

# Smart Grids - Retos para su implementación

**Andrés Pavas**  
Eduardo Mojica

Profesores e Investigadores  
Universidad Nacional de Colombia  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Grupo de Investigación PAAS-UN

Noviembre 20 de 2014



## 1 Motivación

## 2 Retos

- Integración de renovables
- Eficiencia energética
- El mercado de electricidad
- Continuidad del servicio y calidad de potencia
- Capacidad de transporte

## 3 Algunas opciones...

- Microrredes eléctricas
- Respuesta de la demanda
- Predicción probabilística

# Sistema eléctrico

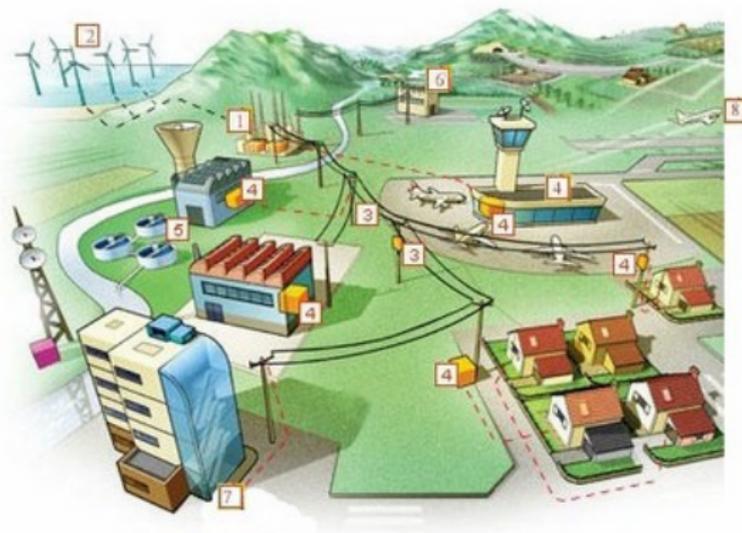


Figura: <http://www.thegundcompany.com/material-applications/>

# Cambio climático



Figura:

<http://www.semana.com/cultura/galeria/imagenes-inundaciones-chia/269936-3>

# Dependencia de hidrocarburos



Figura: <http://www.portafolio.co/negocios/ecopetrol-probara-tecnologia-propia-recuperar-petroleo>

# Smart Grid

## SMART GRID

A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.

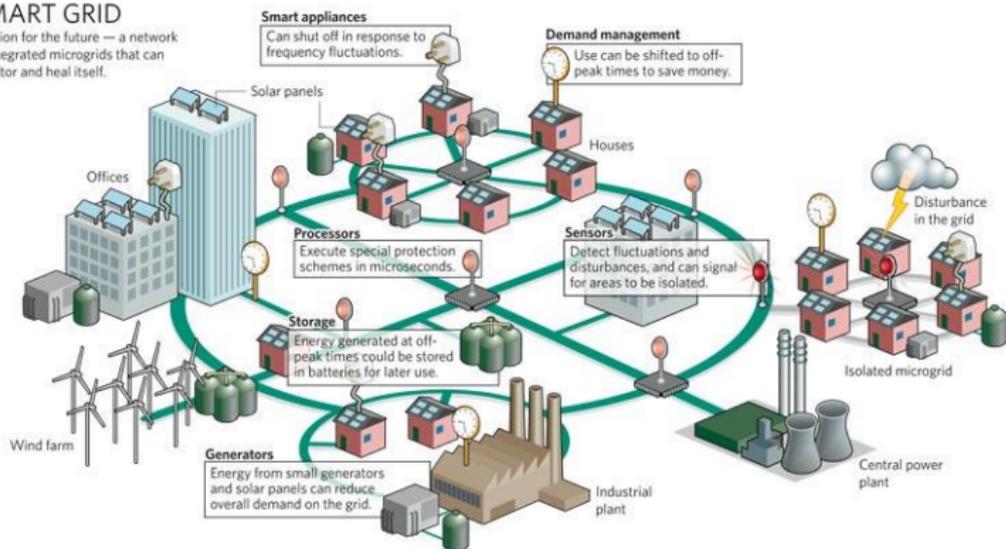


Figura: <http://www.energytrendsinsider.com/2010/04/12/us-invests-in-smart-grid-training/>

# ¿Definición de Smart Grid?

- Sistema eléctrico de potencia que utiliza intercambio de información y tecnologías de control, computación distribuida y sus sensores y actuadores asociados, con propósitos como:
  - integrar el comportamiento y acciones de los usuarios de la red y otros agentes,
  - proveer eficientemente fuentes de electricidad sostenibles, económicas y seguras <sup>1</sup>
- Energía, Datos e Información, Recursos, Dinero, *Oportunidades* ...

---

<sup>1</sup>IEC, *International Electrotechnical Vocabulary*, [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org). Consultada Nov 2014. ↻

# Retos

Qué enfrentamos los Ingenieros Electricistas y Electrónicos en la implementación de Smart Grids y qué se ha hecho en Colombia...

# Producción de energía renovable

- Integración en las redes de transmisión y **distribución**<sup>2</sup>
  - Autogeneración y cogeneración, PV, ¿viento?, PCH
  - Rediseño de las protecciones
  - Control de  $f$  Hz,  $U$  V, estabilidad,  $I_{cc}$  kA
- Sustitución de generadores convencionales
  - Generación distribuida, Generación con gas, viento, ¿geotermia?
  - Hidroelectricidad: ¿renovable?
  - *Ley de renovables*<sup>3</sup>
  - ¿Tenía razón Edison? ¿DC?
- Predicción
  - Fuentes renovables no convencionales, a excepción del agua y la biomasa, son altamente variables e impredecibles
  - Dificultades de desarrollo de mercado
  - Modelos de predicción actuales insuficientes

---

<sup>2</sup>M. Bollen, *The Smart Grid: Adapting the Power System to New Challenges*, Synthesis Lectures on Power Electronics. Morgan & Claypool. 2011.

<sup>3</sup>Congreso de la República de Colombia. *Ley 1715*. 2014

# Reducción y cambio en el consumo de energía

- Reducción del consumo, sustitución de tecnologías, *cambio de hábitos de consumo*
  - Iluminación, motores eficientes, refrigeración
- Pérdidas eléctricas en las redes
  - Efectos indeseables de generación distribuida: capacidad de atención <sup>4</sup>
  - Compensación de reactiva, distorsión de forma de onda, reactiva
- Incremento en aplicaciones de electricidad
  - Sustitución de aplicaciones basadas en combustibles fósiles: EV, PHEV, renovables
  - Gestión y respuesta de la *demanda*

---

<sup>4</sup>M. Bollen, F. Hassan, F. *Integration of Distributed Generation in the Power Systems*. IEEE Press, Wiley Interscience. 2011

# Mercados

- Nuevos agentes... nuevos negocios
  - Clientes pasivos a clientes activos: *Prosumers*
  - Generación distribuida y en pequeña escala: **despacho?**, ¿medición?, ¿facturación?
  - Nuevos mercados requieren cambios en la regulación
- Distribuidores y comercializadores
  - *El negocio del distribuidor es vender energía...*
  - Nuevos negocios: infraestructura avanzada de medición, automatización, instalación de aplicaciones, soporte...
- Nuevos productos
  - Vehículos eléctricos: electrolineras, almacenamiento...
  - Generadores a pequeña escala, **almacenamiento de energía**
  - Contratos y esquemas de negociación nuevos: calidad, desconexión...

# Negocios nuevos, y los pendientes???

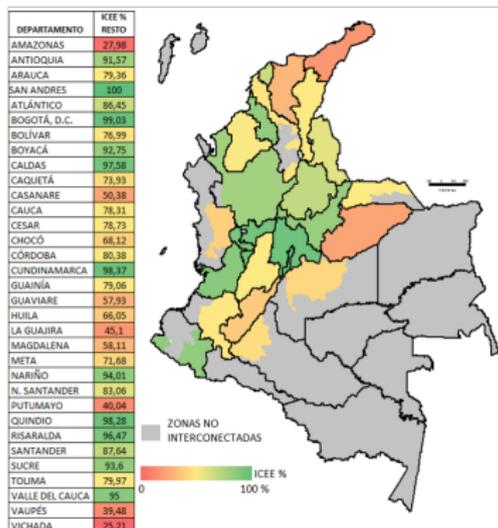
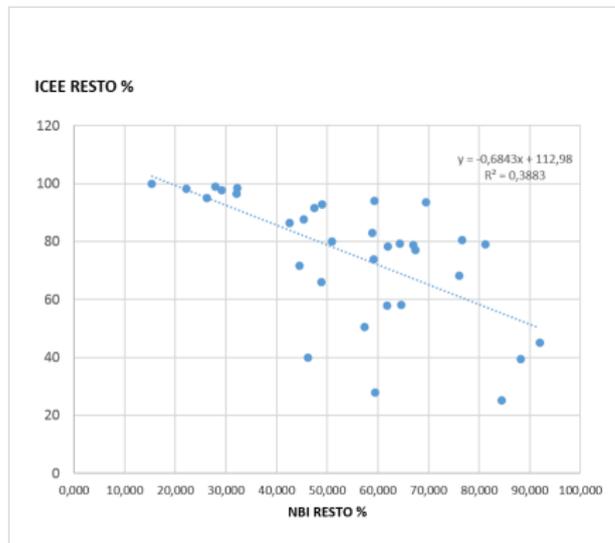


Figura: Cobertura Vs NBI (izq), Cobertura (der) <sup>5</sup>

- Si la red **fuera inteligente**, debería mejorar la **cobertura**...
- Una red inteligente debería ayudar a unificar el país

<sup>5</sup>D. Torres, *Análisis de fórmula de asign. de recursos FAER*, avance Tesis MSc. Nov. 2014

# Calidad y continuidad

- Necesidad de mejorar el desempeño
  - Las aplicaciones nuevas pueden requerir mayor disponibilidad en el servicio y características de la electricidad diferenciadas
- Nuevas tecnologías, nuevos problemas y nuevos requerimientos
  - Globalización → Dispositivos nuevos: *¿Estamos listos?*
  - Se requieren **normas** y **armonización entre normas y regulación**
  - Sub-, Inter-, Armónicos y *Supraarmónicos*<sup>6</sup>
- Revisión de indicadores
  - Realidad nueva, límites nuevos...
  - Comités Técnicos, desarrollo de normas, **laboratorios, pruebas...**
  - Inversión → Visión de negocio para rédito y beneficio

---

<sup>6</sup>M. Bollen, et.al. *Standards for Supraharmonics (2 to 150 kHz)*. IEEE EMC Magazine, V.3, N.1, 1<sup>st</sup> Qtr Oct, 2014.

# Requerimientos para transmisión y distribución

- Distribución y transmisión
  - Cubrir los consumos más altos presentes y futuros **de forma confiable**
  - Reserva y redundancia para cubrir ausencia de componentes
  - Incremento de diferencia entre **máxima demanda** y **mínima producción**  
→ Seguridad
- Producción
  - Condiciones de mercado pueden comprometer la capacidad
  - Generación y consumo distantes → Capacidad mayor
  - Incrementar y extender capacidad de transmisión para aprovechar recursos
- Y si no alcanzara la capacidad de transporte...
  - Distribución (MV-LV): **interrupciones** para clientes
  - Distribución (HV-MV): posible **desconexión** de activos, penalizaciones
  - Transmisión: grandes diferencias de costo de energía entre áreas, riesgo de interrupción, ¿riesgo de black-out?

## Algunas opciones

No son las únicas ni las mejores, pero son un par de ideas que pueden ser de su interés...

# Microrred eléctrica - Camino a la Smart Grid

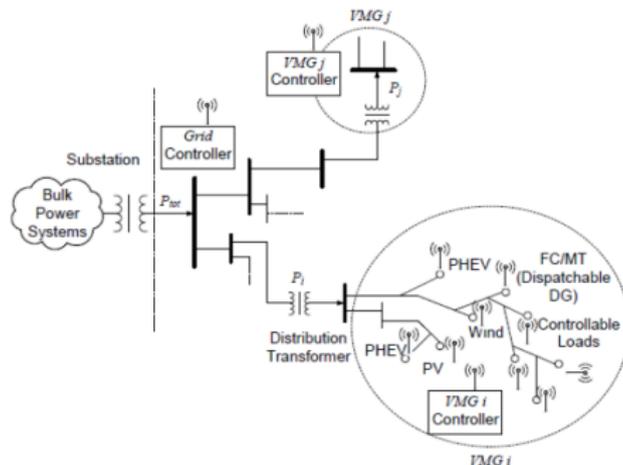
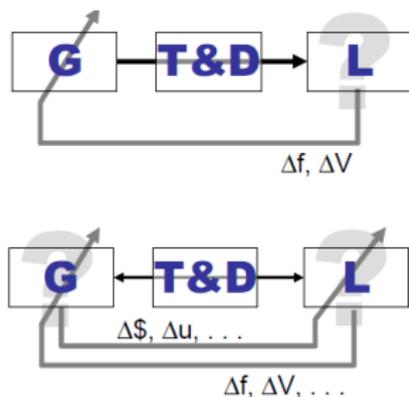


Figure 4.6 – A distribution network consisting of virtual microgrids

- Microrred eléctrica: estrategia **bottom-up**
- Avances en automatización, comunicación y control en Colombia
- Tendencia global <sup>7</sup>

<sup>7</sup>A. Annaswamy, E. Mojica, et.al. *Vision for Smart Grid Controls: 2030 and Beyond*. IEEE Press, 2010.

# Control de la demanda



*Figure 4.5 – Schematic, simplified illustrations of traditional (top) and envisioned (bottom) power systems. In the envisioned future, through automated demand response, facility energy resources can help manage the uncertainty that arises with renewable generation. “Negawatts” take on significant importance—reducing demand is equivalent to increasing generation—hence the bidirectional power flow shown. (f: frequency; V: voltage; \$: prices; u: control actions)*

- Control de la demanda: respuesta a requerimientos no eléctricos → dinero \$\$\$

# Respuesta y gestión de la demanda

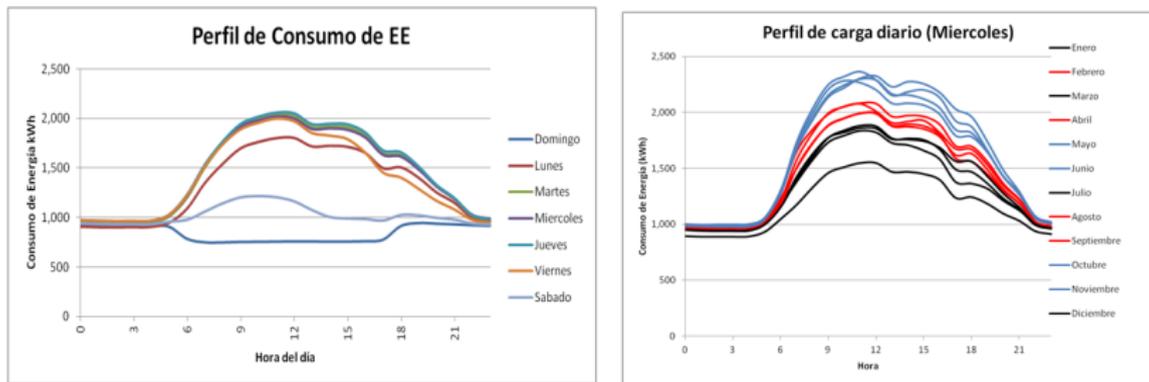


Figura: Consumo de energía UN (izq), Variación consumo (der) <sup>8</sup>

- Conocer, entender, mejorar, optimizar consumo de electricidad (gestión, ahorro, **almacenamiento**)
- Ahorro: **fuentes de energía**
- Esquemas de gestión: incentivos, precios, control, penalizaciones...

<sup>8</sup>A.Pavas, H.C. Torres, *Oportunidades de ahorro de energía en el campus UN*, 2014.

# Predicción probabilística

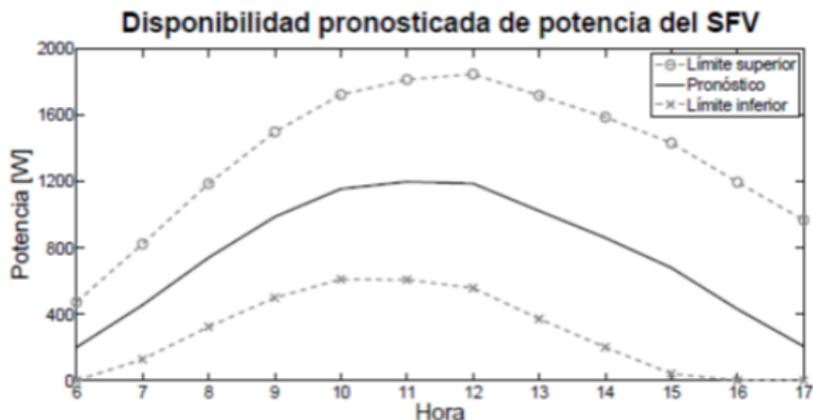


Figura: Variabilidad del potencial PV en Bogotá <sup>9</sup>

- Predicción basada en estimación de promedios o varianzas: **limitada**
- Predicción probabilística: escenarios de **riesgo**
- *Visión diferente* de mercado

<sup>9</sup>L.Luna, A.Pavas, H.Torres, *Spinning reserve analysis in a microgrid*, artículo aceptado DYNA

¡Gracias por su atención!

- **Andrés Pavas**, [fapavasm@unal.edu.co](mailto:fapavasm@unal.edu.co)
- Eduardo Mojica, [eamojican@unal.edu.co](mailto:eamojican@unal.edu.co)
- [www.paas.unal.edu.co](http://www.paas.unal.edu.co)

