



# Energética 2030: Retos de la Integración de Recursos Energéticos Distribuidos

*Ernesto Pérez González - eperezg@unal.edu.co*



# COLOMBIA CIENTÍFICA

Conocimiento Global para el Desarrollo

ICETEX

## ENERGETICA 2030

Es la alianza de instituciones que obtuvo el mejor puntaje en la Convocatoria Colombia Científica para contribuir en los retos de Energía del país.



USD 12 millones



Energía



4 Años



Más de 200 investigadores



8 Instituciones de Educación Superior Nacionales



4 Empresas



10 Universidades top 300 Shanghai



1 Instituto Internacional Top 5 Thomson Reuters



# RETOS EN ENERGÍA

¿Cómo mejorar la eficiencia en el uso de combustibles fósiles?

¿Cómo sustituir el uso de combustibles fósiles?

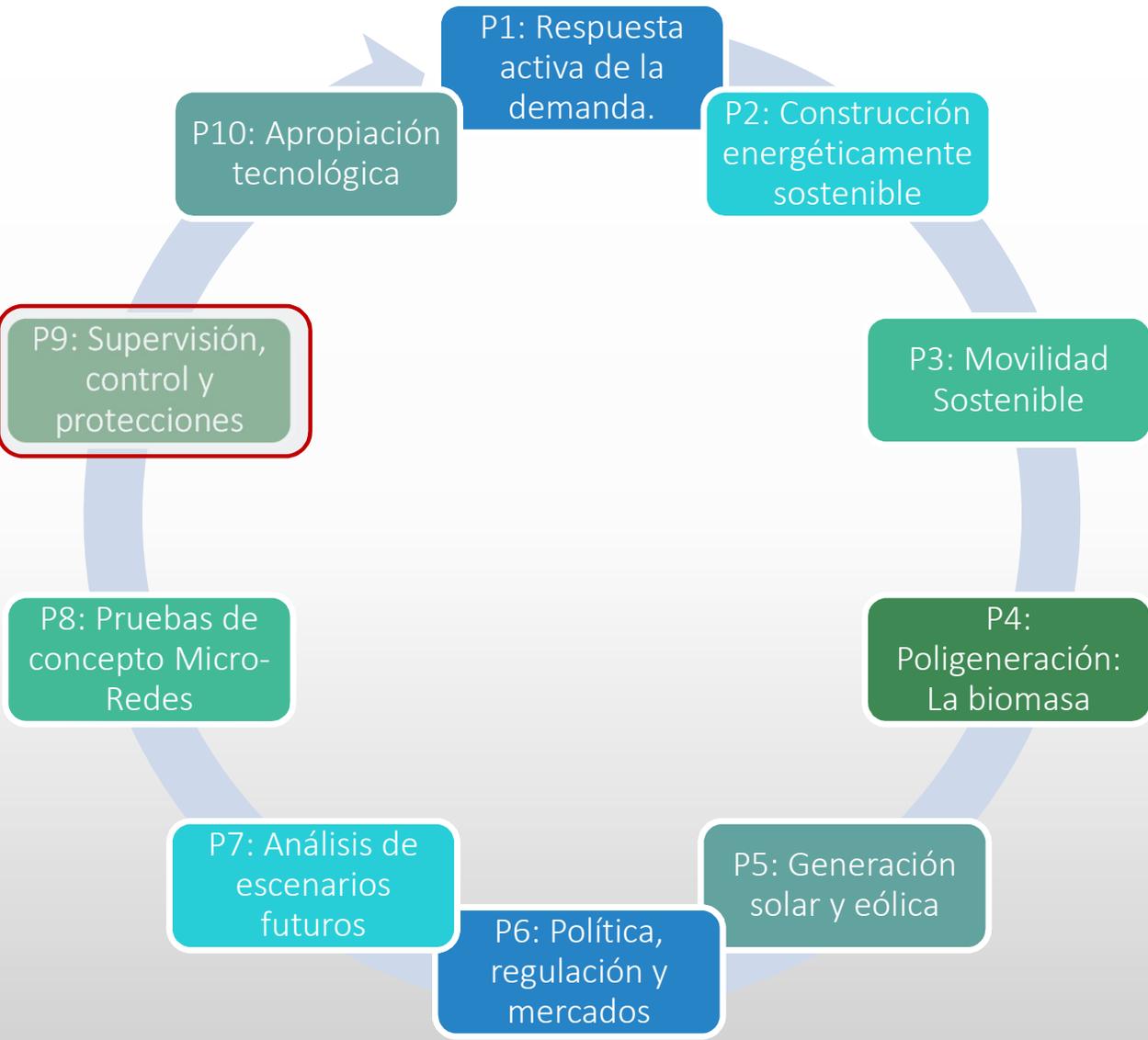
¿Cómo aumentar la eficiencia y la viabilidad financiera de fuentes no convencionales de energía renovable?

¿Cómo se debe operar y coordinar un sistema con profunda participación de fuentes no convencionales de energía renovable?

¿Cómo se debe elegir la matriz de generación en zonas no interconectadas?

¿Cuáles deben ser las características de un mercado de energía con nuevos tipos de generación?

¿Cómo resolver las barreras sociales, hábitos regionales o culturales que ponen en riesgo la sostenibilidad de algún tipo de fuente no convencional de energía renovable?



# Proyectos

# Contenido

Tendencias en  
Generación



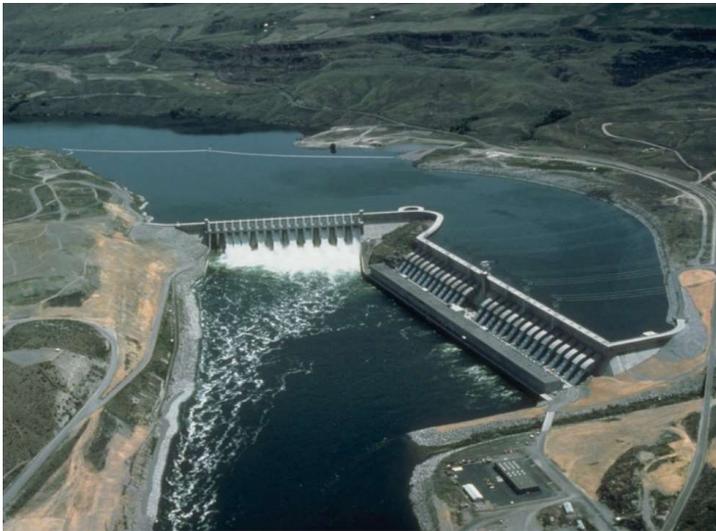
Tendencias en  
Demanda



Operación De  
Sistemas Eléctricos

Retos Despacho,  
Protección,  
Supervisión, Control





# Tendencias en generación

---

# Características

## Generación tradicional

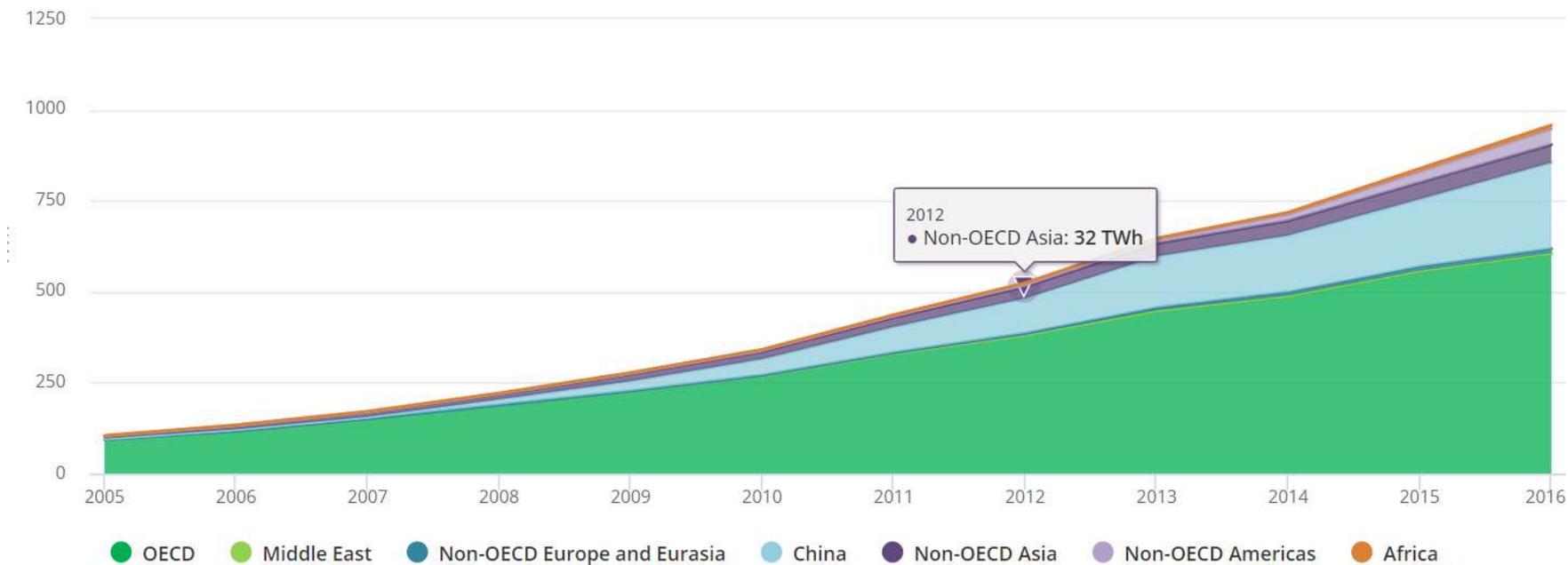
- Grandes Plantas de Generación
- Plantas Menores < 10%
- Generación Hidráulica
- Generación Térmica
- Producción Predecible



## Nueva tendencia generación

- Alta penetración de plantas menores >10%
- Alta variabilidad de la potencia generada
- Alta incertidumbre en la predicción del energético
- Tecnologías basadas en electrónica de potencia
- Producción energía flujos no planeados.

## World wind electricity production by region, TWh

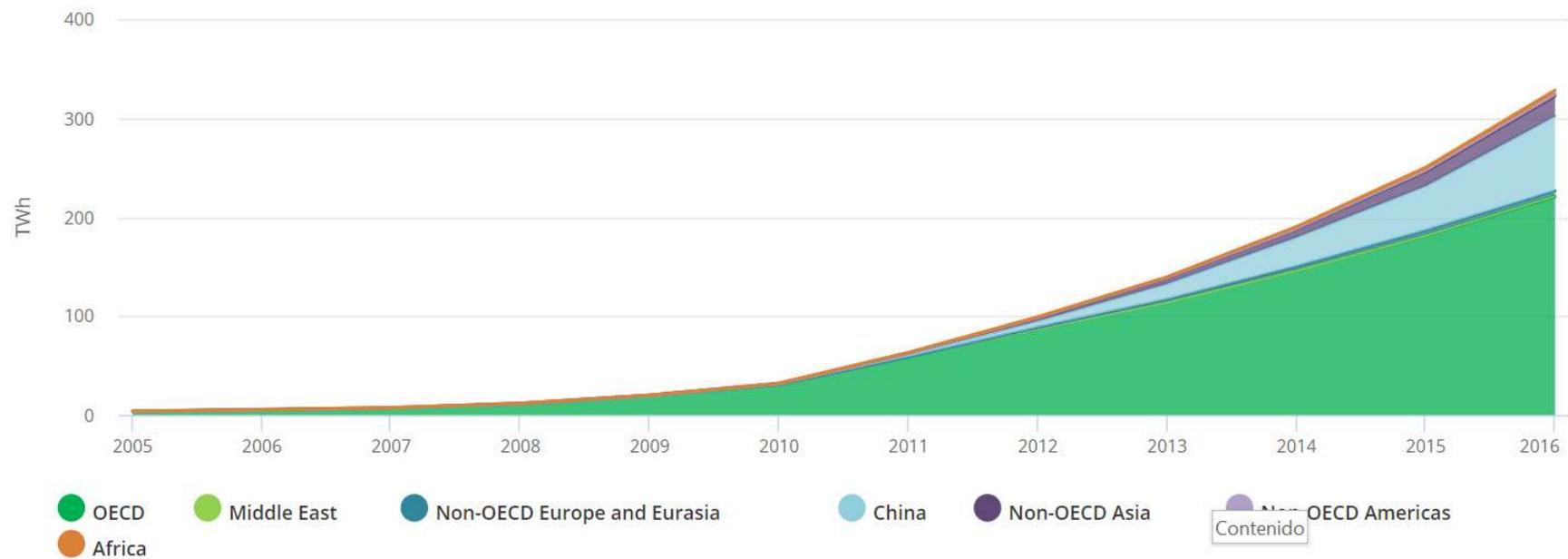


Tomado de International Energy Agency iea: <https://www.iea.org/statistics/kwes/supply/>



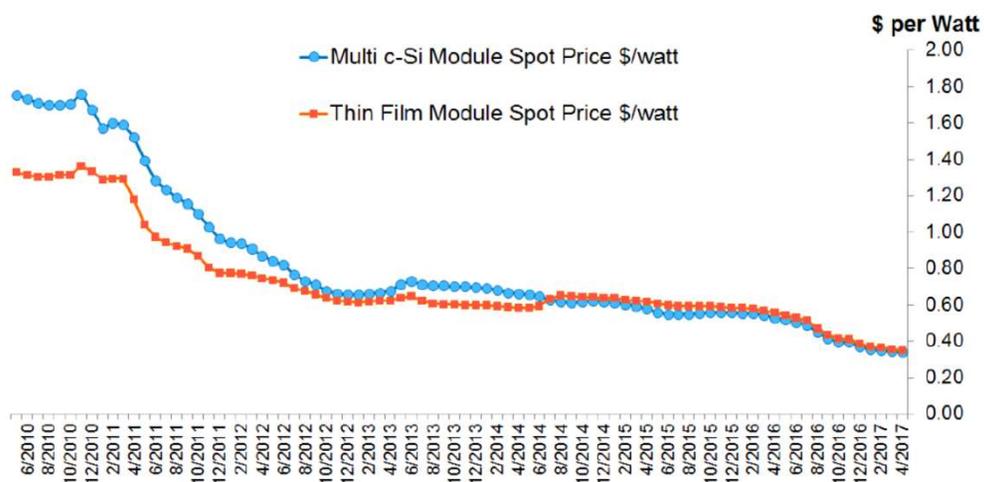
# Producción

World solar PV electricity production by region, TWh



Tomado de International Energy Agency iea: <https://www.iea.org/statistics/kwes/supply/>

# Costo energía solar

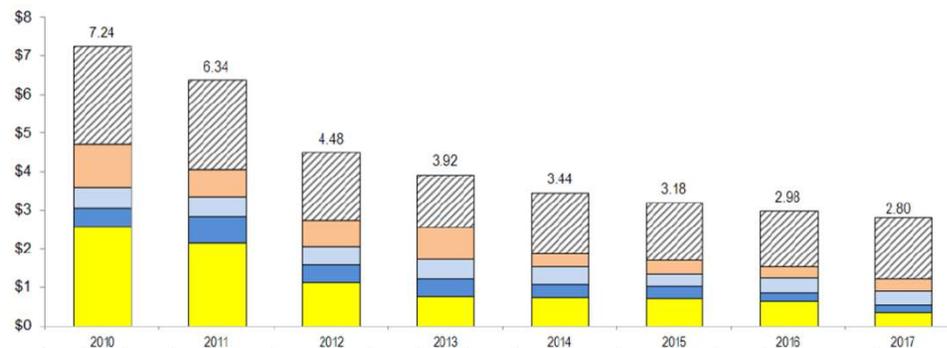


Ex-factory gate price (spot prices) for U.S. crystalline-silicon modules from Bloomberg (2017) data

Tomado de:

Ran Fu, David Feldman, Robert Margolis, Mike Woodhouse, and Kristen Ardani "U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2017 ". NREL September 2017

- ▨ Soft Costs - Other (PII, Sales Tax, Overhead, and Net Profit)
- ▨ Soft Costs - Install Labor
- ▨ Hardware BOS - Structural and Electrical Components
- ▨ Inverter
- ▨ Module



NREL residential PV system cost benchmark summary (inflation adjusted), Q4 2009–Q1 2017

# Regulaciones

Resolución CREG 030 de 2018

Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional



Cortesía: Solenium



# Regulaciones

## POLITICS

WHITE HOUSE | POLICY | DEFENSE | CONGRESS | ELECTIONS | EUROPE | CHINA | ASIA

### California regulators approve plan to mandate solar panels on new home construction

- California regulators Wednesday approved a historic plan to mandate rooftop solar panels on most new single-family homes built in the state.
- The California Energy Commission's action is expected to add on average about \$9,500 to the cost of building new houses.
- The solar mandate, which goes into effect in 2020, received the support of homebuilder and solar trade associations as well as several large utilities.
- But some experts warn that increasing the cost to build new homes will only worsen the state's affordable housing crisis.

Jeff Daniels | @jeffdanielsca

Published 3:08 PM ET Wed, 9 May 2018 | Updated 9:09 PM ET Wed, 9 May 2018

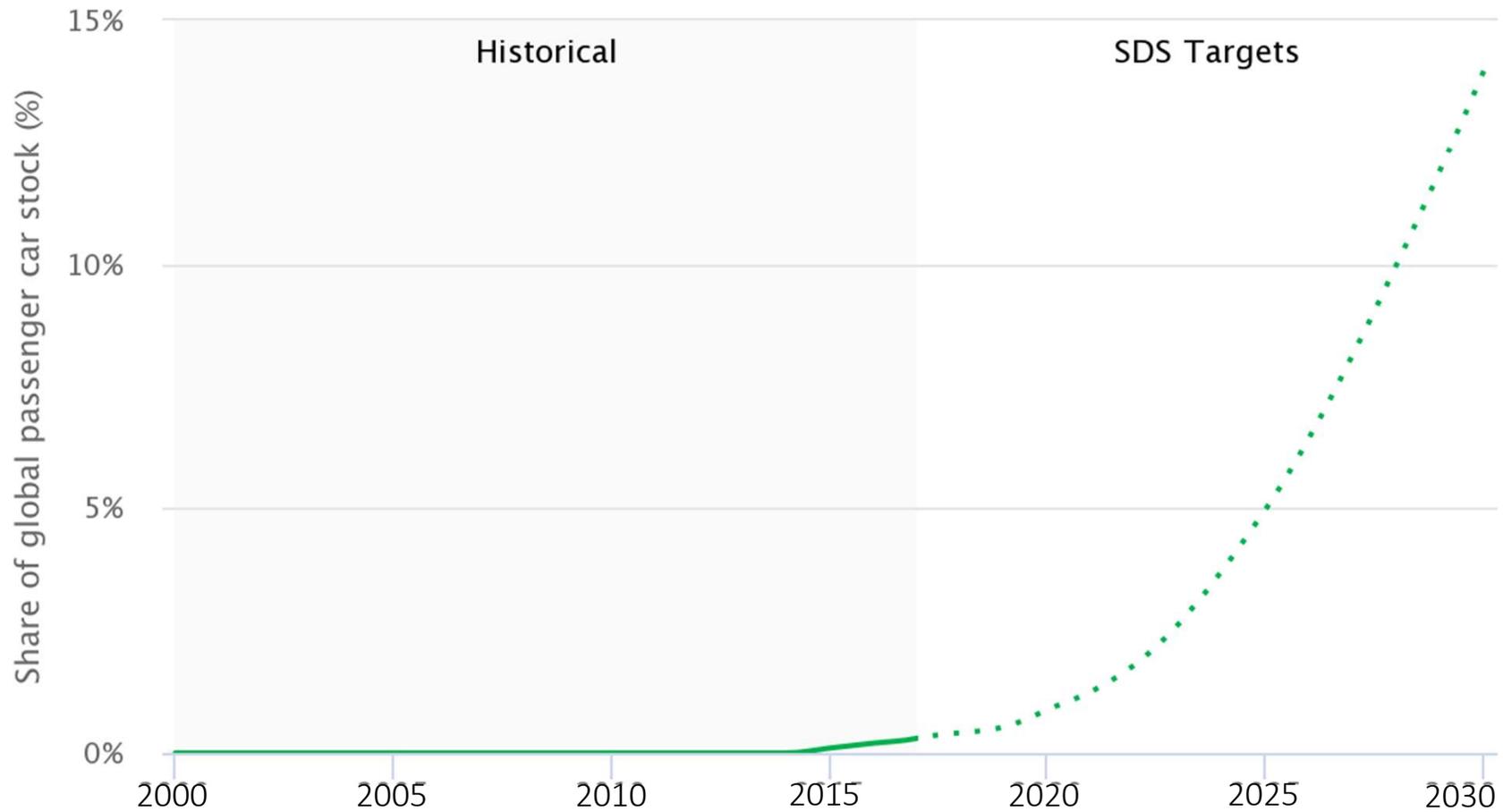


# Demanda

- Transición de energía de combustibles fósiles a Energía Eléctrica producida por energías renovables
  - Sector industrial
  - Respuesta demanda
  - Eficiencia energética
  - Sector transporte
    - Incremento demanda
    - Demanda móvil



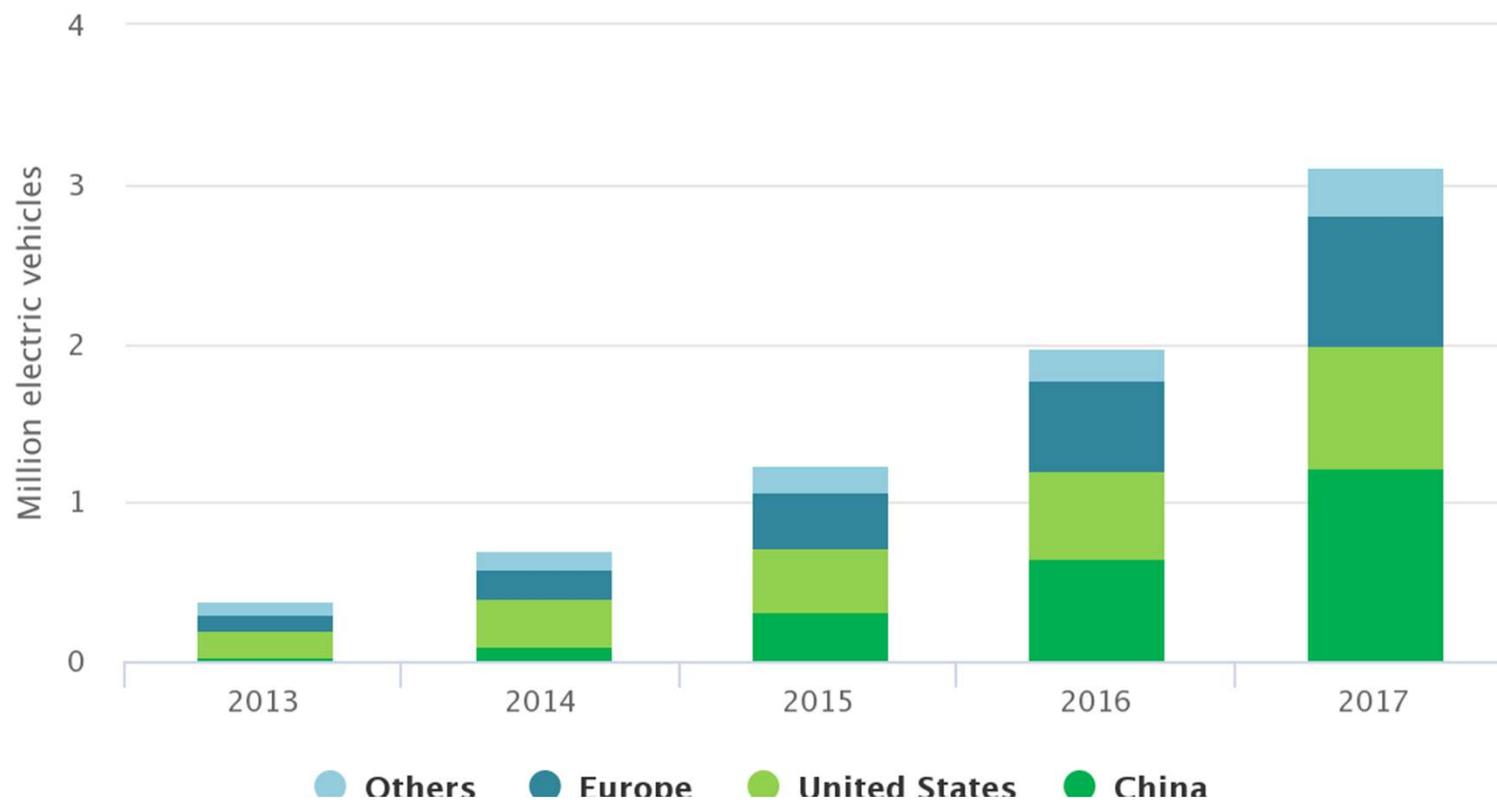
## Electric car share in the SDS



Tomado de International Energy Agency [iea](https://www.iea.org/statistics/kwes/supply/): <https://www.iea.org/statistics/kwes/supply/>



## Evolution of the global electric car stock



# Modelo de Penetración de VE

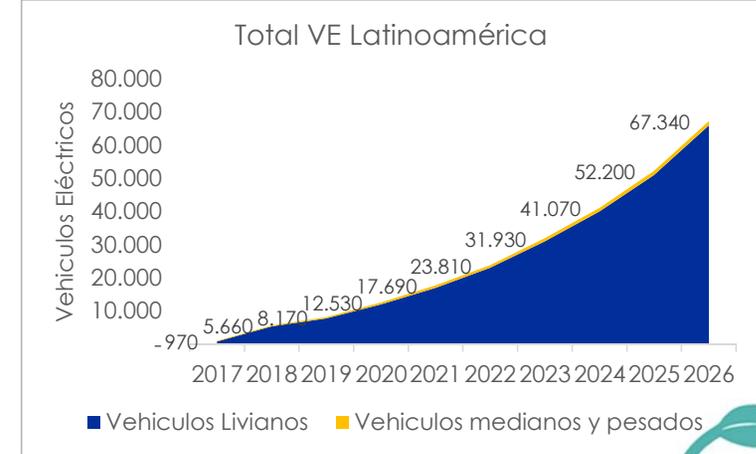
Modelo de penetración con probabilidad de adoptar la tecnología

Nivel	Voltaje	Modo carga	Protección	Potencia
Nivel 1	120 V AC	-	Ninguno o interruptor en el cable	1.2–1.8 kW AC
		Modo 1	Ninguno	3.6–11 kW AC
Nivel 2	200-240 V AC	Modo 2	Piloto e interruptor en el cable	3.6–22 kW AC
		Modo 3	Piloto e interruptor en estación de carga	3.6–22 kW AC
Carga Rápida	400-1000 V DC	Modo 4	Monitoreo y comunicación entre el vehículo y el EVSE	250 kW o mas



Proyecciones en Colombia apuntan a 600 mil VE en 2030

Nivel	Modo carga	Potencia Coincidente	% de la potencia max 2030
Nivel 1	-	1.080	8%
	Modo 1	6.600	51%
Nivel 2	Modo 2	13.200	101%
	Modo 3	13.200	101%
Carga Rápida	Modo 4	150.000	1153%



## These countries want to ban gas and diesel cars

**Britain:** The U.K. said in July that it would ban sales of new gasoline and diesel cars starting in **2040** as part of a bid to clean up the country's air.

**France:** The government says that it wants to end sales of gas and diesel-powered vehicles by **2040** as it fights global warming.

**Germany:** Merkel, who is seeking a fourth term as chancellor, was asked last month if it would make sense for Germany to set a deadline to end sales of cars fitted only with gas or diesel engines.

**India:** The government said earlier this year that every vehicle sold in the country should be powered by electricity by **2030**

**Norway:** The government's transportation plan outlines a clear target: All new passenger cars and vans sold in **2025** should be zero-emission vehicles.



ESTAS SON LAS PROMESAS QUE HIZO EL ALCALDE FEDERICO GUTIÉRREZ



## Medellín promete que para 2030 tendrá calles libres de combustibles fósiles

Medio Ambiente 13 Sep 2018 - 9:00 PM

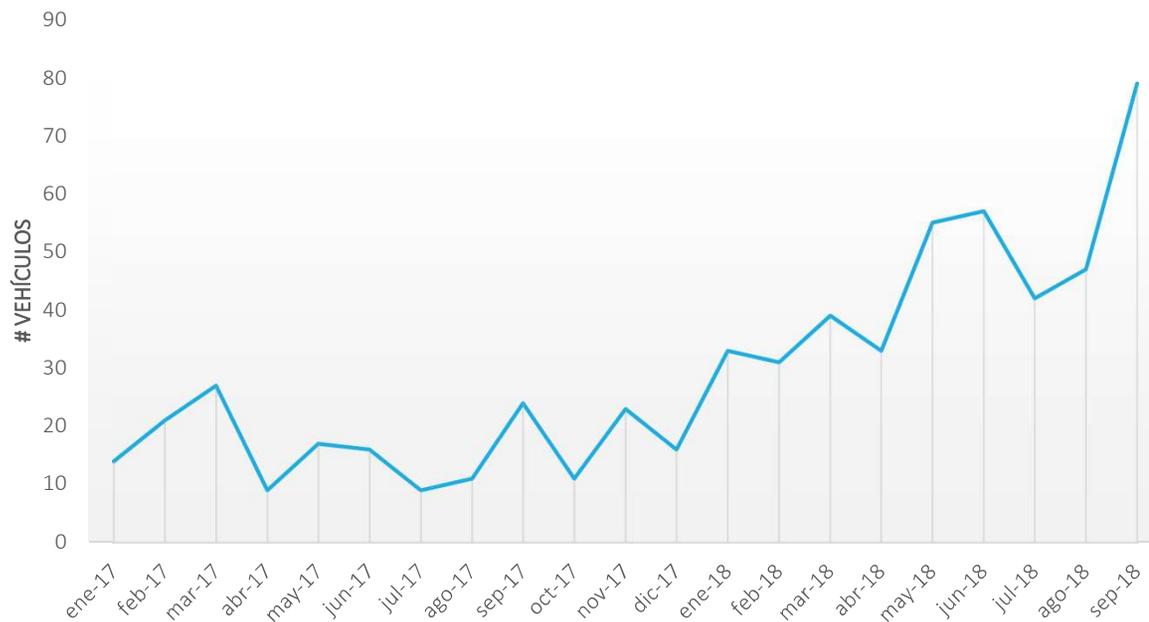
Por: Maria Paula Rubiano\*

En la Global Climate Action Summit, realizada en San Francisco (EE. UU.), la ciudad se sumó a los compromisos para volver 100 % eléctrica su flota de transporte para 2025 y descarbonizar completamente áreas de la ciudad para 2030.



# Vehículos Eléctricos Colombia

Venta de Vehículos Eléctricos e Híbridos en Colombia



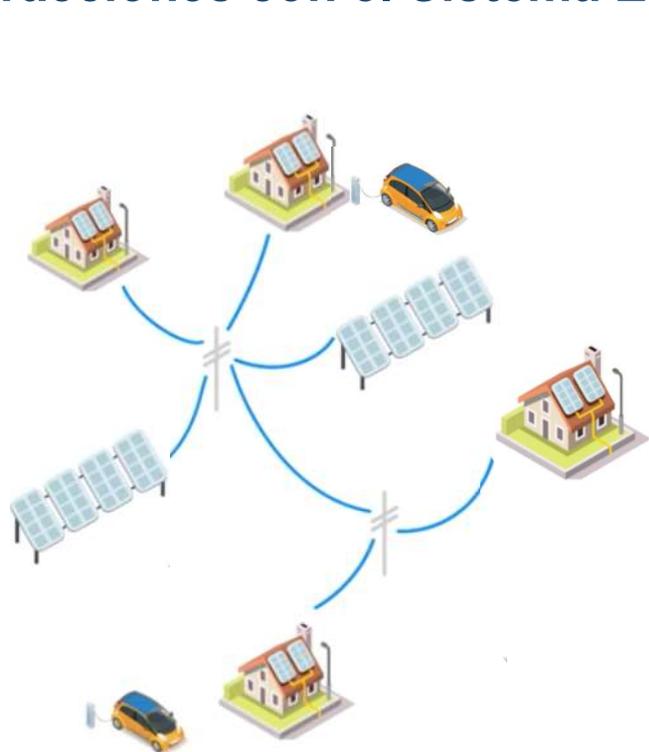
Tomado de [www.andemos.org](http://www.andemos.org)

Proyecciones en Colombia apuntan a 600 mil VE en 2030

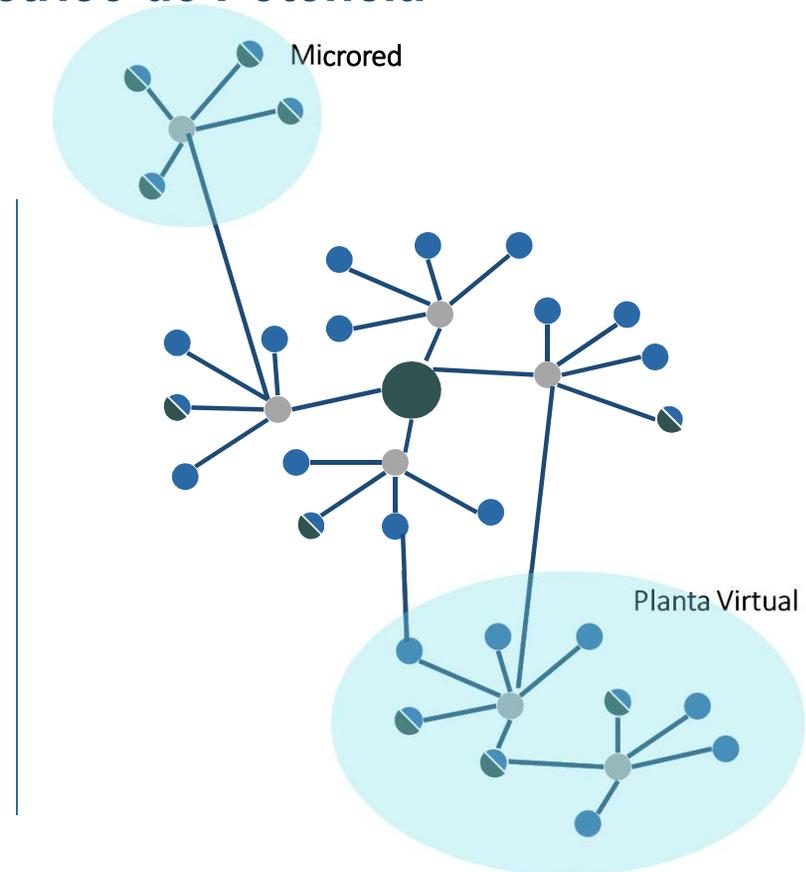
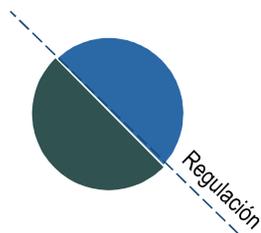




# Nuevas Interacciones con el Sistema Eléctrico de Potencia



Prosumidor



Sistema Interconectado y Micro-redes

# Necesidad del Sector Eléctrico



# Retos Futuros



Working group CIGRE C2.16 propone los siguientes retos ante la penetración de generación distribuida y generadores renovables.

- Organizacional
- Operaciones
- Observabilidad y controlabilidad
- Capacidades técnicas
- Regulación y mercado

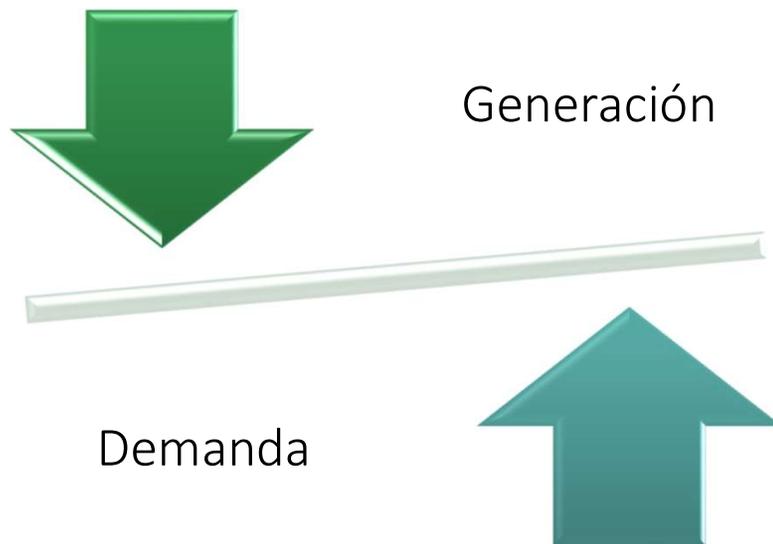


# Operación de sistemas eléctricos de potencia ante la transición energética

Cortesía XM

# Operación de los sistemas eléctricos de Potencia

- En la operación de un sistema eléctrico de potencia se busca generar un balance entre la generación y la demanda manteniendo el sistema en condiciones de seguridad y calidad



## RESTRICCIONES DE SEGURIDAD

$P_{ij}, Q_{ij} < P_{max}, Q_{max}$

$V_{min} < V_i < V_{max}$

Operación bajo N-1

Estabilidad Angular

Estabilidad Frecuencia

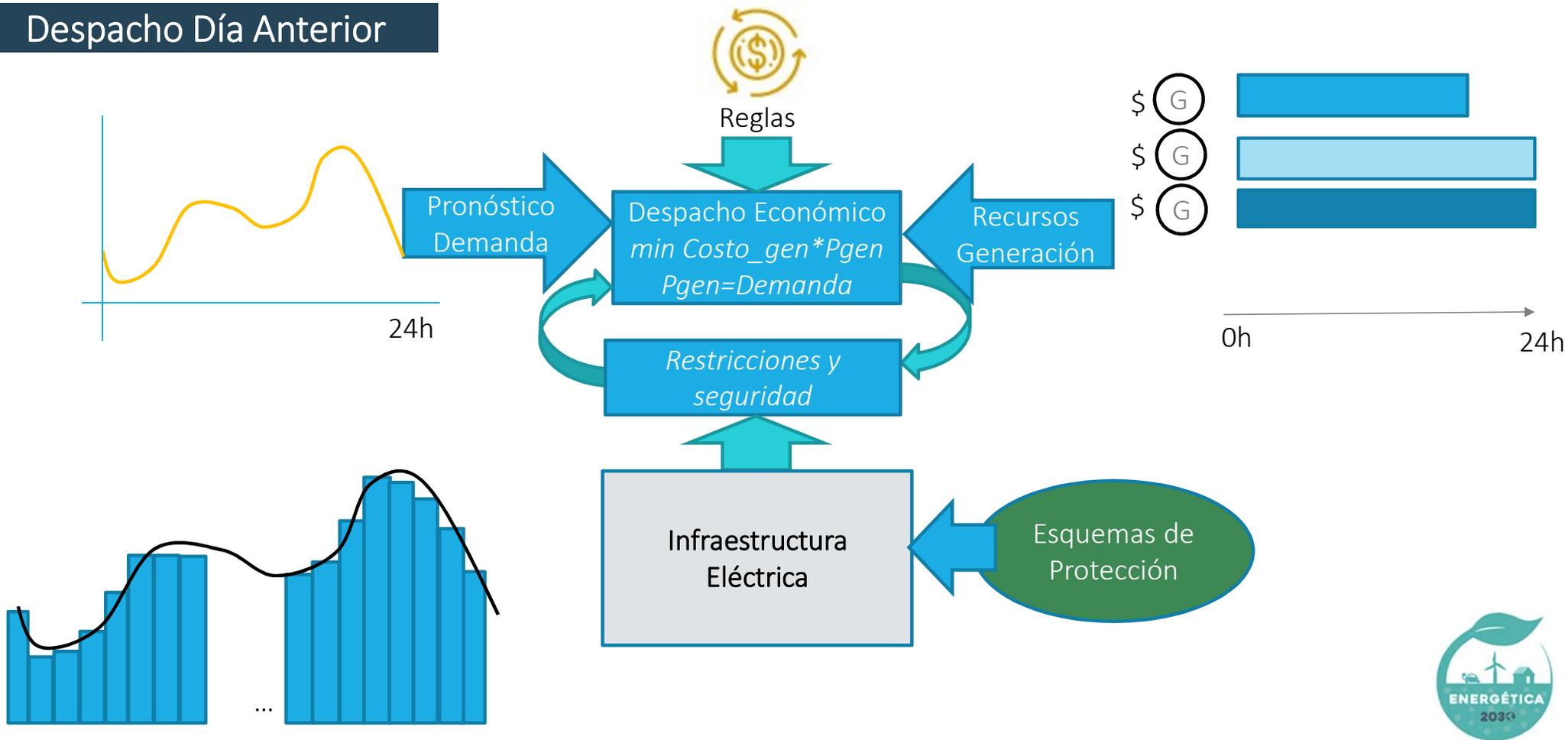
Estabilidad Tensión

# Operación del Sistema Eléctrico Colombiano



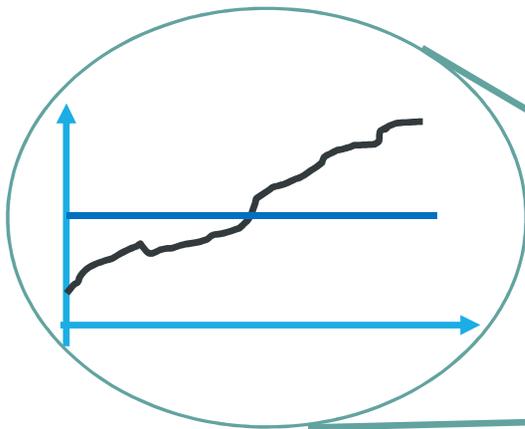
# Operación Sistemas Eléctricos

## Despacho Día Anterior

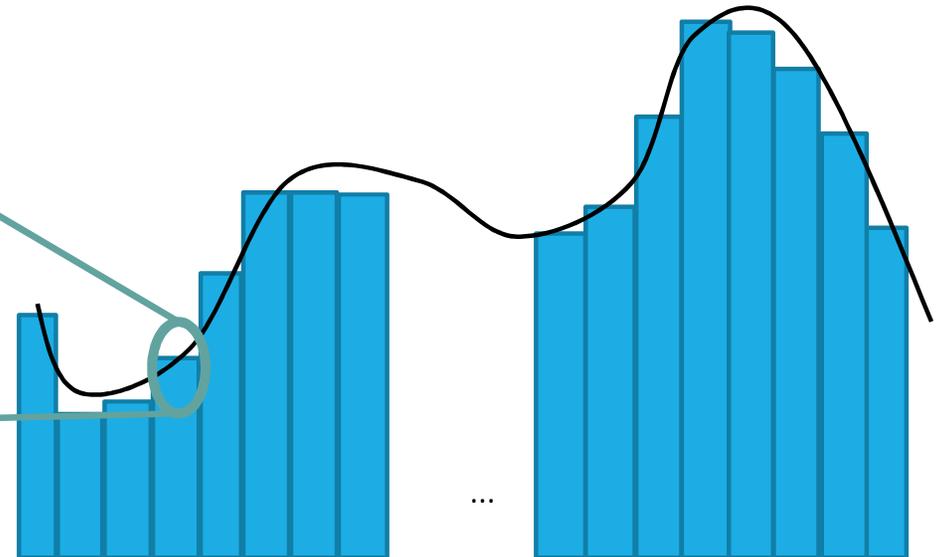


# Operación Sistemas Eléctricos

## Operación Tiempo Real Sala de Control



Sala de Control  
Control de las Variables  
( $f$  y  $V$ )  
(1-30 minutos)

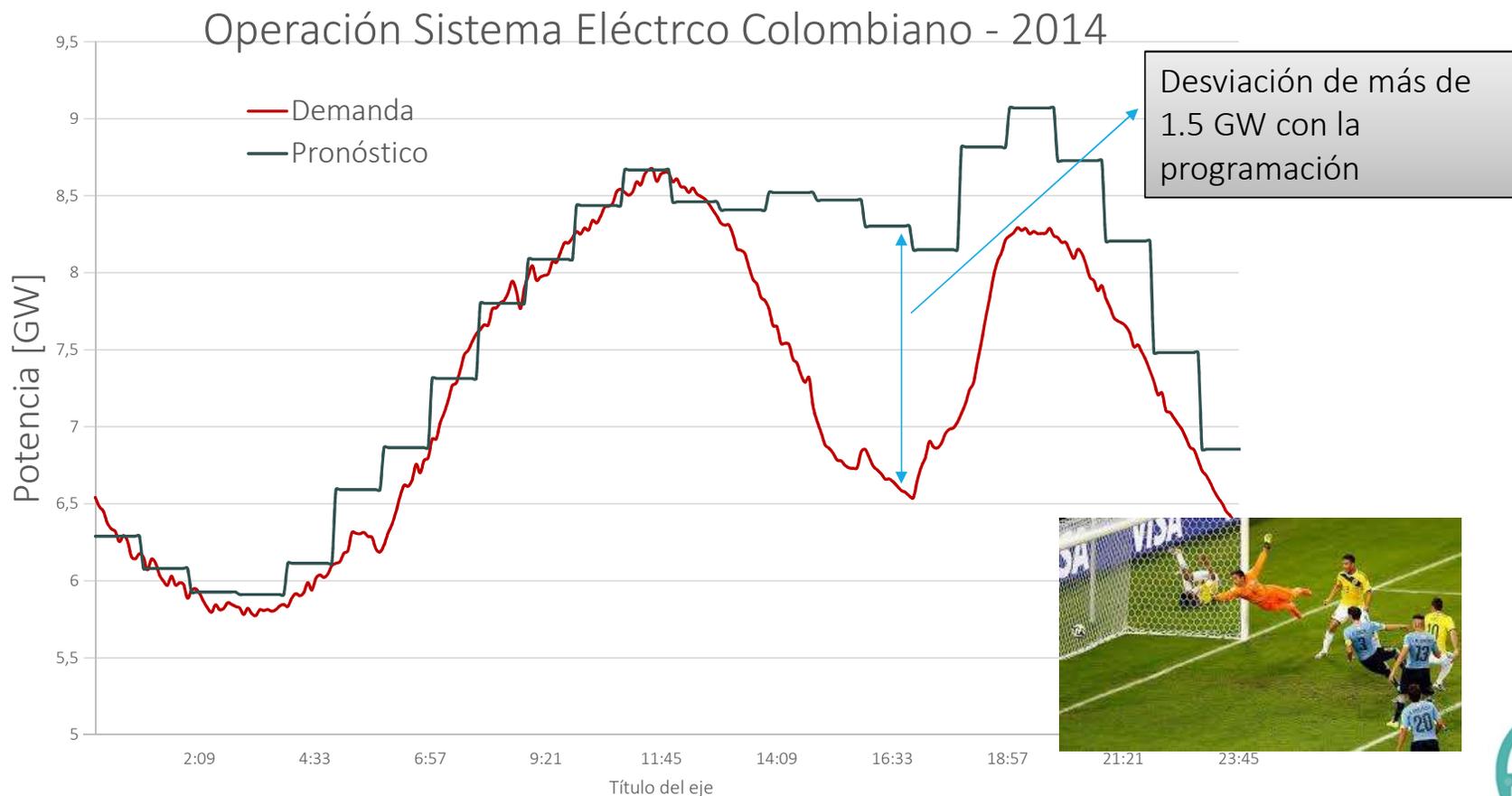


Despacho Horario

# Pronóstico Demanda

- El pronóstico de demanda se basa en un estudio estadístico utilizando series de tiempo, en donde se pueden caracterizar días típicos de la semana.
- Usualmente se clasifican 7 días a la Semana y Días Festivos, día hábil después de festivo, Semana santa, etc.
- Sin embargo, existen varios factores que afectan cada vez más el comportamiento de la demanda.
  - Temperatura
  - Comportamientos sociales agregados
  - Autogeneración

# Pronóstico de un día atípico



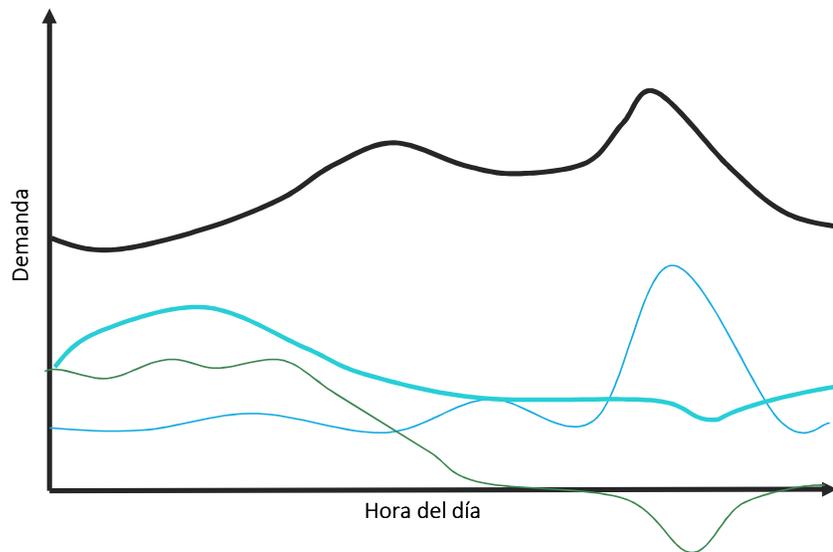


## Demanda de vehículos eléctricos

- Entre el 10 y 20% será la demanda de vehículos eléctricos al 2050 (Europa)
- Los periodos de carga varían, dependiendo el uso del vehículo
- Demanda variará geográficamente y se verán afectados por las temporadas
- Se verá afectado por tráfico vehicular, eventos sociales, etc.

# Modelo de Penetración de VE

## Perfil de carga de los vehículos eléctricos



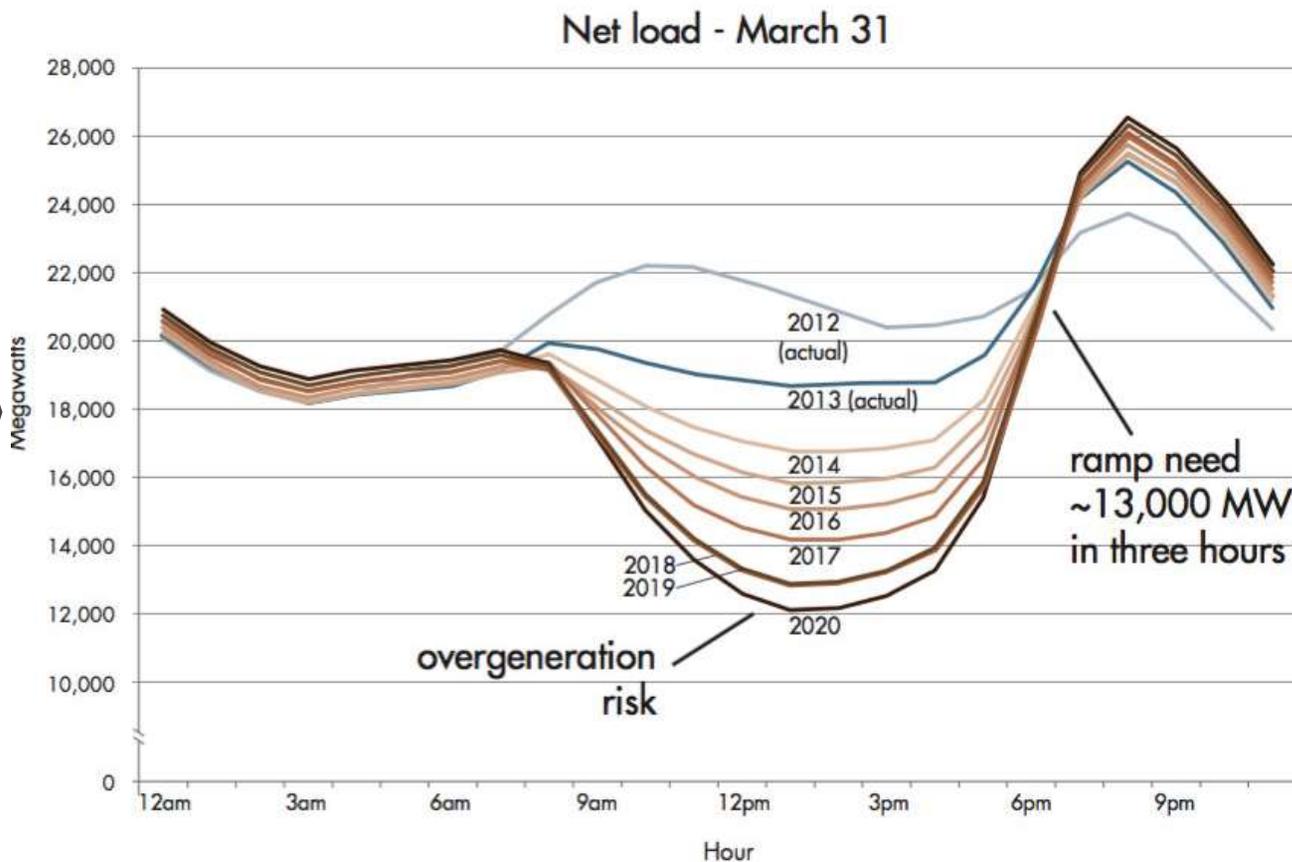
- Demanda promedio
- Perfil de carga sin RD
- Perfil de carga con RD (V1G)
- Perfil de carga con RD (V2G)

Sin una gestión adecuada de los periodos de carga es posible que estos coincidan con los picos de demanda

Gestionando los periodos de carga (**V1G**) es posible aplanar la curva de carga,

Los vehículos eléctricos pueden prestar servicios a la red eléctrica (**V2G**),

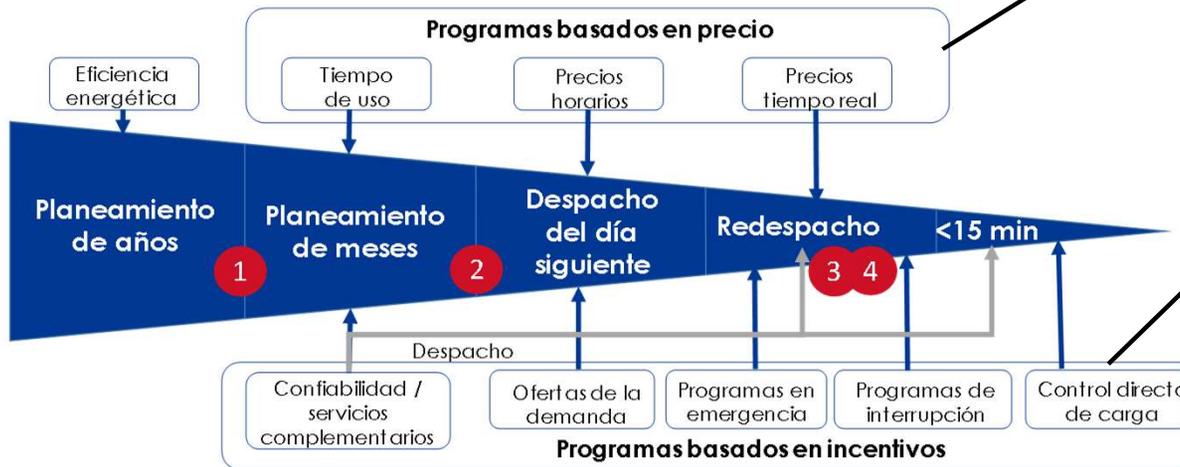
# Curva del “Pato” – Caso CAISO



Tomado de: <https://alcse.org/the-duck-curve-what-is-it-and-what-does-it-mean/>

# Mecanismos RD

## Diferentes tipos de programas

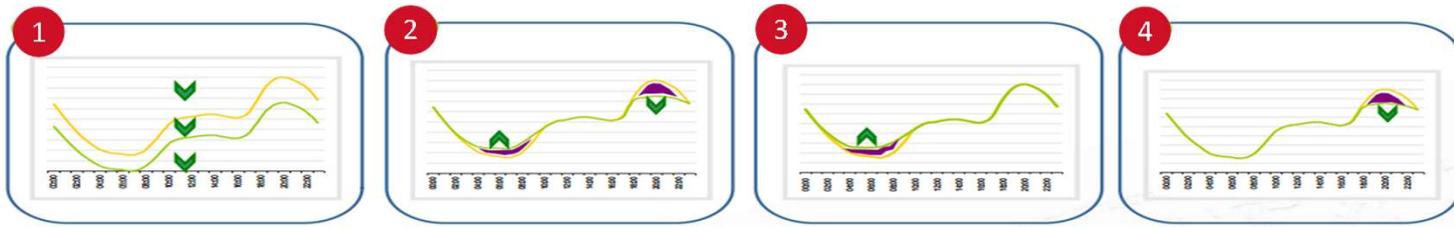


**Basados en precio**

- Los usuarios modifican sus hábitos de consumo por una señal de precio
- Diseño de tarifas
- No generan costo directo

**Basados en incentivos**

- Acuerdos bilaterales entre el cliente (agregador) y el distribuidor
- Generan costo directo
- Inconvenientes para remunerar

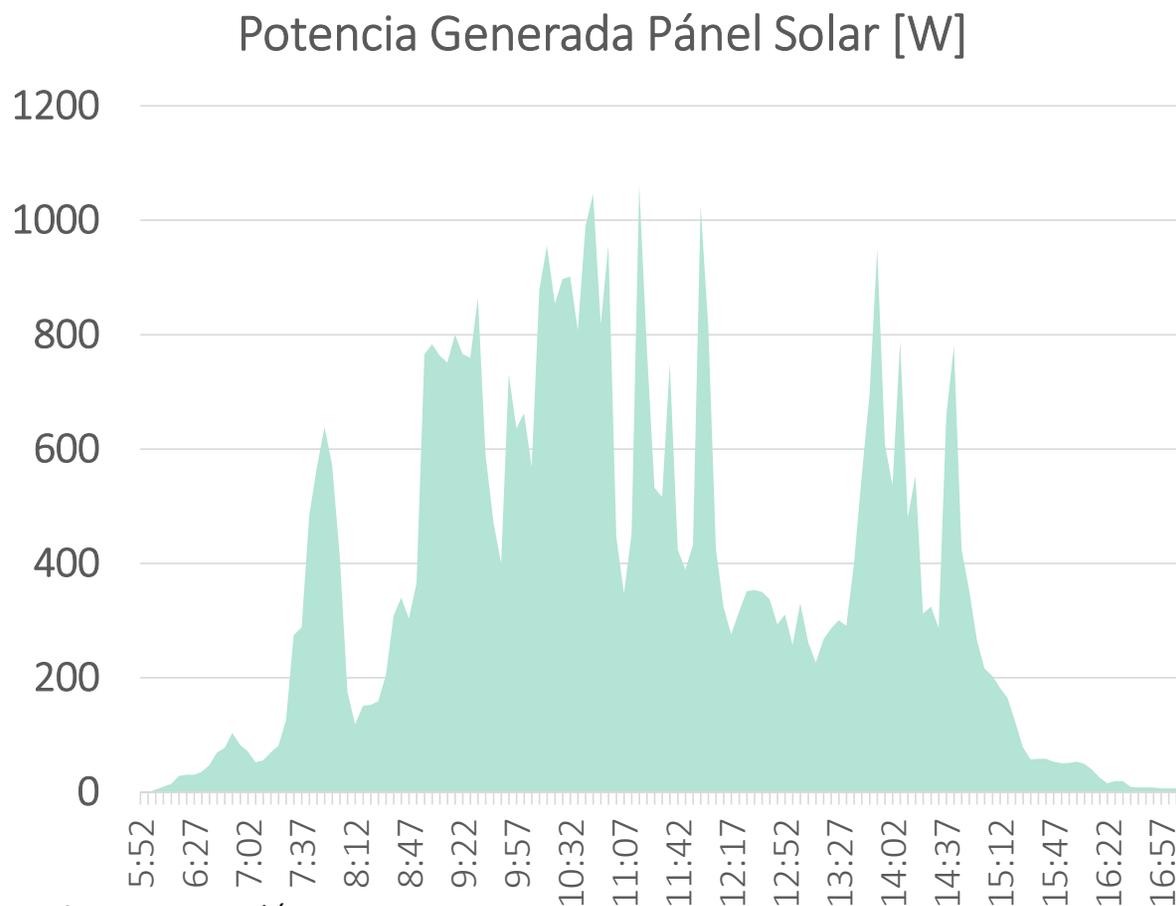


1. Mejora de la eficiencia  
 2. Traspaso de la demanda de la punta al valle  
 3. Relleno de valles de demanda  
 4. Reducción de picos de demanda

Fuente: Referenciamiento servicio demanda activa, 2017 – Colombia Inteligente.

# Variabilidad de la Producción

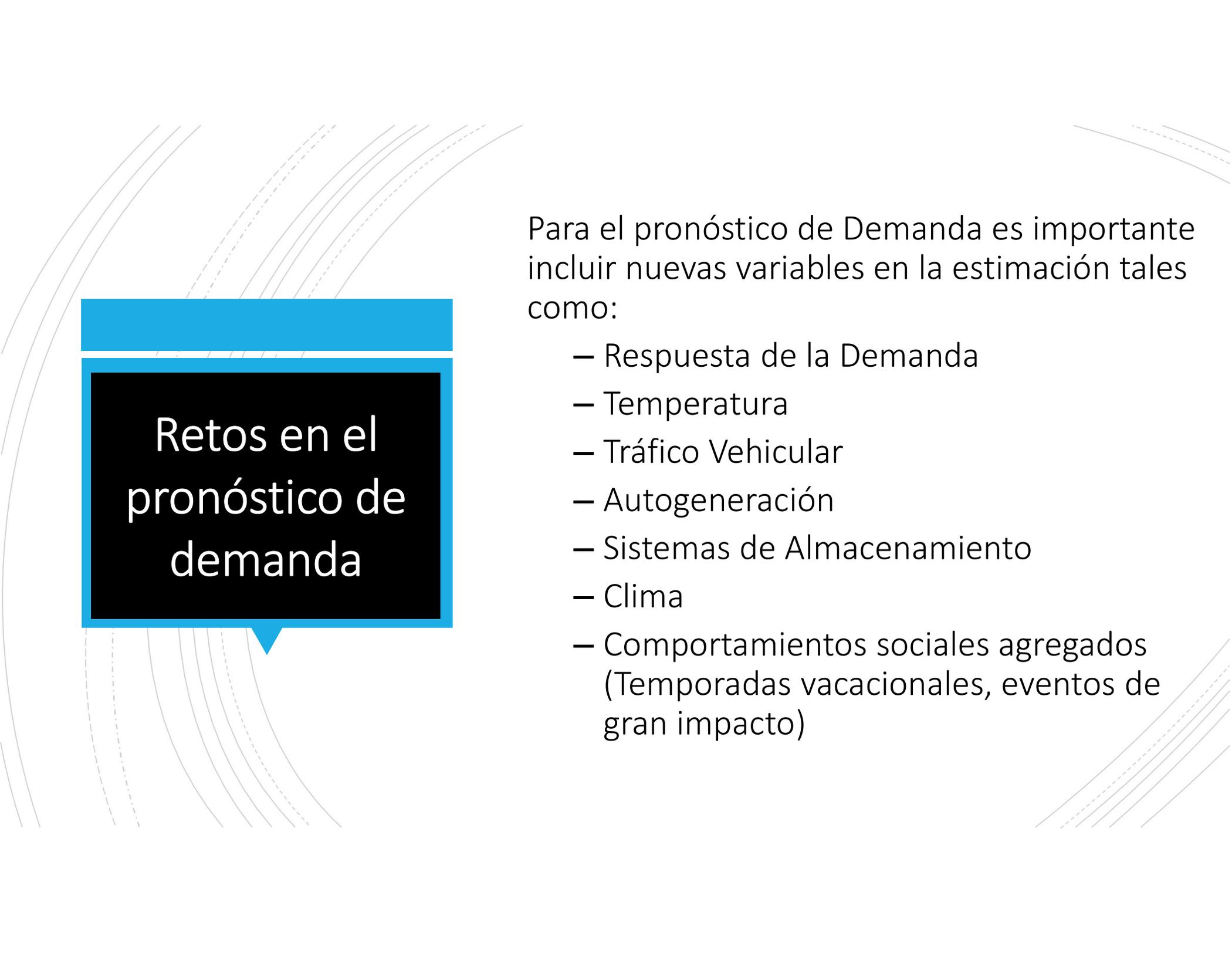
La Producción de Energía Solar puede variar en más del 50 % en intervalos de minutos



Tiene un Efecto en la Demanda cuando es Autogeneración  
Efecto en los Recursos de Generación Cuando  $D_{max} > G_{max}$

Cortesía: Solenium [www.solenium.co](http://www.solenium.co)

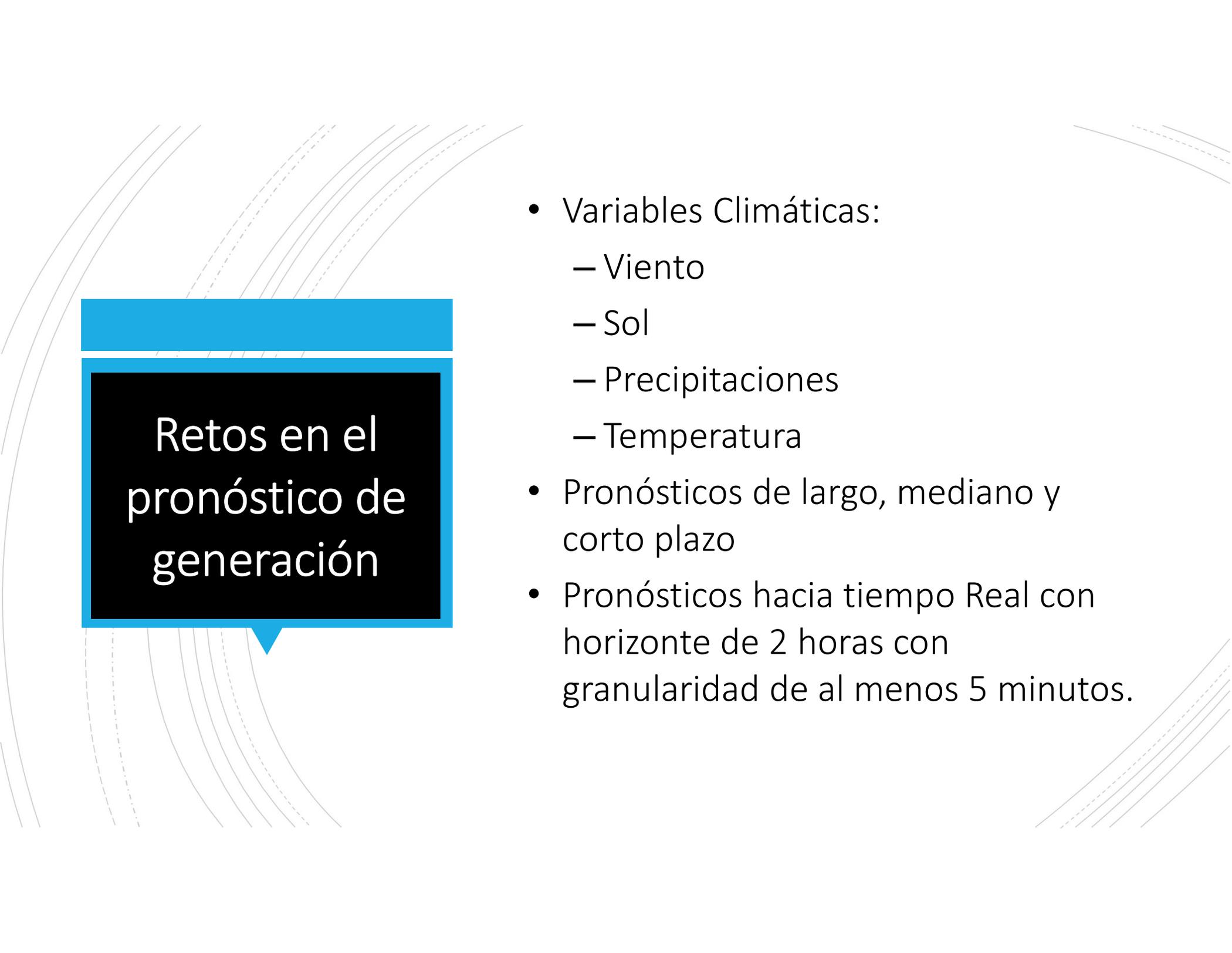




## Retos en el pronóstico de demanda

Para el pronóstico de Demanda es importante incluir nuevas variables en la estimación tales como:

- Respuesta de la Demanda
- Temperatura
- Tráfico Vehicular
- Autogeneración
- Sistemas de Almacenamiento
- Clima
- Comportamientos sociales agregados (Temporadas vacacionales, eventos de gran impacto)

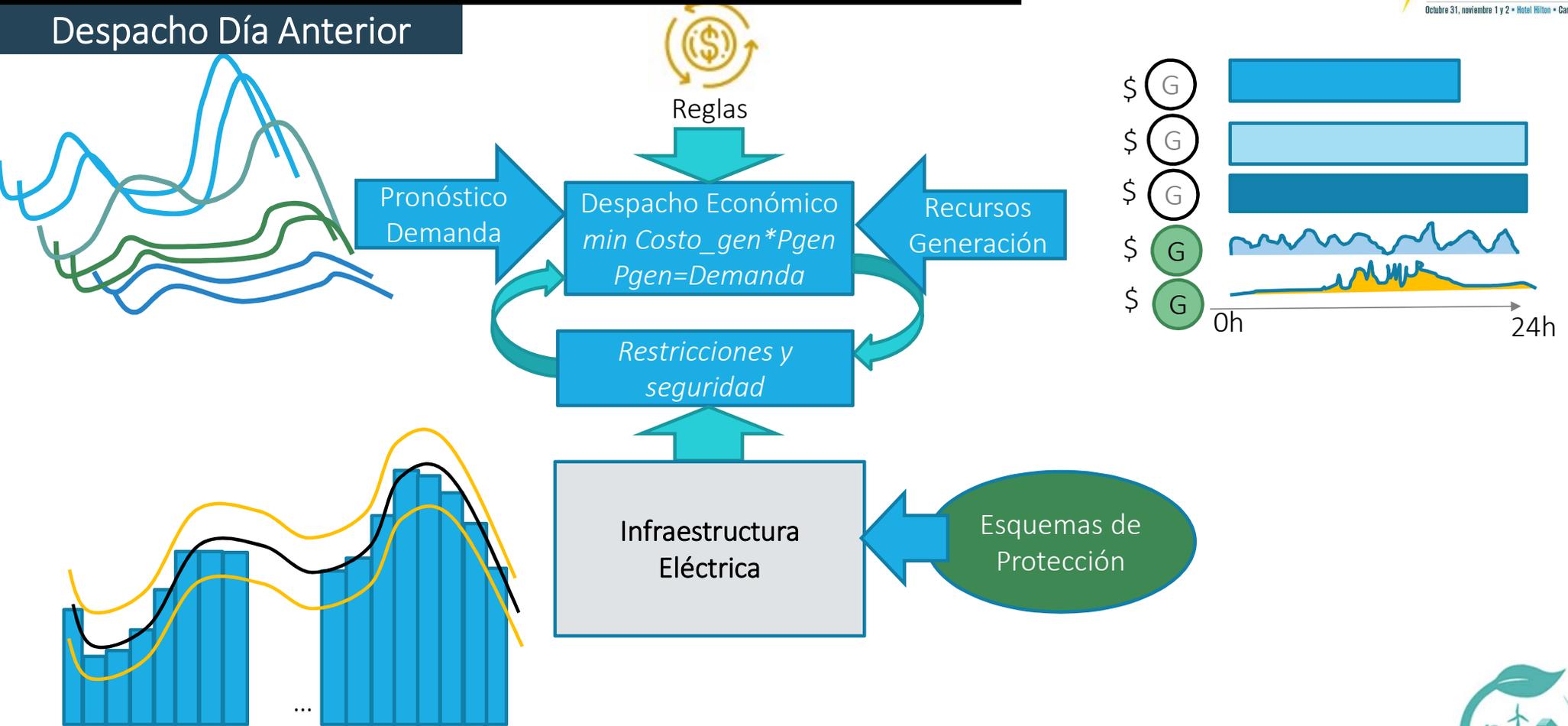
The slide features a decorative background of curved lines in shades of gray, some solid and some dashed, sweeping across the top and sides. On the left side, there is a blue rectangular box with a black interior, containing the title text in white. The text is centered and reads "Retos en el pronóstico de generación".

## Retos en el pronóstico de generación

- Variables Climáticas:
  - Viento
  - Sol
  - Precipitaciones
  - Temperatura
- Pronósticos de largo, mediano y corto plazo
- Pronósticos hacia tiempo Real con horizonte de 2 horas con granularidad de al menos 5 minutos.

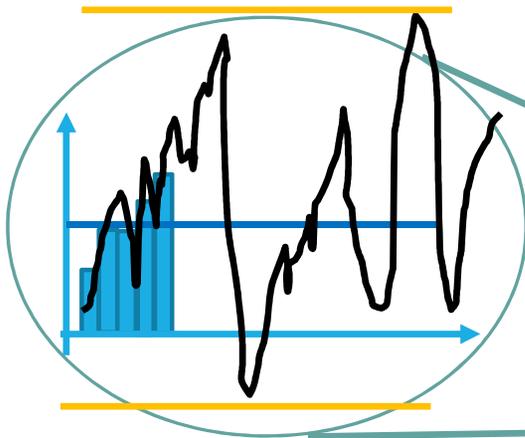
# Operación Sistemas Eléctricos

Despacho Día Anterior

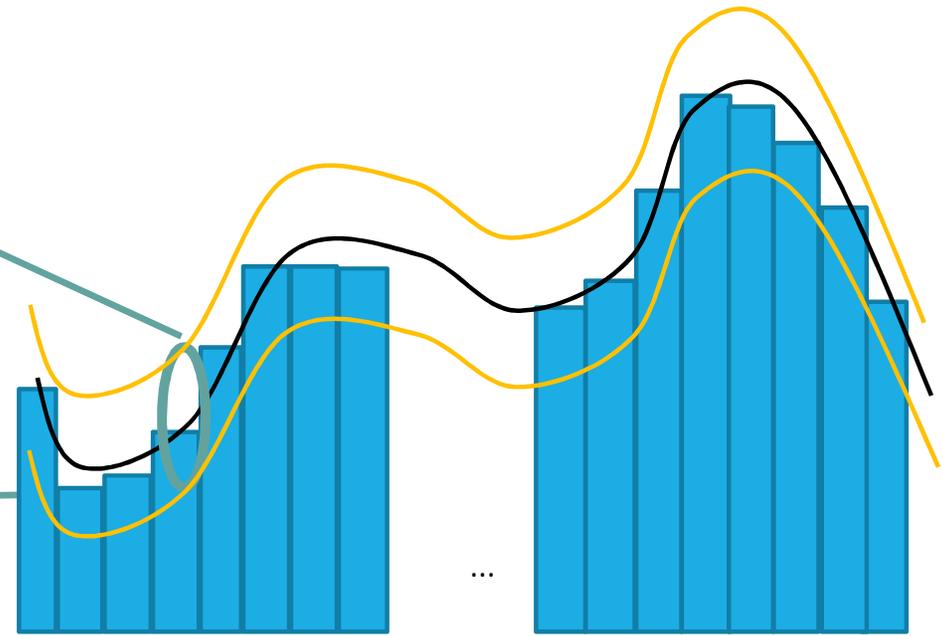


# Operación Sistemas Eléctricos

## Operación Tiempo Real Sala de Control



Sala de Control  
Control de las Variables  
( $f$  y  $V$ )  
(5 minutos)

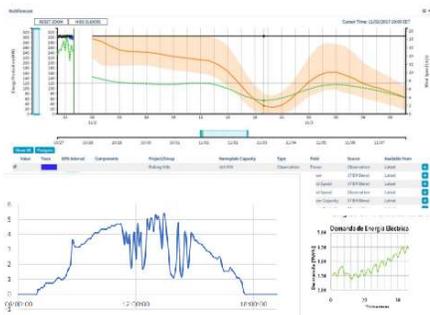


Despacho Horario

# HERRAMIENTA DESPACHO ECONÓMICO EN TIEMPO REAL

## Parámetros de entrada

- Pronósticos generación y demanda en tiempo real
- Ofertas
- Estado de la red – Estimador de Estados
- Características-Estado baterías
- Características Estado Recursos generación distribuida

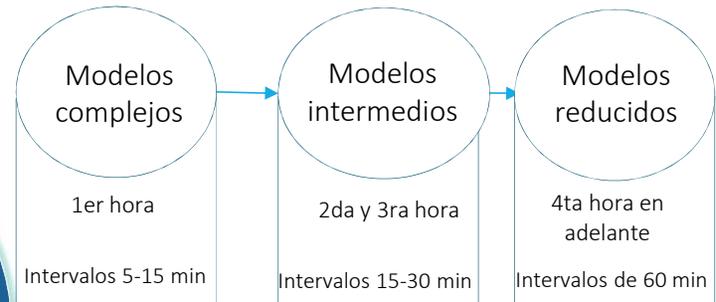


Condiciones  
iniciales  
T-1

Despacho  
Económico  
Tiempo Real

## Algoritmo de optimización

Modelado complejidad variable para múltiples escalas.  
Horizonte: 24 horas



Despacho intervalo T

Instrucciones de despacho sub-intervalo  $t_1 = 5\text{min}$

DESPACHO

RESERVA

REGULACIÓN

Programación despacho intra-horario

sub-intervalos desde  $t_2 = 10\text{min}$  hasta  $t_n = 24\text{horas}$

DESPACHO

RESERVA

REGULACIÓN

Condiciones  
iniciales  
T+1



# Retos Despacho

La reducción en las capacidades de intercambio de energía debido al incremento en los flujos de potencia locales.

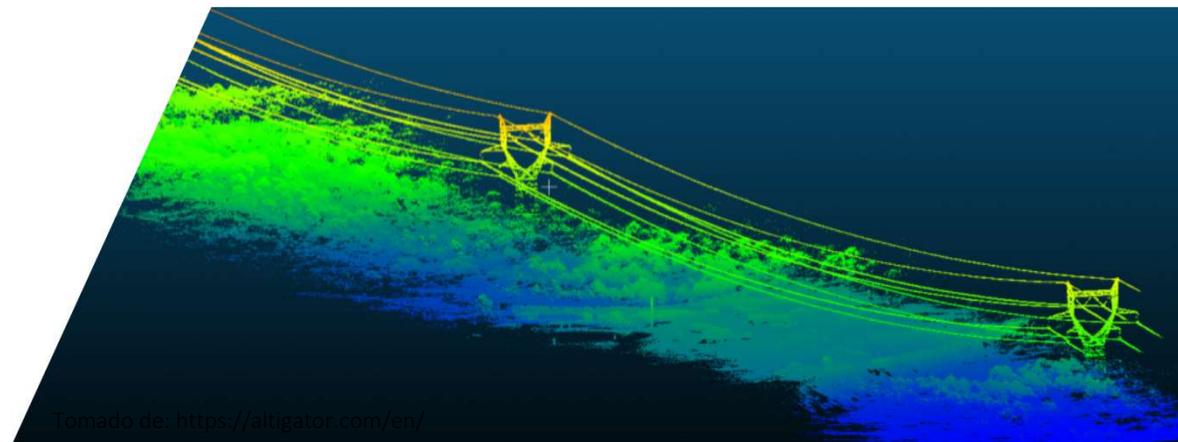
La sobrecarga de las líneas de transmisión tanto en operación normal como en condiciones de emergencia.

Capacidad de computo para obtener respuesta en tiempo real.

Sincronizar el Despacho con las estrategias de Control Secundario y Terciario

# Nueva Infraestructura de Medición

- Infraestructura Avanzada de Medición
- IOT en Sistemas de Potencia
- Medición detallada de Infraestructura Eléctrica



# Cambios en la medición

## Medición actual

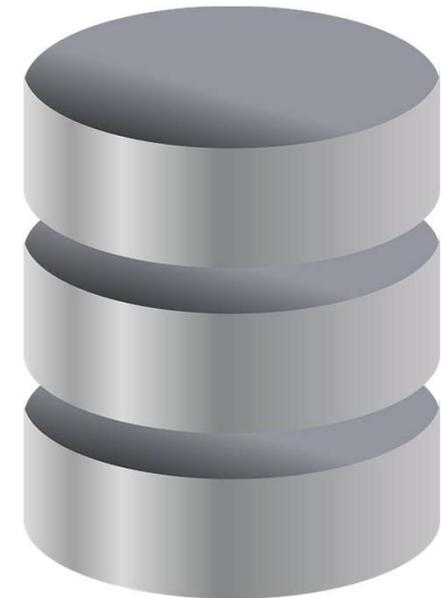
- Medición Análoga y Digital
- SCADA
  - Datos cada 4 s (STN, STR SDL) (Medición cada 16ms)
  - 0.25 datos/s/elemento - decenas de miles de datos por segundo
- Energía (Mensual Regulado)
- Variables Medidas en tiempo real
  - Variables Eléctricas V, I, P, Q, Energía

## Medición futura

- Medición Digital
- SCADA
  - Hasta 256 Muestra/ciclo (Bus de proceso)
  - 60 datos/s/elemento (fasores)– millones de datos por segundo
- Variable Medidas
  - Radiación
  - Velocidad Viento
  - Lluvia
  - Variables Eléctricas V, I, P, Q, Energía
  - Temperatura
  - Vida Útil Equipos

## Reto Supervisión

- Decidir cual es la información esencial para realizar las tareas que garantizar la seguridad del Sistema.
- Las grandes cantidades de información deben ser filtradas y concentradas con el fin de ayudar al operador.
- Desarrollar nuevas herramientas analíticas que obtengan información de los datos de forma útil para un operador.



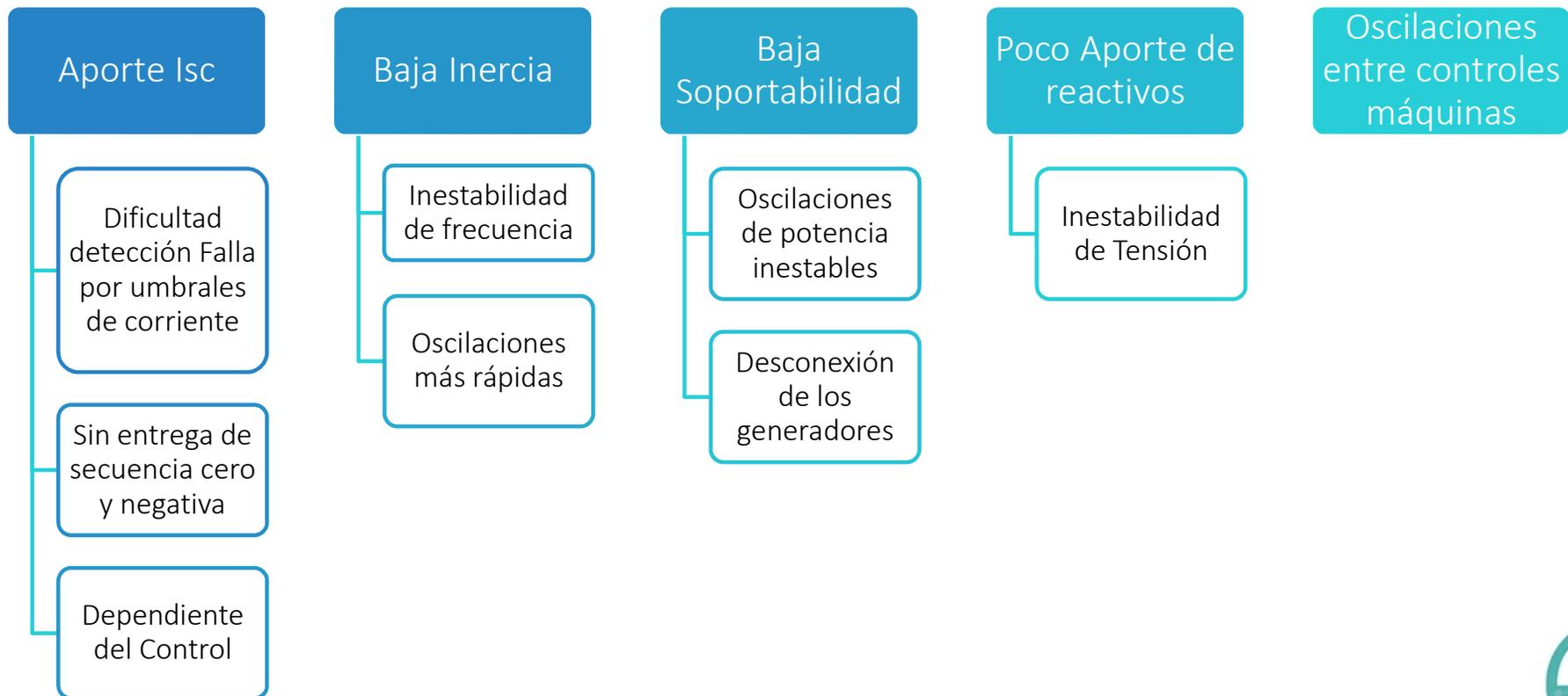
# Comunicaciones



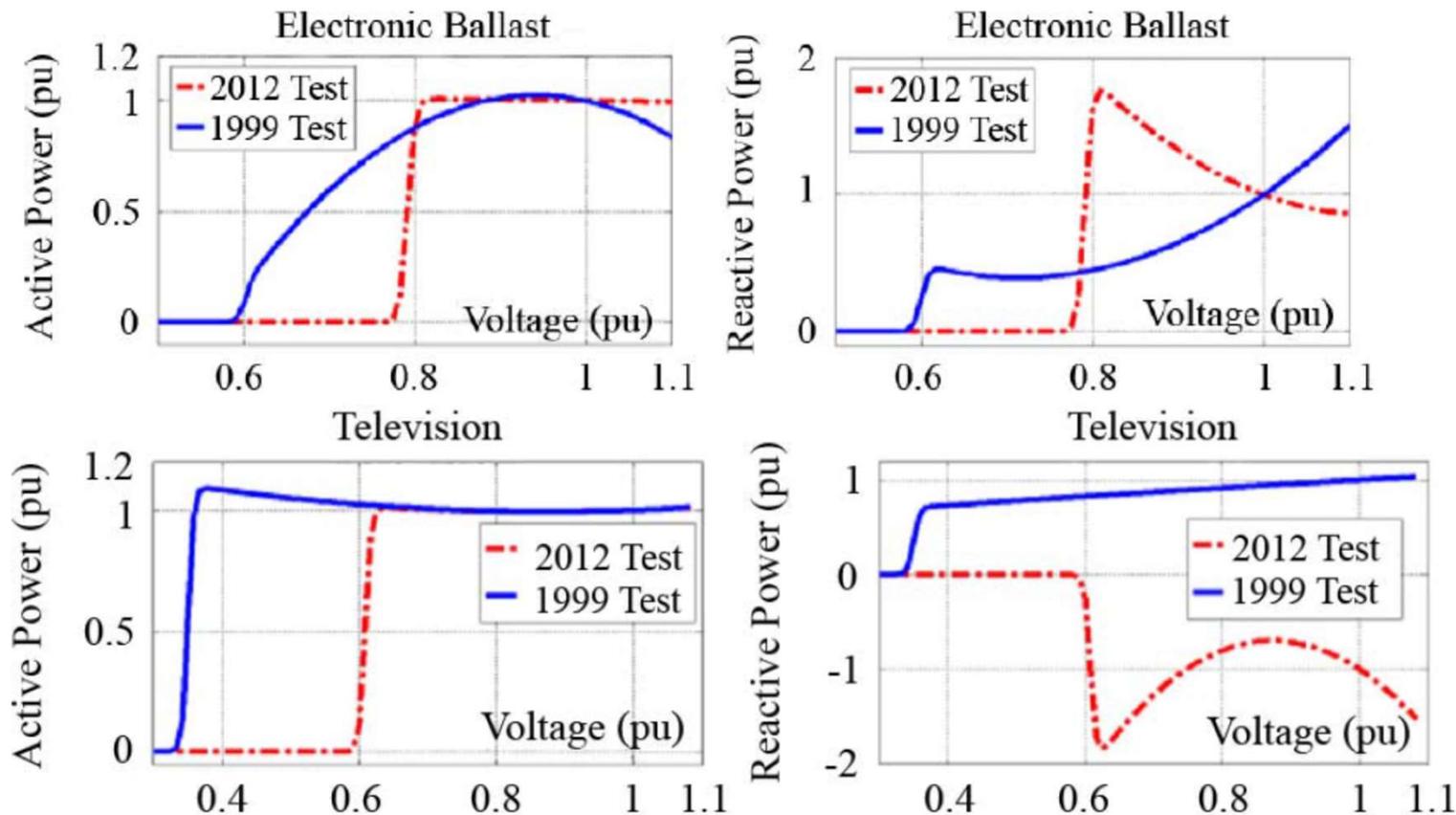
# Control y Protecciones

- Además de la alta variabilidad generada en la producción de energía con Energías renovables como el sol y el viento se tienen otros fenómenos asociados a:
  - Características de las nuevas tecnologías
  - Conexión y desempeño en nodos débiles del sistema

# Nuevas dinámicas plantas basadas en electrónica de potencia



# Nuevas dinámicas de Carga



Bokhari, et al. Experimental Determination of the ZIP Coefficients for Modern Residential, Commercial, and Industrial Loads. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 29, NO. 3, JUNE 2014

# Retos Control

Contribución de los  
GD/RES en el AGC

Coordinación entre  
REG/DG y generadores  
convencionales

Contribución por parte  
de las cargas

Inclusión de Baterías  
en servicios auxiliares

¿Pueden las baterías  
de los Vehículos hacer  
parte de los servicios  
auxiliares?

Flexibilizar el servicio  
de regulación de  
frecuencia (Incorporar  
nuevos actores)

# Protecciones

## Esquemas de Protección

Diferenciales  
Distancia  
Sobrecorriente  
Bloqueo Oscilación Potencia

## Métodos Polarización

Secuencia Negativa  
Secuencia Cero  
Secuencia Positiva

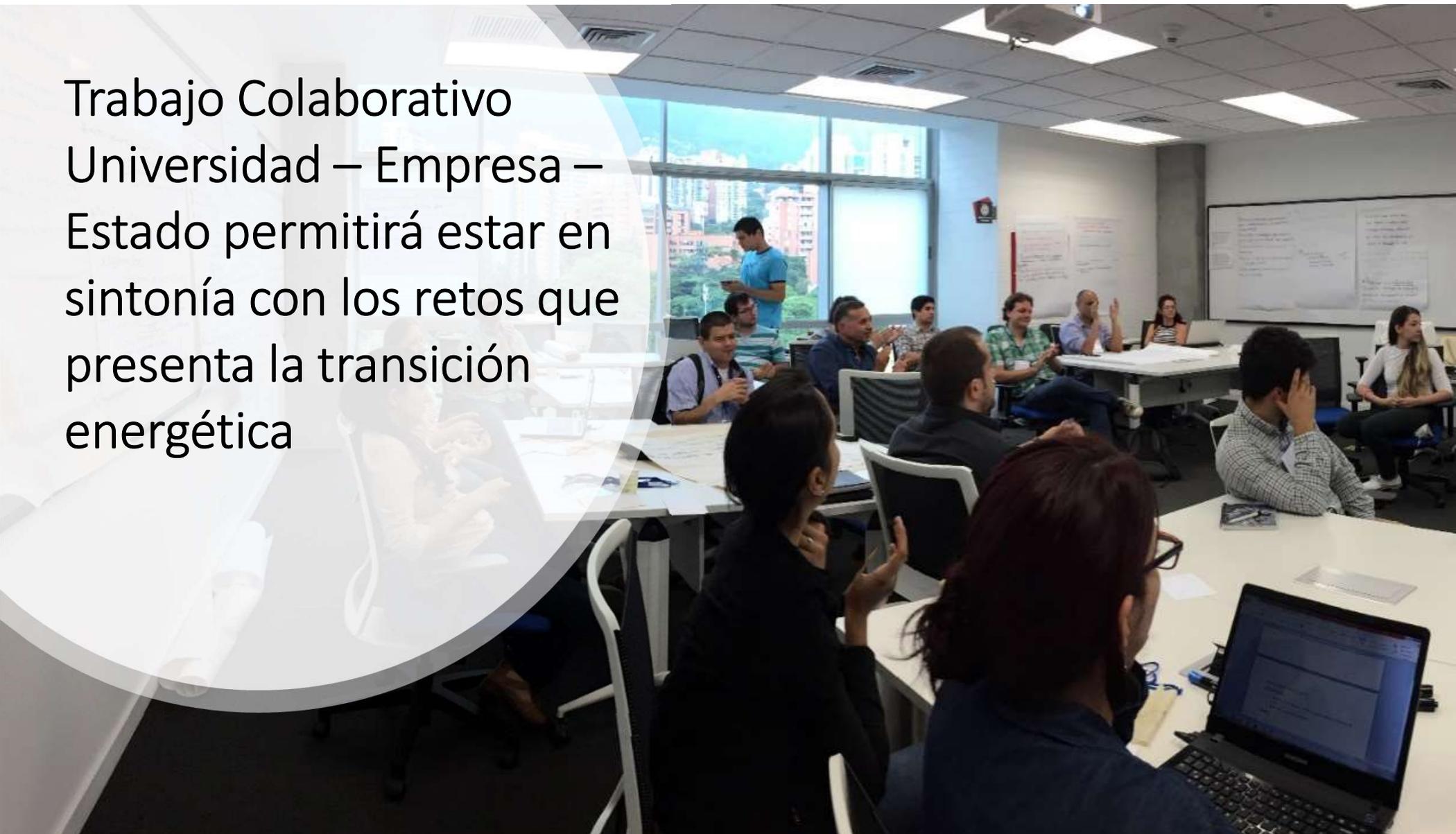
## Dinámicas

ROCOF  
Recuperación Lenta de Tensión  
Fault Ride Through  
Oscilaciones Subsíncronas

# Centro Gestor – Energética2030



Trabajo Colaborativo  
Universidad – Empresa –  
Estado permitirá estar en  
sintonía con los retos que  
presenta la transición  
energética





**¡Muchas Gracias!**



@energetica2030  
Teléfono: +57-4-4255072

eperezg@unal.edu.co  
energetica2030@unal.edu.co

