)}(\tau)}{C_{Bat(i)}} d\tau;$$

- Relation between battery current $I_{Bat(i)}$ and power $P_{ESS(i)}$.

$$P_{ESS(i)} \approx V_{Bat(i)} * I_{Bat(i)}$$

Dinámica de los Sistemas de Almacenamiento de Energía



Métodos de carga durante (i) Carga con corriente controlada (limited current charge):

- Potencia constante
- Corriente Constante
- Resistencia constante

Variables Relativas a Almacenamiento de Energía usualmente usadas en Gestion

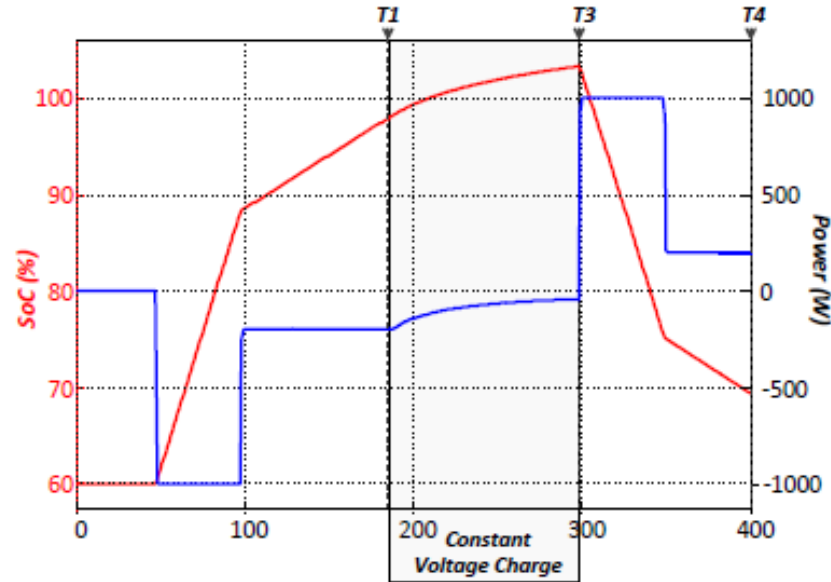
The SoC can be estimated by using Ah counting method:

$$SoC(t) = SoC(0) - \int_0^t \eta \frac{I_{bat(i)}(\tau)}{c_{bat(i)}} d\tau;$$

Esta estimación es adaptada para ser usada en gestión ya que las variables consideradas en el nivel de operación son usualmente:

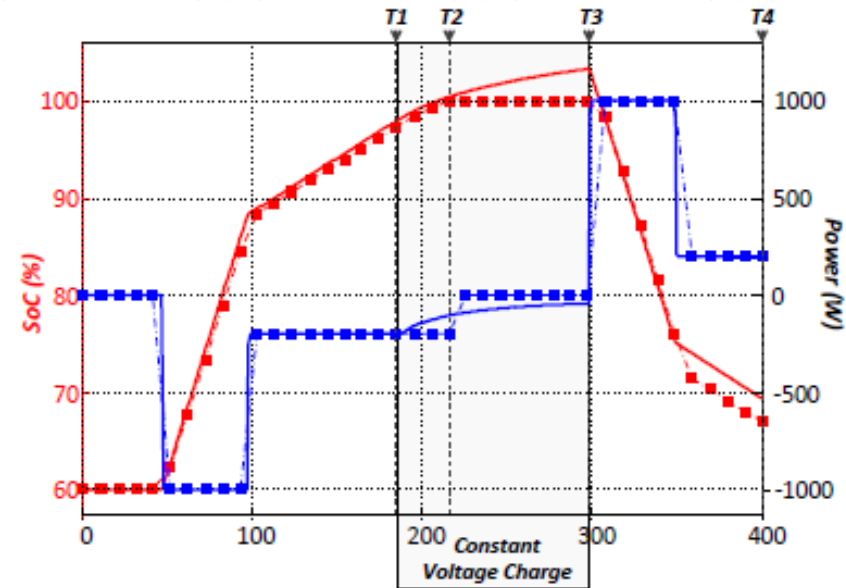
- **Potencia**
- **Energía**
- **Estado de Carga (State of Charge - SoC)**
- **Profundidad de Descarga (Deep of Descharge - DoD)**

ESS - Comparación entre Dinámica y Modelo de Gestión



- | | Dynamics | Scheduling |
|---------------------|----------|------------|
| ▶ Charged at | ▶ T1 | |
| ▶ Maximum SoC about | ▶ 105% | |

ESS - Comparación entre Dinámica y Modelo de Gestión



	Dynamics	Scheduling
▶ Charged at	▶ T1	▶ T2
▶ Maximum SoC about	▶ 105%	▶ 100%

Formulación de restricciones relacionadas con ESSs

La inclusión del índice de tiempo y de los EES en la formulación matemática de un despacho económico de las microrredes lo convierte en un modelo dinámico.

El modelo original se modifica añadiendo algunas restricciones:

1. Límites de potencias/energía
2. Ecuación de energía almacenada (o SoC) en términos de la potencia
3. Límites de SoC
4. Balance Global
5. Otras restricciones

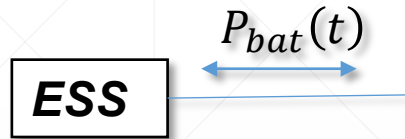


Formulación de restricciones relacionadas con ESSs

1. Definición de variable de potencias/energía y límites

Model 1. Considering a single variable

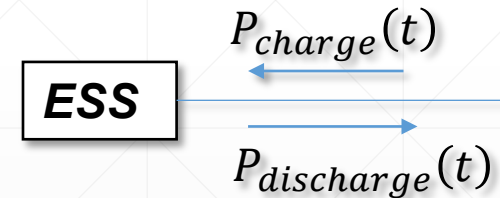
$P_{bat}(t)$



$$-P_{bat_{min}} < P_{bat}(t) < P_{bat_{max}}$$

Model 2. Considering two variables:

$P_{charge}(t)$ and $P_{discharge}(t)$



$$0 < P_{charge}(t) < P_{charge_{max}}$$
$$0 < P_{discharge}(t) < P_{discharge_{max}}$$

Formulación de restricciones relacionadas con ESSs

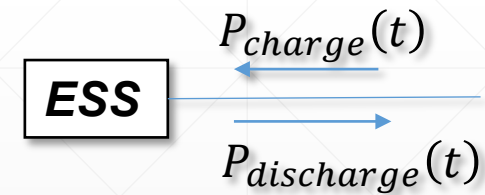
1. Definición de variable de potencias/energía y límites

Model 2.

En ocasiones, se incluye una variable binaria, $x_{bat}(t)$, para garantizar que $P_{charge}(t)$ y $P_{discharge}(t)$ no estén programados simultáneamente.

Los límites se pueden escribir como,

$$\begin{aligned} 0 < P_{charge}(t) < P_{charge_{max}} * x_{bat}(t) \\ 0 < P_{discharge}(t) < P_{discharge_{max}} * (1 - x_{bat}(t)) \end{aligned}$$

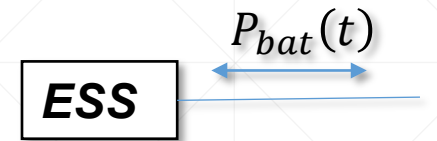


donde $x_{bat}(t) = 0$ cuando la batería se está descargando y $x_{bat}(t) = 1$ se está cargando

Formulación de restricciones relacionadas con ESSs

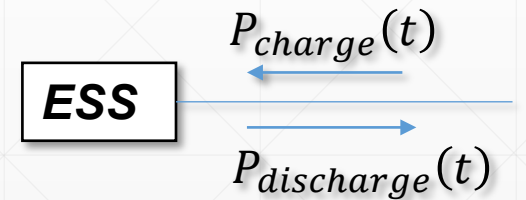
2. Ecuación de SoC en términos de la potencia

Model 1.
$$SoC(t) = \begin{cases} SoC(0) - \frac{\eta}{Cap_{kWh}} * P_{bat}(t) * \Delta T, & t = 1 \\ SoC(t - 1) - \frac{\eta}{Cap_{kWh}} * P_{bat}(t) * \Delta T, & 1 < t < T \end{cases}$$



Model 2.

$$SoC(t) = \begin{cases} SoC(0) - \frac{\eta_{discharge}}{Cap_{kWh}} * \{P_{discharge}(t) * \Delta T\} + \frac{1}{\eta_{charge} * Cap_{kWh}} * \{P_{charge}(t) * \Delta T\}, & t = 1 \\ SoC(t - 1) - \frac{\eta_{discharge}}{Cap_{kWh}} * \{P_{discharge}(t) * \Delta T\} + \frac{1}{\eta_{charge} * Cap_{kWh}} * \{P_{charge}(t) * \Delta T\} & 1 < t < T \end{cases}$$



Formulación de restricciones relacionadas con ESSs

3. Límites del SoC

Teóricamente, el SoC de un ESS puede estar entre 0 y 100% (o 1). Sin embargo, en el caso de los sistemas de almacenamiento basados en baterías (BESS), cada tecnología requiere mantener este valor entre un rango más estrecho.

$$SoC_{min} < SoC(t) < SoC_{max}$$

Para ilustrar:

Technology	SoC_{min}	SoC_{max}
Lead Acid	50%	100%
Lithium ion	20%	90%

Formulación de restricciones relacionadas con ESSs

4. Balance Global

Con el fin de establecer las mismas condiciones para todos los días, se define el balance global para que la condición final pueda ser igual (o mayor) que la inicial. Algunas formas de incluir este contrato son,

Sumatoria de diferencias
entre SoC sucesivos

Condición del valor final de
SoC

$$\sum_{t=1}^T (SoC(t) - SoC(t - 1)) = 0$$

$$SoC(T) = SoC(0) = SoC_0$$

Ejemplo de Modelo

$$\min \text{ cost} = \sum_t C_{grid} * (P_{grid_abs}(t) * \Delta t)$$

$$s. t. \quad P_{PV}(t) + (P_{grid_abs}(t) - P_{grid_inj}(t)) + (P_{disch}(t) - P_{charge}(t)) = P_{load}, \quad \forall t$$

$$SoC(t) = \begin{cases} SoC(0) + \frac{\eta_{ch}}{Cap_{bat}} (P_{charge}(t) * \Delta t) - \frac{1}{\eta_{disc} * Cap_{bat}} (P_{disch}(t) * \Delta t), & t = 1 \\ SoC(t-1) + \frac{\eta_{ch}}{Cap_{bat}} (P_{charge}(t) * \Delta t) - \frac{1}{\eta_{disc} * Cap_{bat}} (P_{disch}(t) * \Delta t), & 1 < t < T \end{cases}$$

$$0 \leq P_{charge}(t) \leq P_{chargemax} * X_{bat}(t), \quad \forall t$$

$$0 \leq P_{disch}(t) \leq P_{dischmax} * (1 - X_{bat}(t)), \quad \forall t$$

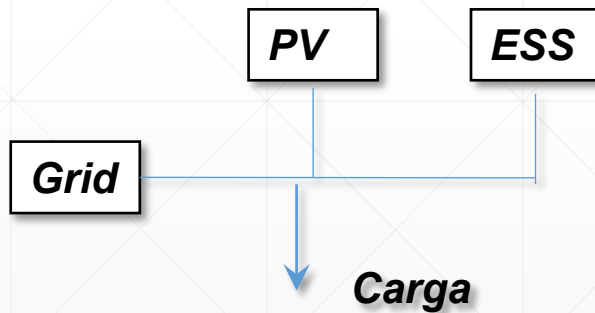
$$0 \leq P_{grid_abs}(t) \leq P_{gridmax_abs}, \quad \forall t$$

$$0 \leq P_{grid_inj}(t) \leq P_{gridmax_inj}, \quad \forall t$$

$$SoC_{min} \leq SoC(t) \leq SoC_{max}, \quad \forall t$$

$$P_{grid_abs}(t), P_{grid_inj}(t), P_{disch}(t), P_{charge}(t), SoC(t) \in \mathbb{R}^+,$$

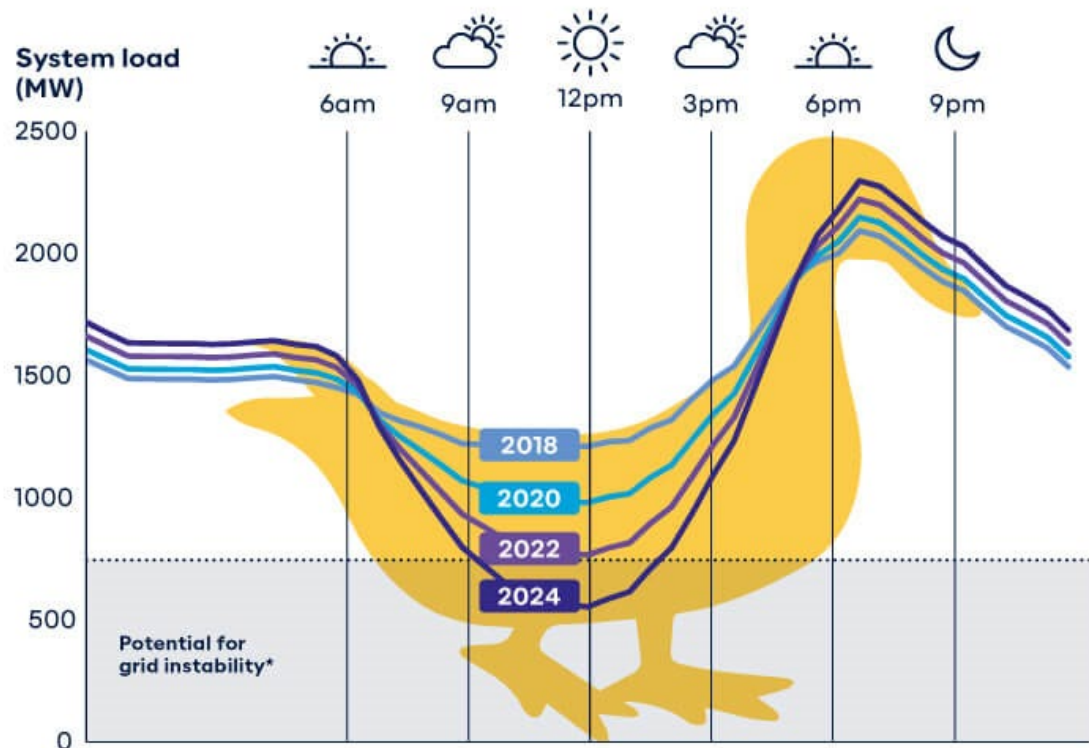
$$X_{bat}(t) \in \{0,1\}$$



Seminario: Gestión de Energía en Microrredes Eléctricas – Parte II

Adriana Carolina Luna Hernandez
adriana.luna4@upr.edu





Curva del Pato

Sobre-generación de energía solar

<https://www.synergy.net.au/Blog/2021/10/Everything-you-need-to-know-about-the-Duck-Curve>

Gestión de la Demanda en Sistemas de Potencia

Gestión del Lado de la Demanda (Demand Side Management - DMS)

- DSM abarca *actividades sistemáticas* de **empresas de servicios públicos y gubernamentales** diseñadas para *cambiar la cantidad y/o el momento del uso de la electricidad* por parte del cliente.
- Es un término general que incluye varios objetivos diferentes de forma de carga, incluida la *gestión de la carga* (load management - LM), la *eficiencia energética* (eficiencia energética - EE) y la *electrificación*.

Investigadores del Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI, por sus siglas en inglés) acuñaron el término DSM a principios de la década de 1980.

DSM - Terminología

- Energy Management

Planificación y operación de unidades de generación y consumo de energía

- Demand Side Management

Modificación de la demanda de energía por parte de los consumidores a través de diversos métodos, como incentivos financieros y cambio de comportamiento a través de la educación.

- Load Management

Proceso de equilibrar el suministro de electricidad en la red con la carga eléctrica ajustando o controlando la carga en lugar de la salida de la central eléctrica.

- Demand Response

Cambio en el consumo de energía de un cliente de servicios eléctricos para hacer coincidir mejor la demanda de energía con la oferta

DSM - Terminología (cont.)

- Energy Efficiency

Un objetivo para reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios

- Energy Conservation

Reducir el consumo de energía mediante un menor uso de un servicio de energía

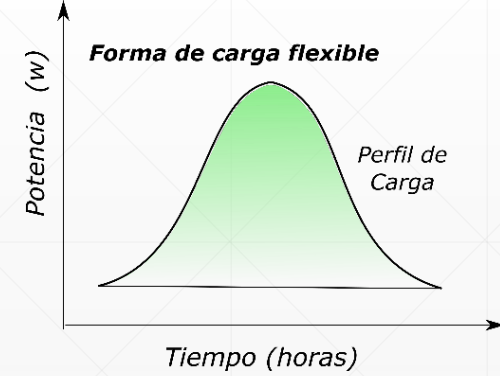
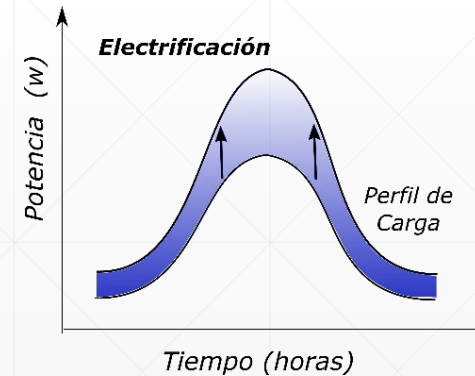
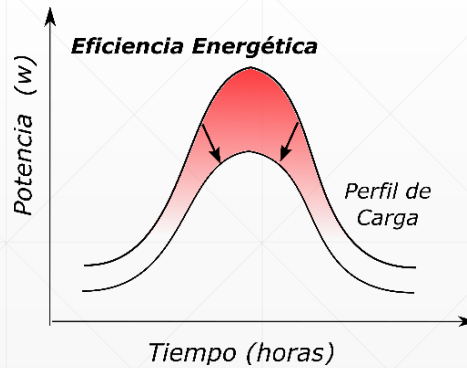
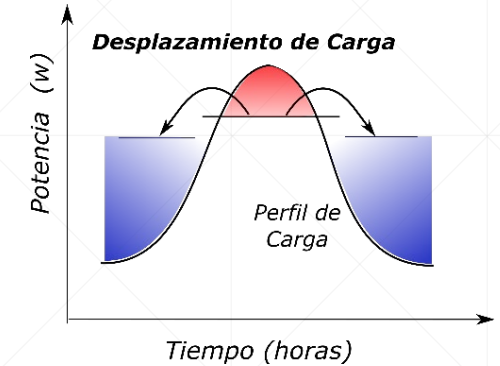
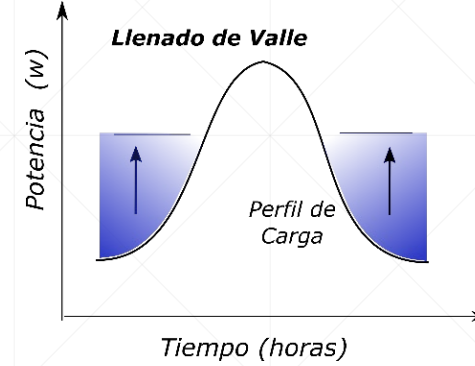
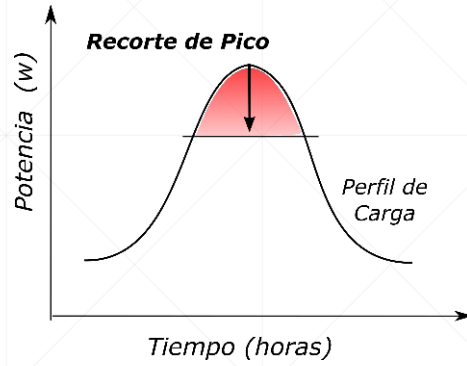
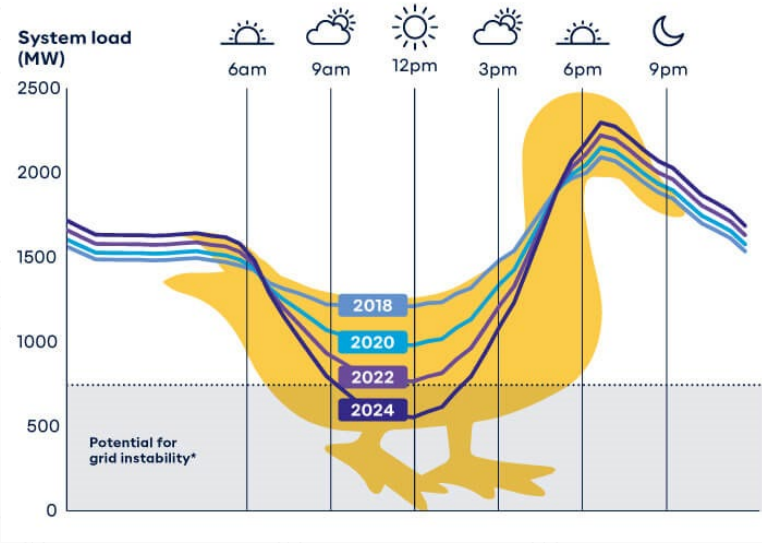
- Energy Audit

Inspección, estudio y análisis de flujos de energía, para la conservación de energía en un edificio, proceso o sistema para reducir la cantidad de entrada de energía en el sistema sin afectar negativamente la(s) salida(s)

- Energy Accounting

Medir, analizar y reportar el consumo de energía de diferentes actividades de forma regular

Efecto del DSM en la curva de carga

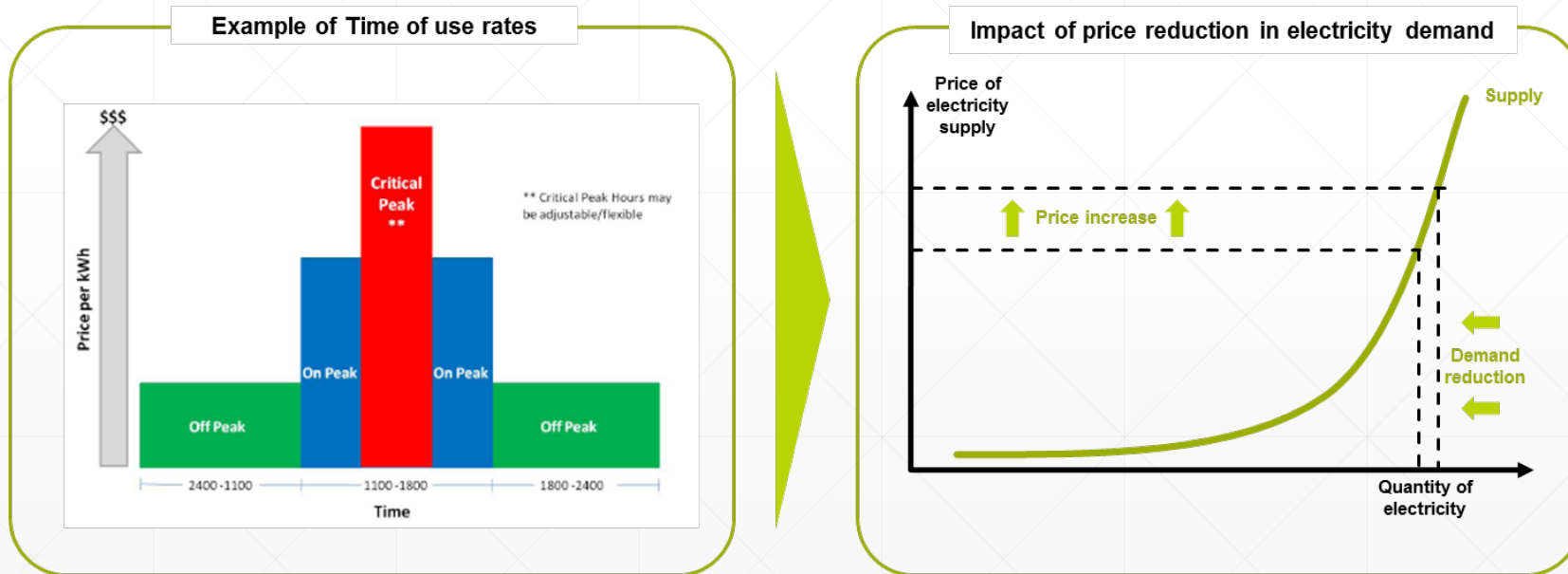


Procedimiento de diseño de DSM



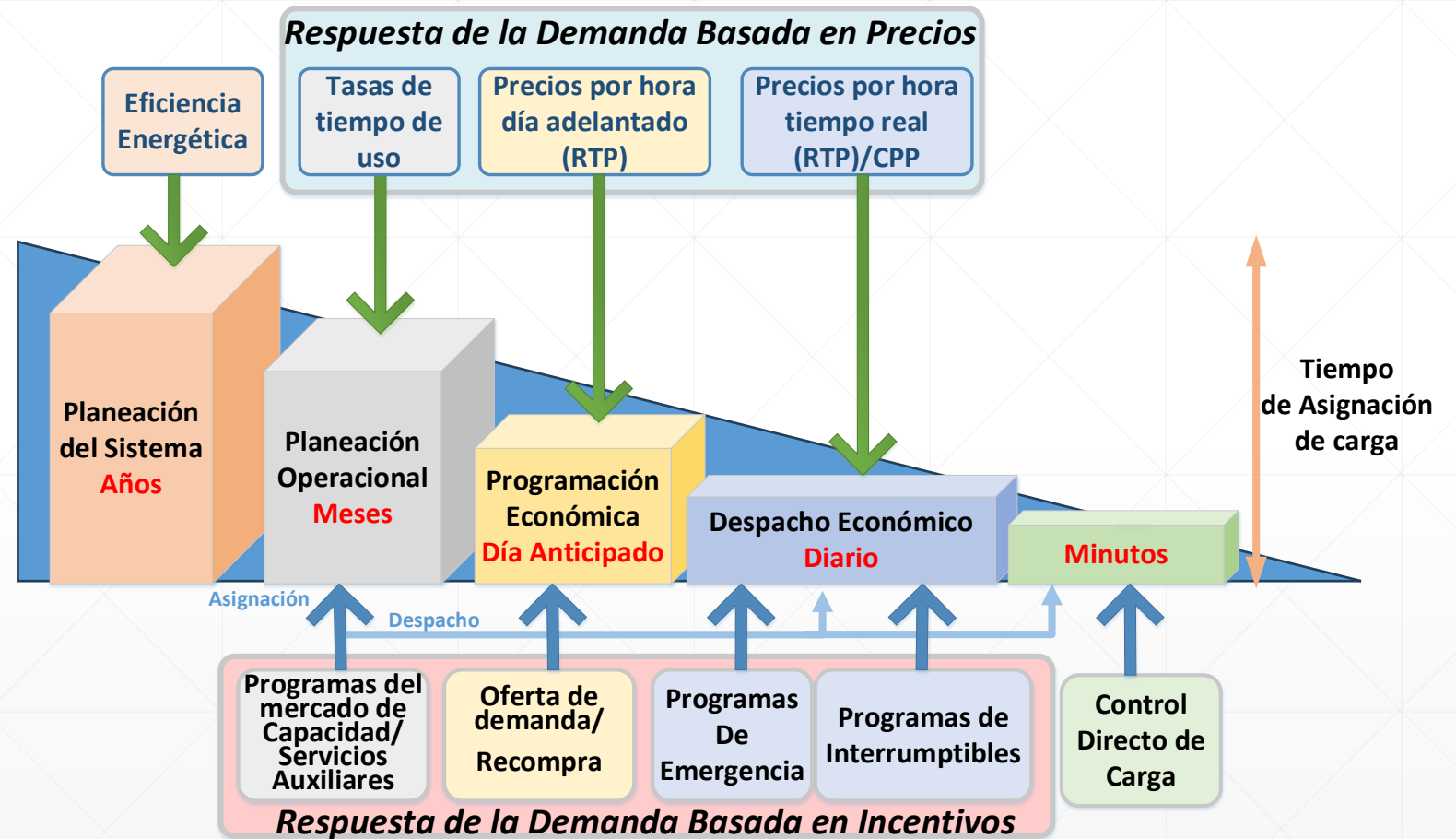
Respuesta a la Demanda (Demand Response – DR)

- Cambios en el uso de electricidad por parte de los clientes finales con respecto a sus patrones normales de consumo en respuesta a cambios en el precio de la electricidad a lo largo del tiempo, o a los pagos de incentivos.



Tipos de respuesta a la demanda

- Tasa de Tiempo de Uso: Time-of-use (ToU) rates
- Precios por hora día anticipado: Day-ahead hourly pricing (RTP)
- Precios por hora tiempo real: Real-time hourly pricing (RTP)/CPP



Programas basados en incentivos (IBP)

Incentivos de reducción de carga independientes o adicionales a su tarifa minorista de electricidad. Puede ser fija (basada en los costos promedio) o variable en el tiempo.

Las reducciones de carga son necesarias y se solicitan cuando el operador de la red cree que las condiciones de fiabilidad están comprometidas o cuando los precios son demasiado altos:

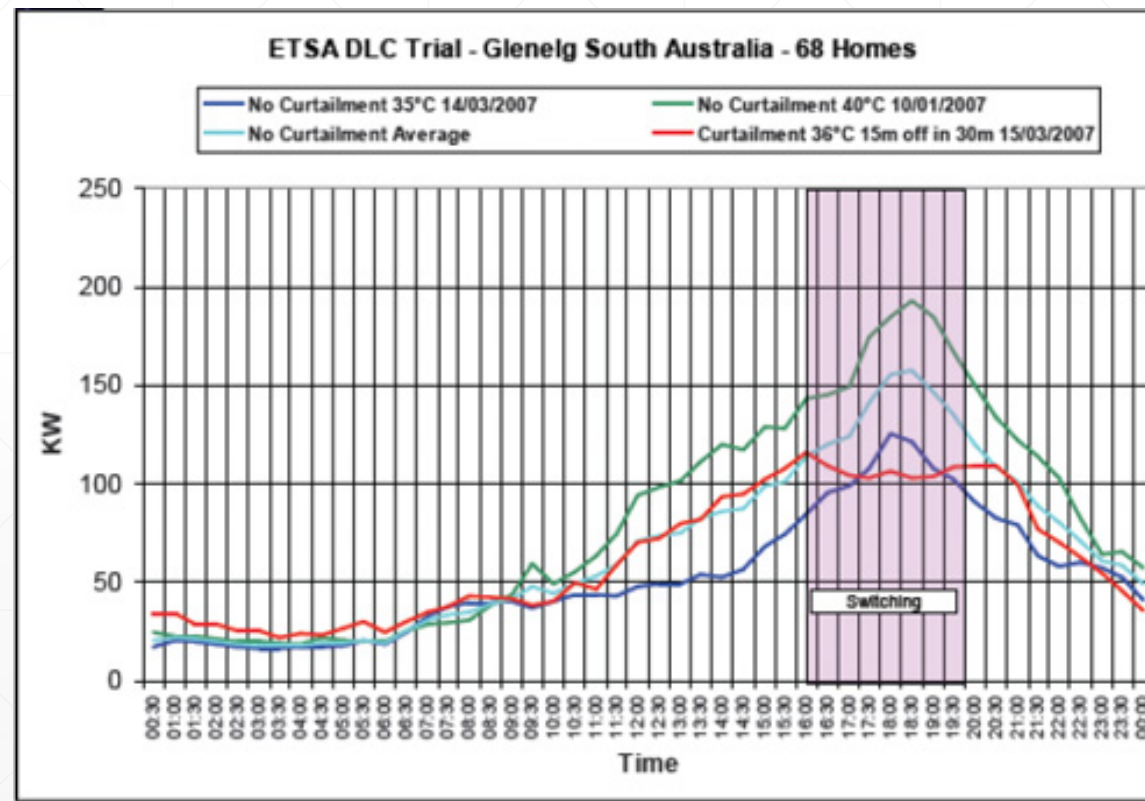
1. Direct Load Control (DLC)
2. Interruptible / Curtailable (I/C) Service
3. Demand Bidding / Buyback (DB)
4. Emergency Demand Response Programs (EDRP)
5. Capacity Market Programs (CAP)
6. Ancillary Services Market Programs (A/S)

IBP - Control de carga directa (DLC)

- Programas en los que un operador de servicios públicos o del sistema **apaga o cicla de forma remota el equipo eléctrico de un cliente** (por ejemplo, aire acondicionado, calentador de agua) con poca antelación para abordar contingencias de confiabilidad local o del sistema a cambio de un pago de incentivo o crédito en la factura
- El funcionamiento del DLC **suele producirse durante los momentos de máxima demanda del sistema**. Sin embargo, el DLC también se utiliza cuando es económico para evitar altas compras de electricidad en las horas punta.
- Los programas de control de carga directa se ofrecen principalmente a **clientes residenciales o comerciales pequeños**.

IBP - Control de carga directa (DLC)

- Programa de Control de Carga Directa de Aire Acondicionado de ETSA Utilities (Australia)

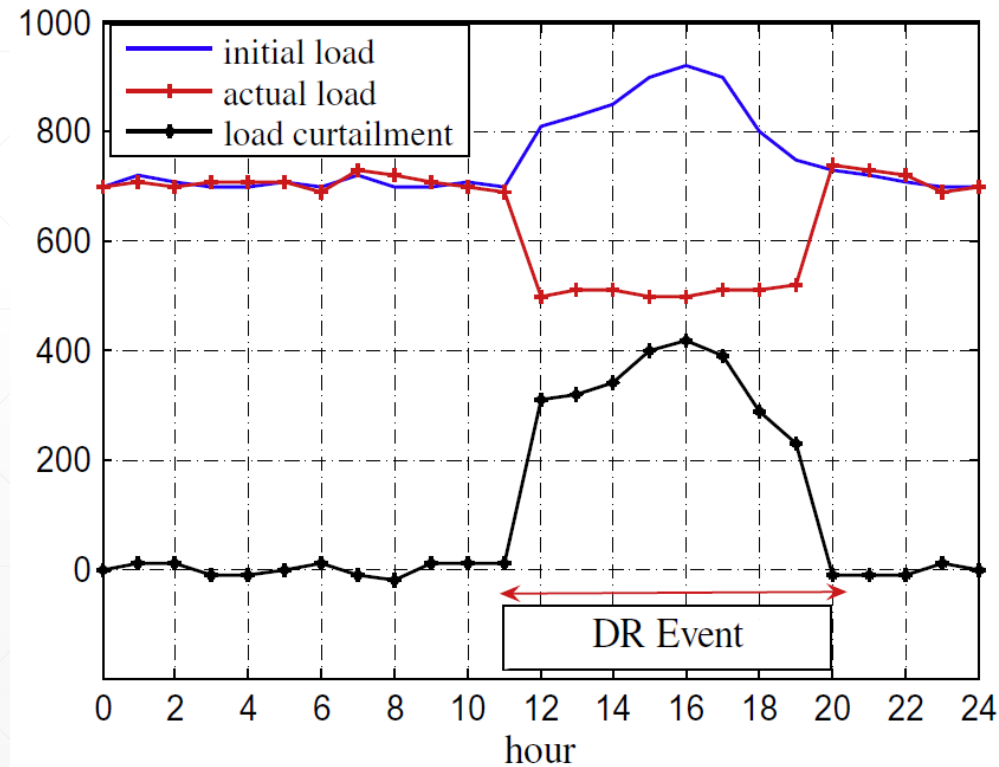


IBP - Interruptible /Curtable (I/C) Service

- Los clientes en el servicio I/C **reciben un descuento en la tarifa o un crédito en la factura a cambio de aceptar reducir la carga durante las contingencias del sistema.** Si los clientes no reducen, pueden ser penalizados.
- Las tarifas de I/C difieren de las alternativas de respuesta a la demanda de emergencia y del programa de capacidad porque generalmente son ofrecidas por una empresa de servicios eléctricos o una entidad de servicio de carga, y la **empresa de servicios públicos/entidad de servicio de carga (LSE) tiene la capacidad de implementar el programa cuando sea necesario.**
- Tradicionalmente, los programas interrumpibles se han ofrecido solo a los **clientes industriales (o comerciales) más grandes.**

IBP - Interruptible /Curtable (I/C) Service

- Los clientes acuerdan reducir un bloque específico de carga eléctrica o reducir su consumo a un nivel preespecificado



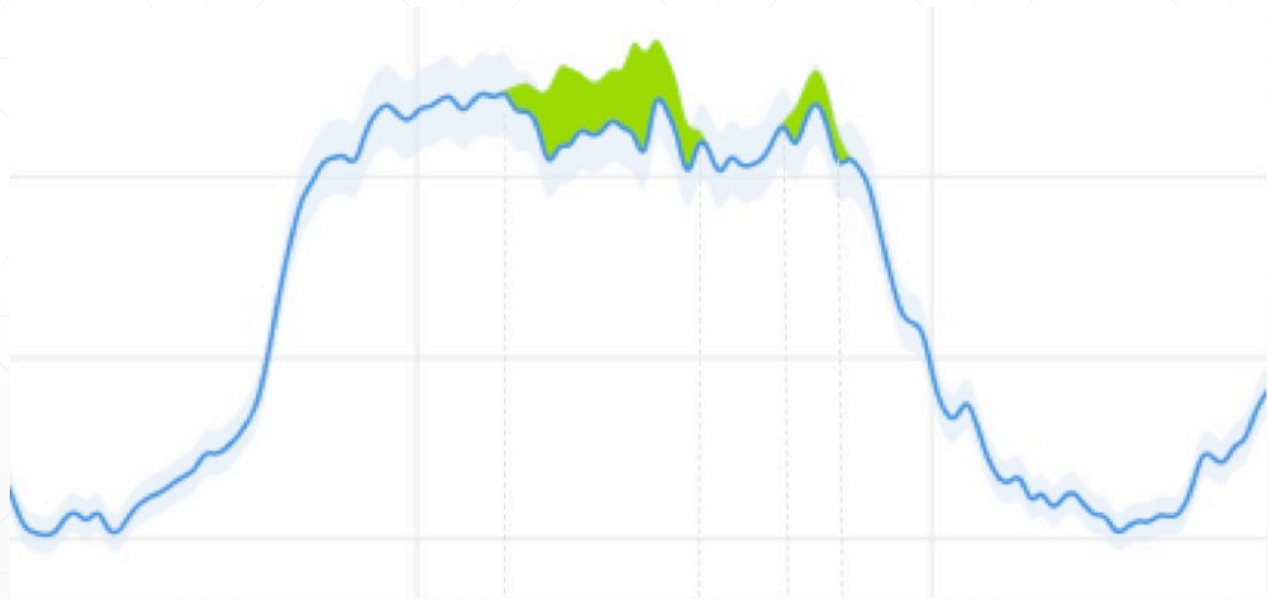
IBP - Demand Bidding / Buyback (DB)

- Un programa de DR en el que los clientes o los proveedores de servicios de restricción ofrecen ofertas para reducir (curtail) **en función de los precios del mercado mayorista de electricidad o su equivalente.**
- Se ofrece principalmente a **clientes grandes** (por ejemplo, un MW o más), pero los clientes de menor carga poder ser agregados por proveedores de servicios de restricción (curtailment) y ofertar en el patrocinador del programa de licitación por demanda.

IBP - Programas de Respuesta a la Demanda de Emergencia (EDRP)

- Los programas de respuesta a la demanda de emergencia proporcionan pagos de incentivos a los clientes por reducir sus cargas durante eventos desencadenados por la confiabilidad, pero la reducción es voluntaria.
- Los clientes pueden optar por renunciar al pago y no reducirlo cuando se les notifica y no son penalizados.
- Por lo general, el nivel del pago se especifica de antemano.

IBP - Programas de Respuesta a la Demanda de Emergencia (EDRP)



IBP - Programas de Mercado de Capacidad (CAP)

- Los clientes se comprometen a proporcionar reducciones de carga preespecificadas cuando surgen contingencias en el sistema, y están sujetos a sanciones si no se reducen cuando se les indica.
- Los programas de mercado de capacidad pueden ser vistos como una forma de seguro.

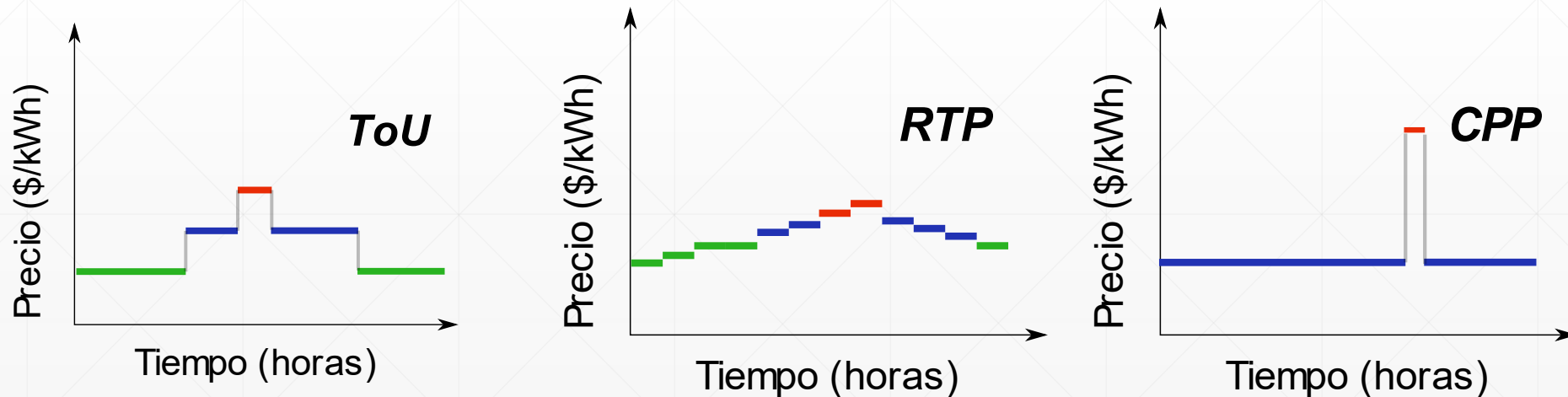
IBP - Ancillary Services Market Programs (A/S)

- Los programas de servicios auxiliares permiten a los clientes ofertar reducciones de carga en los mercados ISO como reservas operativas:
 - Si sus ofertas son aceptadas, se les paga el precio de mercado por comprometerse a estar en espera
 - Si es necesario reducir su carga, la ISO los llama y se les puede pagar el precio de la energía en el mercado al contado

Programas basados en Tiempo (TBP)

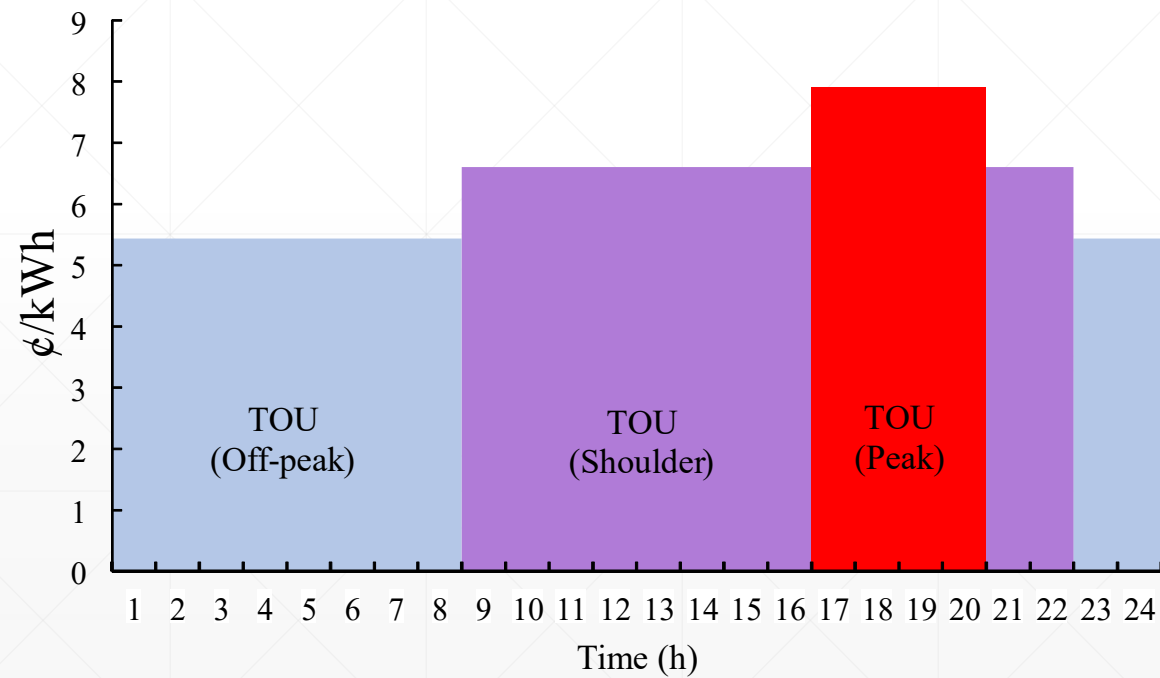
Los precios de la electricidad fluctúan (en mayor o menor medida) en función de los costes subyacentes de producción de electricidad; Las modificaciones de la carga del cliente son totalmente voluntarias:

1. Tiempo de uso (TOU)
2. Precios en tiempo real (RTP)
3. Precios de picos críticos (CPP)



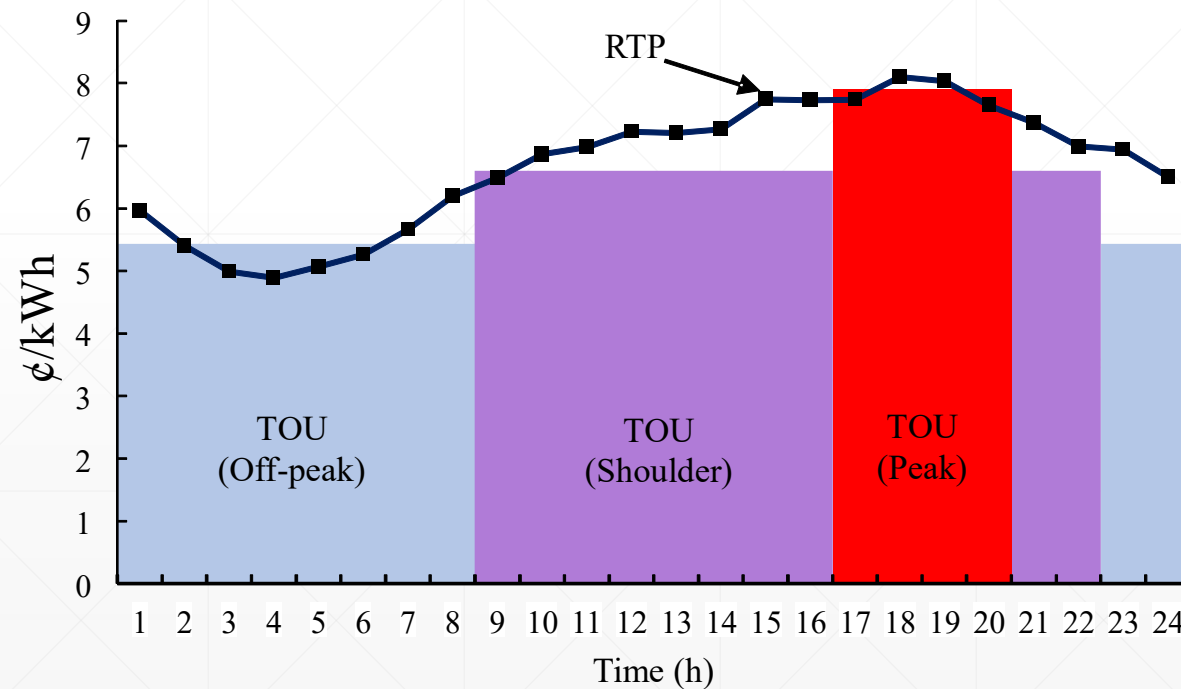
TBP- Time-Of-Use (TOU)

- Estas tasas diarias de energía o energía y demanda se diferencian por períodos pico y valle (y posiblemente de periodo intermedio - shoulder).



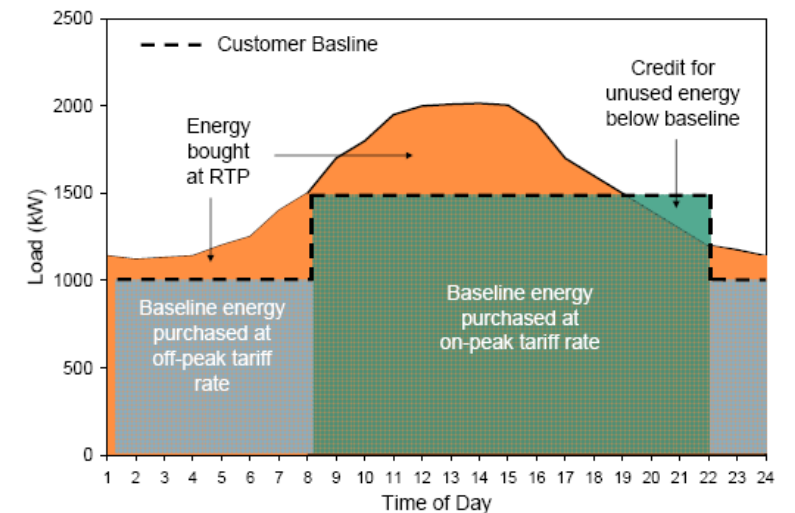
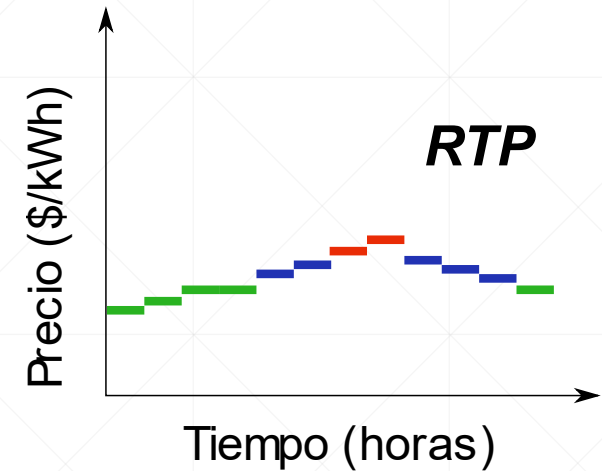
TBP- Precios en tiempo real (RTP)

- RTP vincula los precios por hora con los cambios horarios en el costo de la energía del día (en tiempo real) o del día siguiente



Tipos de Precios en tiempo real (RTP)

- Una opción es la fijación de precios "por una parte" ('one-part' pricing), en la que todo el uso se fija por hora (spot price).
- Un segundo enfoque es la fijación de precios en "dos partes" ('two-part' pricing):



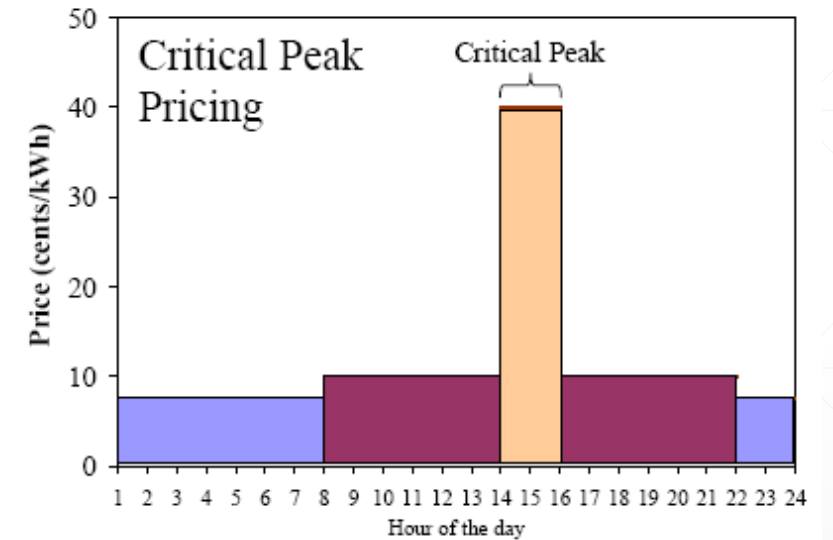
Tipos de RTP (Day-Ahead Real-Time Pricing)

➤ Day-Ahead Real-Time Pricing (DA-RTP)

- A los clientes de DA-RTP se les notifican con un día de antelación los precios para cada una de las 24 horas del día siguiente.
- Esto da tiempo a los clientes para planificar sus respuestas

TBP- Precios máximos críticos (CPP)

- Las tarifas CPP son un híbrido del diseño TOU y RTP.
- La estructura básica de tarifas es TOU. Sin embargo, se sustituye el precio máximo normal por un precio de evento CPP mucho más alto en condiciones de activación específicas.
- El CPP está restringido a un pequeño número de horas al año, es mucho más alto que un precio máximo normal y se desconoce su momento antes de ser llamado.



Variaciones de CPP

1. CPP de plazo fijo (CPP-F)
2. CPP de período variable (CPP-V)
3. Precios máximos variables (VPP)
4. Reembolsos de picos críticos

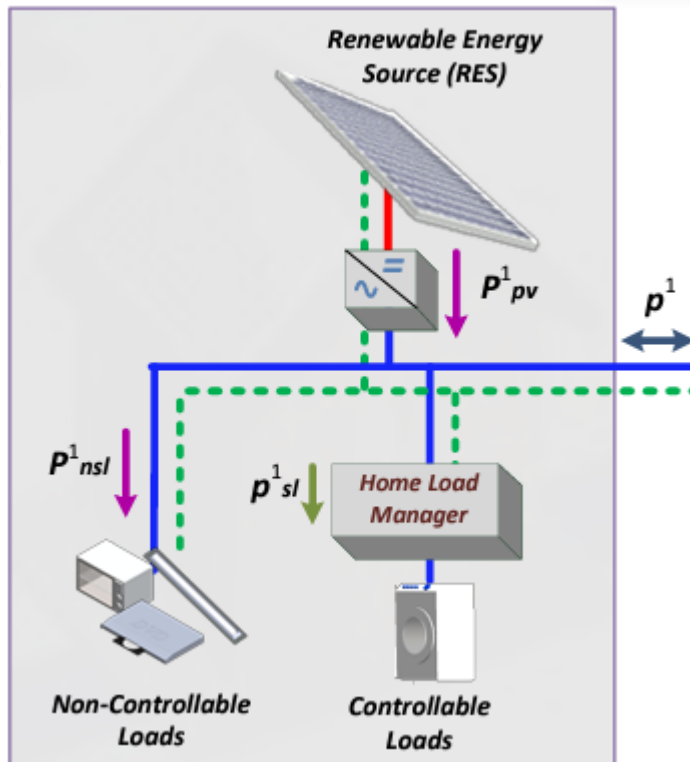
El tiempo y la duración del aumento de precios están predeterminados, pero los días en que se convocarán los eventos no lo están.

El tiempo, duración y día del aumento de precios no están predeterminados. Por lo general, los eventos se convocan por un día.

Los clientes siguen con tarifas fijas, pero reciben reembolsos por las reducciones de carga que producen durante los períodos pico críticos.

Los precios en horas valle (off-peak) y del período intermedio (shoulder) se establecerían por adelantado durante un período de tiempo determinado, como un mes o más.

Household 1



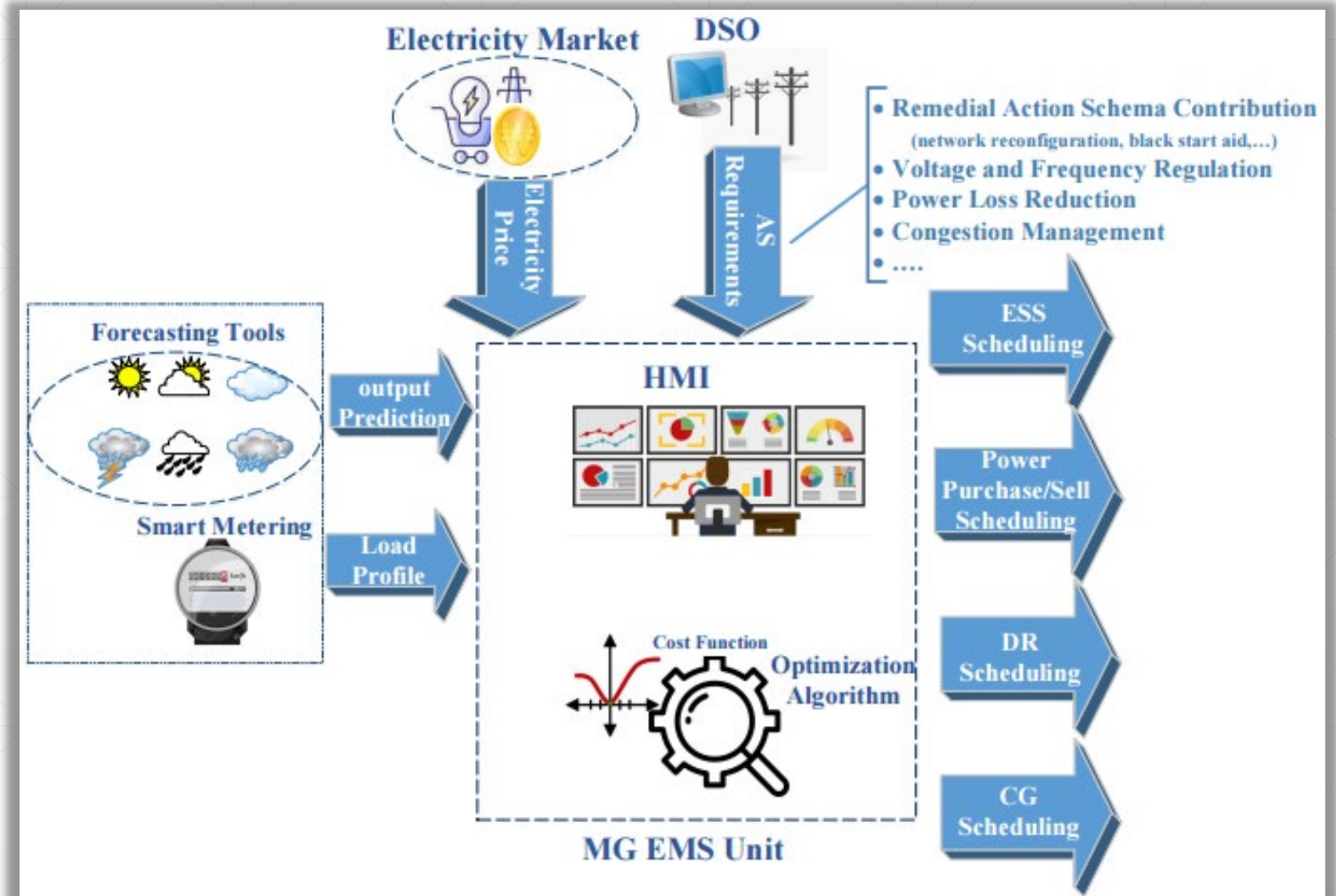
Gestión de Energía desde el lado de la demanda en Microrredes

Economic Dispatch + Unit Commitment

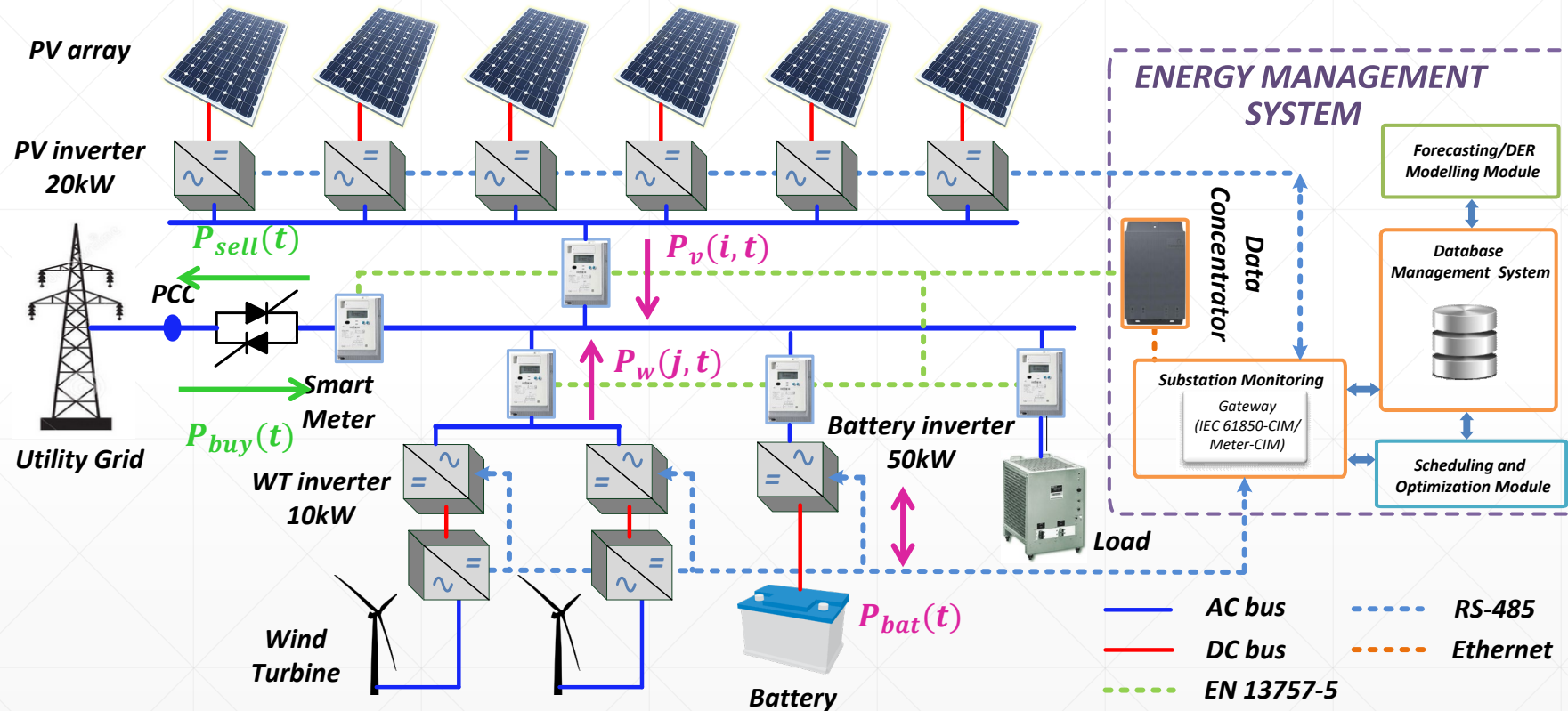
Gestion de Microrredes desde el lado de la Demanda

Un posible enfoque:

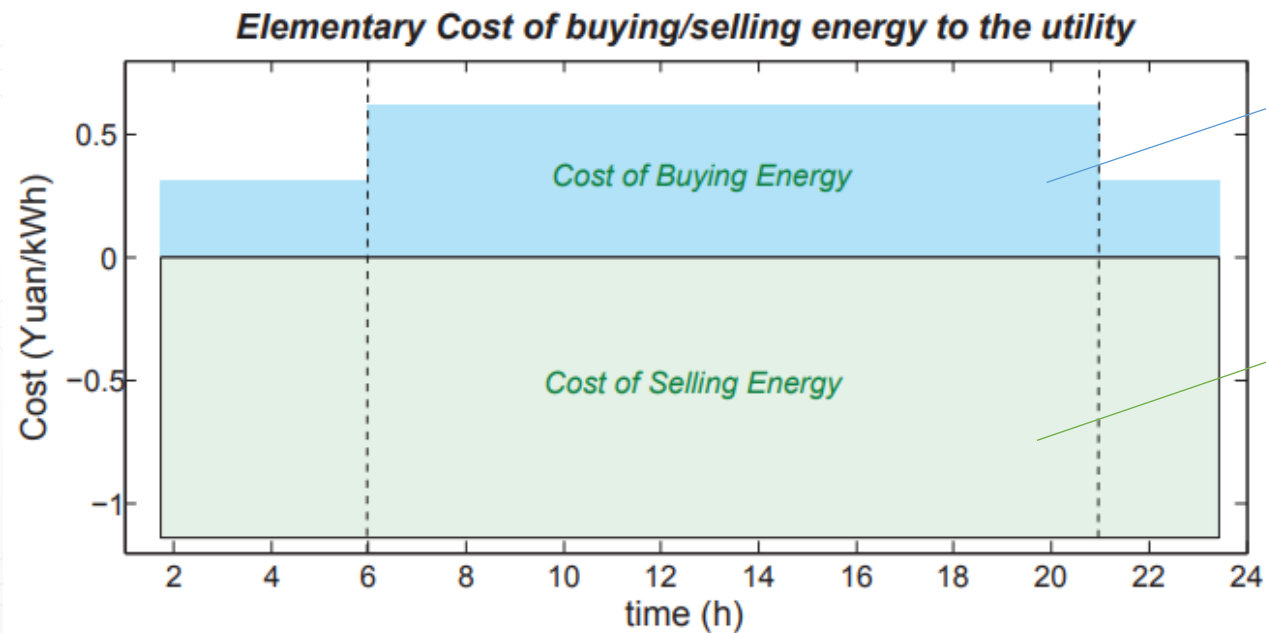
- Usar DR como información exógena
- Integrar Load Management (LM) en el algoritmo de EMS



Ejemplo Gestion de Microrredes incluyendo Gestion de la Demanda



Ejemplo Gestion de Microrredes incluyendo Gestion de la Demanda



ToU:
0.617 (Yuan/kWh) -> from 6:00 to 18:00
0.307 (Yuan/kWh) -> at night

Incentivo por generación PV:
1.147 (Yuan/kWh).

Ejemplo LM – Carga Interrumpible

Balance de Energía

$$\{P_{buy}(t) * \Delta t - P_{sell}(t) * \Delta t\} + \sum_{i=1}^{n_p} X_{pv}(i, t) * P_{PV_max}(i, t) * \Delta t + \sum_{j=1}^{n_w} P_w(j, t) * \Delta t + P_{bat} * \Delta t = P_{load}(t) * \Delta t + P_{load}^{int} * \Delta t * x_{load}^{int}(t)$$

P_{load}^{int}

Parametro: power level of interruptible load

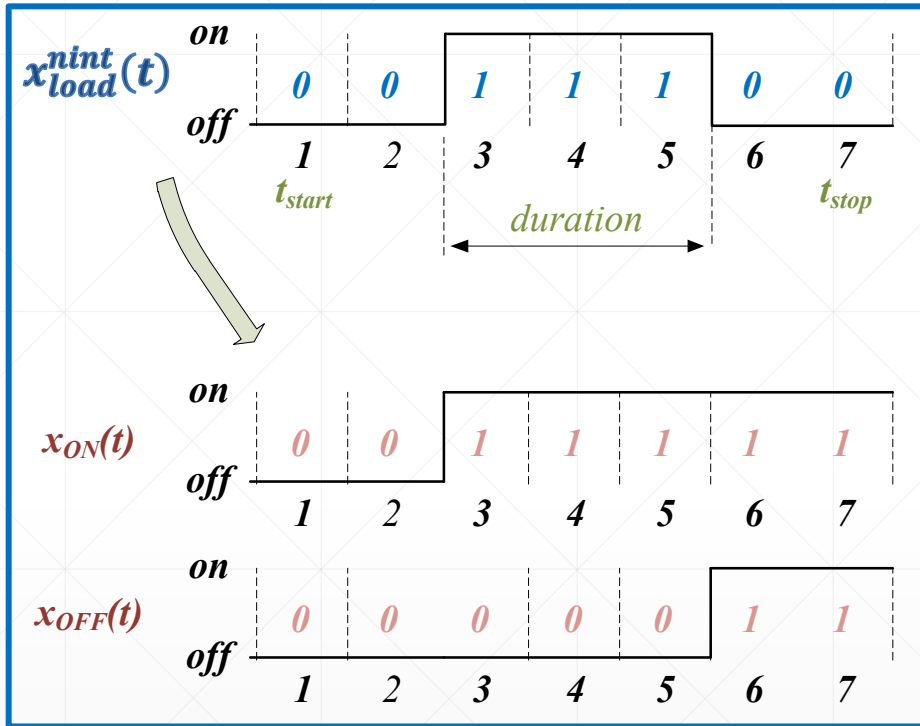
$x_{load}^{int}(t)$

Variable (**binary**): status of the interruptible load at each t

$$\sum_{j=1}^{n_w} x_{load}^{int}(t) \geq n_{load}^{min}$$

Minimo número de conexiones de la carga

Ejemplo LM - Carga No Interrumpible



$$x_{load}^{nint}(t) = x_{ON}(t) - x_{OFF}(t)$$

$$\sum_{t=1}^T x_{load}^{nint}(t) * \Delta t = duration$$

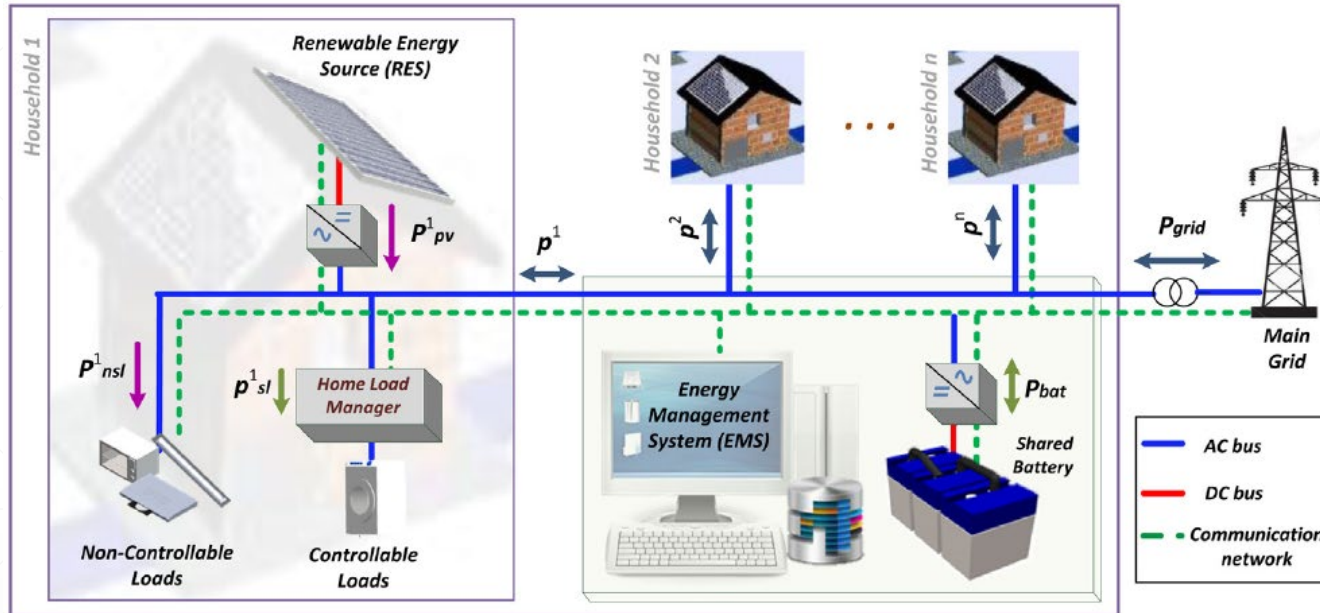
$$x_{ON}(t + 1) \geq x_{ON}(t)$$

$$x_{OFF}(t + 1) \geq x_{OFF}(t)$$

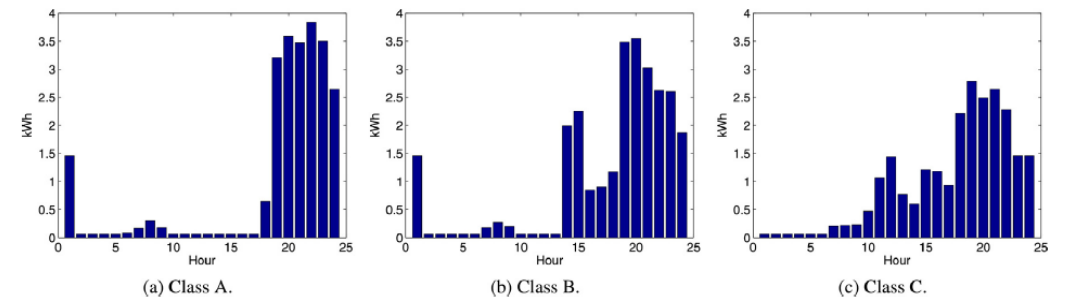
$$\sum_{t=1}^T (1 - x_{ON}(t)) * \Delta t \geq t_{start}$$

$$\sum_{t=1}^T (1 - x_{ON}(t)) * \Delta t \leq t_{stop}$$

Ejemplo 2. ESS comunitaria – Gestion de Demanda



Different classes of household are considered.



Each of them with shiftable appliances.

Appliances:

- ▶ Dishwashers
- ▶ Washing machines
- ▶ Clothes Dryers
- ▶ Plug-in Electric Vehicles

Parameters:

- ▶ Average consumption
- ▶ Operation time
- ▶ Preferable use time

Demand Management

- ▶ Scheduling of usages for the appliances.

Microgrids – Research Perspectives

Objetivos

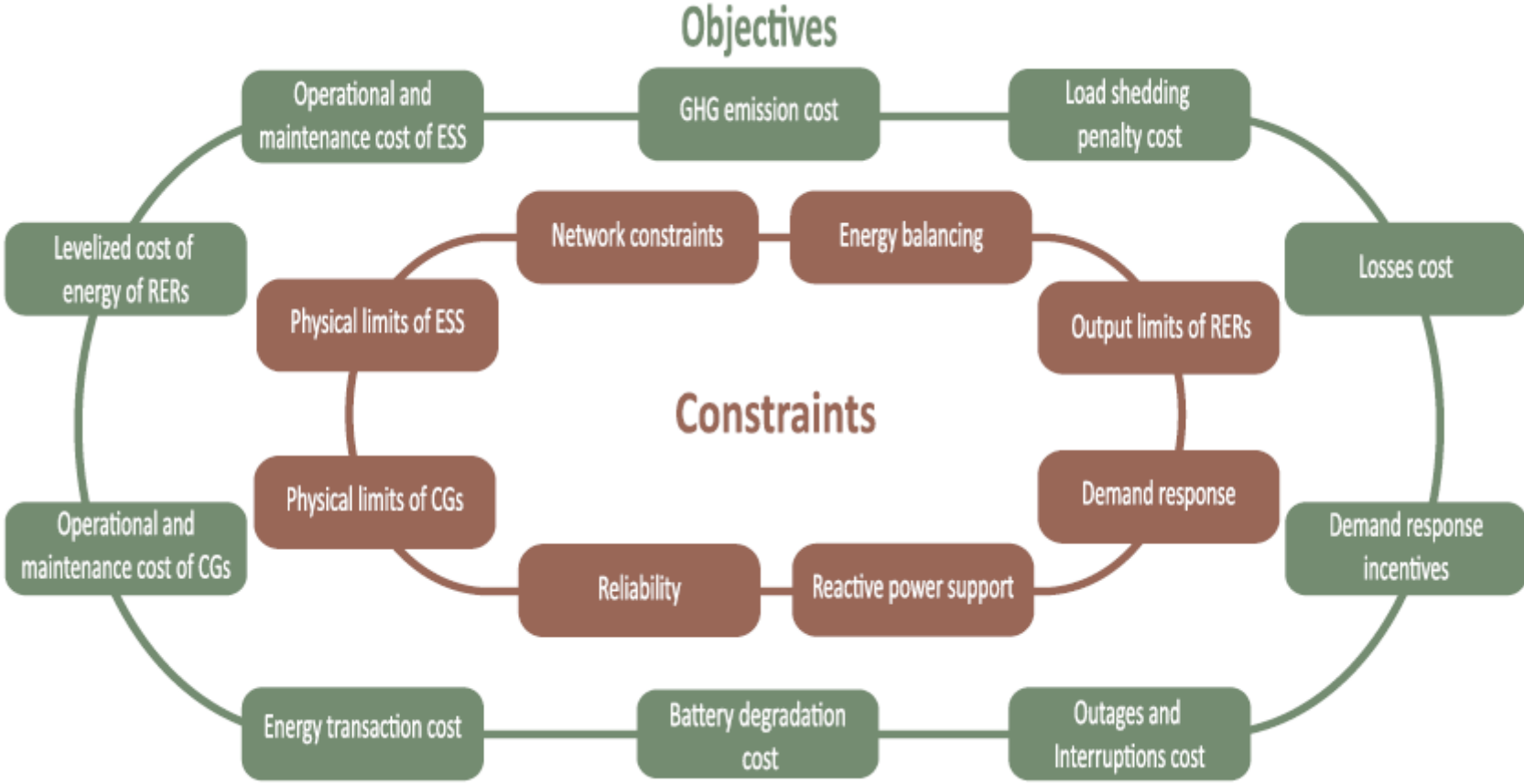


Fig. 7. Energy management strategies of MG.

Source: Zia, Muhammad Fahad & Elbouchikhi, Elhoussin & Benbouzid, Mohamed. (2018). Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects. Applied Energy. 222. 1033-1055.

1. Cooperation between prosumers

Prosumers.

Consumers become prosumers when they internally generate and consume energy looking for an autonomous operation.



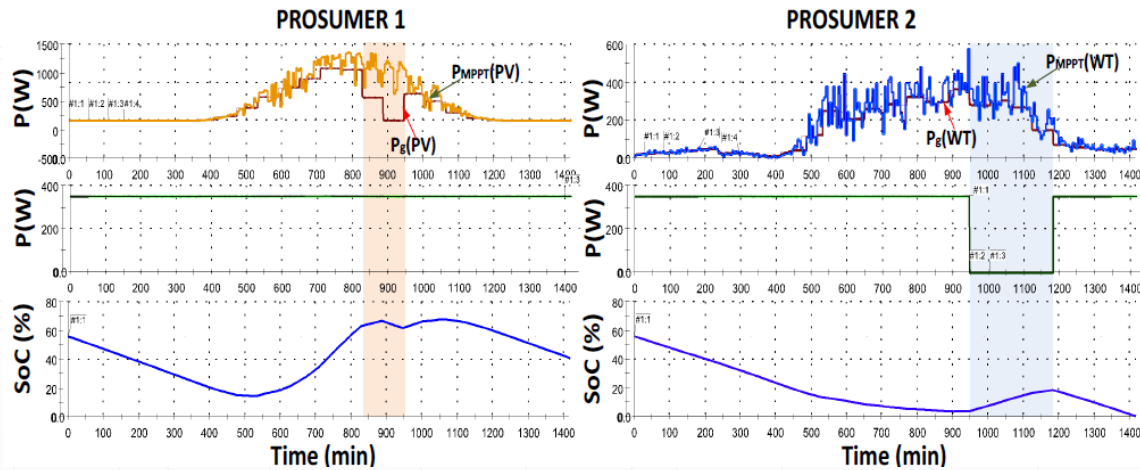
Cluster of household prosumers in an islanded MG

The prosumers in a neighborhood can cooperate between them.

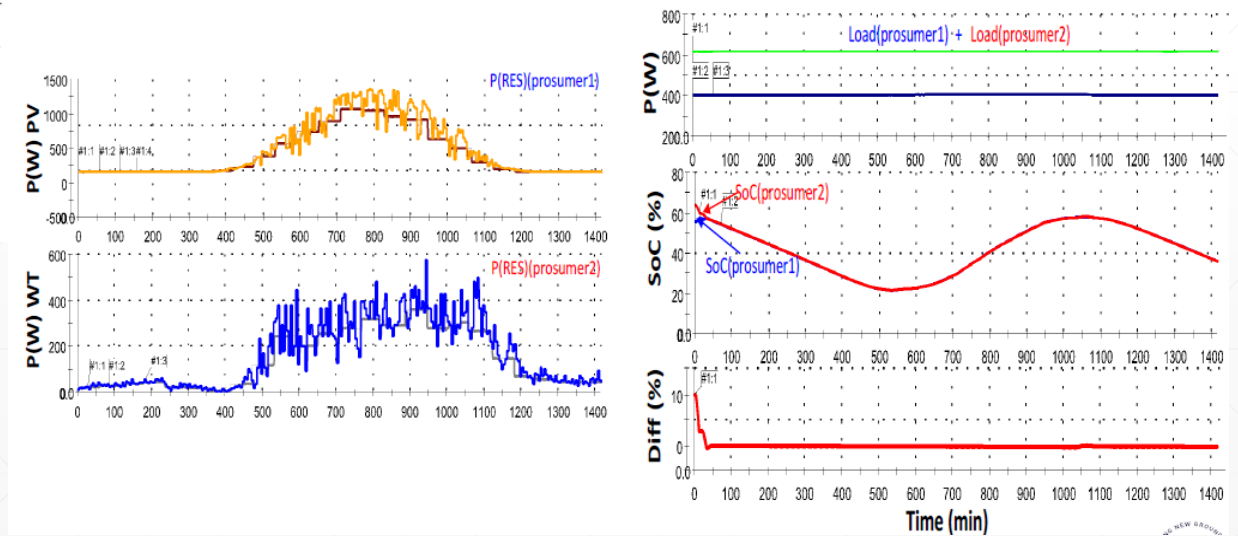


Cooperation between prosumers in a MG Experimental Implementation

Experimental Results
Independent prosumer operation

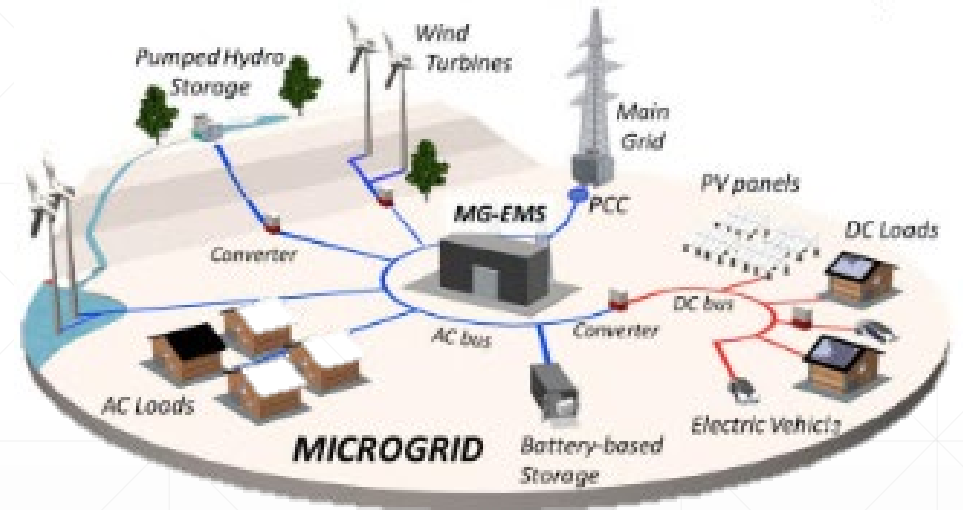


Experimental Results
Cooperative operation



Otros temas: ESS y EV en MGs

- V2G systems
- Smart operation scheduling of V2G systems
- VPP considerando ESS
- Transactive energy strategies
- Digital twin



Final Remarks



DER and MG allow resilience and confiability in islanded areas.



Consider the interoperability and cooperative strategies between MG.



ESS, EV, and other DER – enable more functionality.



Impact Assessment – DER, MG-EMS, interconexion



Transactive Energy (bussiness, privacy)



Current trends: IoT, Cloud Computing Resources Big Data, Blockchain

Seminario: Gestión de Energía en Microrredes Eléctricas

*Gracias por su
atención*



Adriana Carolina Luna Hernández
Adriana.luna4@upr.edu



UPR
Recinto Universitario de Mayagüez