

Escuela de Ingenierías Eléctrica,  
Electrónica  
y de Telecomunicaciones

Prof. Gabriel Ordóñez Plata

[gaby@uis.edu.co](mailto:gaby@uis.edu.co)

Prof. César A. Duarte G.

[cedagua@uis.edu.co](mailto:cedagua@uis.edu.co)

**Especialización en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica**

Junio de 2015

# Programación del curso



CONSTRUIMOS FUTURO

## Cursos anteriores:

- Elementos y equipos para la operación de sistemas de distribución
- Análisis de los sistemas de distribución
- Funciones de la operación de la distribución
- Protecciones en sistemas de distribución

## Cursos siguientes:

- Demanda de energía eléctrica
- Confiabilidad en sistemas de distribución
- Metodologías de planeación de la expansión
- Recursos energéticos distribuidos

# Programación del curso



CONSTRUIMOS FUTURO

Día	Tema	Horas
<b>Viernes, junio 19</b>	- Concepto Smart Grid - Introducción a los sistemas de Automatización de la Distribución	2
	Operación del STR y SDL en el centro de control de la ESSA.	2
<b>Sábado, junio 20</b>	Visita Subestación PALOS de la ESSA	4
	Visita centro de control de la ESSA	4
<b>Viernes, agosto 14</b>	Experiencias y estudios de casos de Automatización de la distribución.	2
	Medición Inteligente (Smart Metering). Experiencia y estudio de caso.	2
<b>Sábado, agosto 15</b>	SCADA y Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs)	3
	Protocolos de Comunicación, normatividad, Open Metering Systems (OMS), simulación y demos (Sneider).	3
	Microredes y retos y prospectiva futura de los sistemas FLMS y de reconfiguración.	2

# Programación del curso



CONSTRUIAMOS FUTURO

## Evaluación:

- Síntesis y resumen escrito de lecturas en clase.
- Presentación de lecturas
- Informe visitas

# Smart Grids



CONSTRUIAMOS FUTURO

## Agenda:

- **Motivación**
- Aproximación a la definición de Smart Grid: Conceptos, categorías tecnológicas, visión smart
- Retos
- Nuevos componentes y conceptos.
- Proyectos a nivel mundial

# Motivación



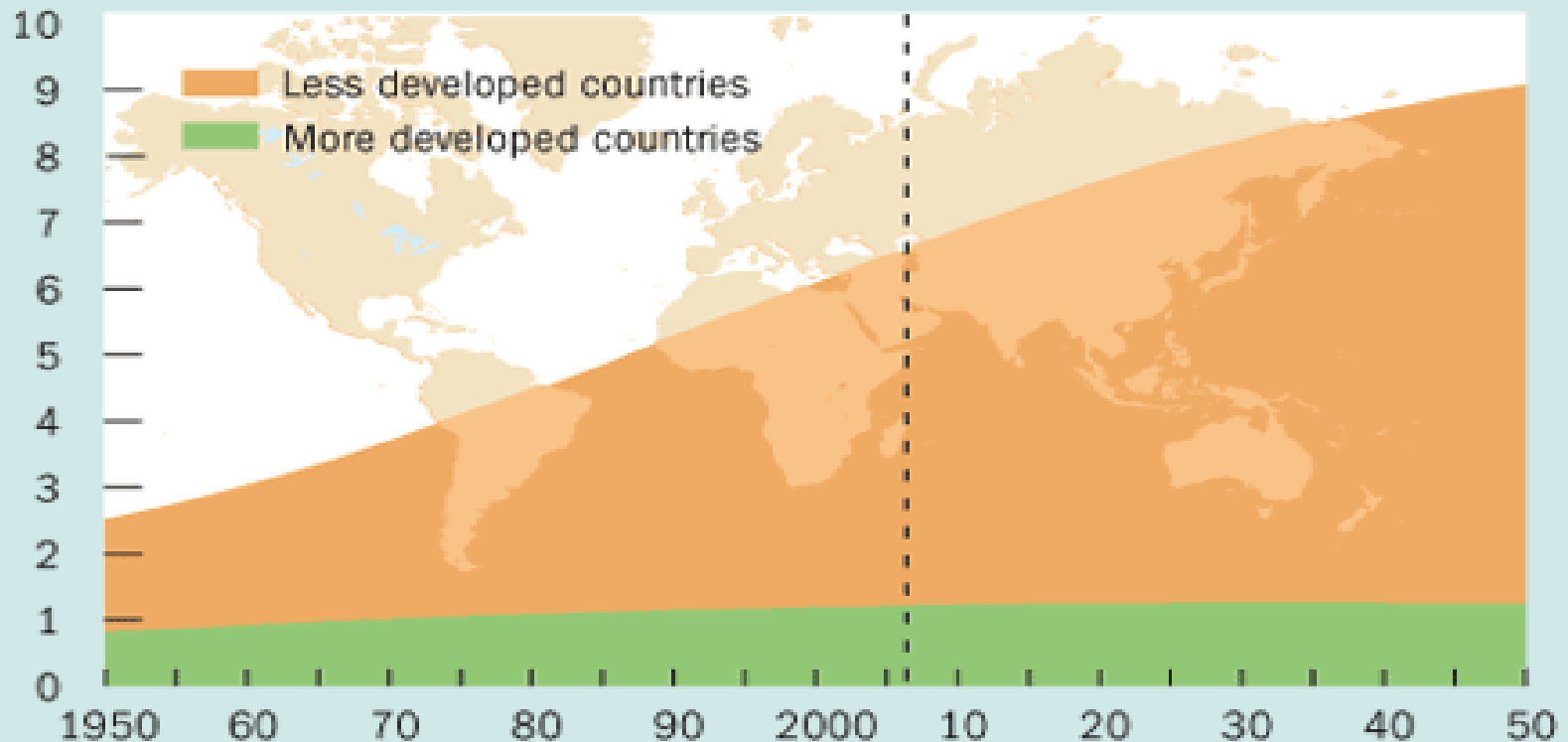
Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUYAMOS FUTURO

**The world's population is expected to reach 9.1 billion by 2050, with virtually all population growth occurring in less developed countries.**

(population, billions)



# ¿Cuáles son las necesidades que se deben atender?

An aerial photograph of a dense urban skyline, likely New York City, showing numerous skyscrapers and buildings. The Hudson River is visible on the left, and the East River is on the right. The sky is clear and blue.

**Agua**  
**Sanidad y Salud Pública**  
**Comida**  
**Energía**  
**Transporte**  
**Comunicaciones**  
**Seguridad**

# ¿Cuáles son las necesidades que se deben atender?

Agua  
Sanidad y Salud Pública  
Comida  
Energía  
Transporte  
Comunicaciones  
Seguridad





# ¿Cuáles son las necesidades que se deben atender?

**Agua**  
**Sanidad y Salud Pública**  
**Comida**  
**Energía**  
**Transporte**  
**Comunicaciones**  
**Seguridad**





**Informe Mundial del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 830 Científicos de 80 países y 30 000 informes. COPENHAGUE, Noviembre 2 del 2014**

**ipcc**

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



# Motivación



CONSTRUIMOS FUTURO

1. La **influencia humana** en el sistema climático **es clara** y **va en aumento**, y sus impactos se observan en todos los continentes.
2. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que **aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles** en las personas y los ecosistemas.
3. Existen opciones para la **adaptación al cambio climático**, y con **actividades de mitigación rigurosas** se puede conseguir que los **impactos** del cambio climático permanezcan en un nivel controlable, creando un **futuro más claro y sostenible**.

# Motivación



CONSTRUIMOS FUTURO

**“Tenemos los medios para limitar el cambio climático. Las soluciones son muchas y permiten el continuo desarrollo económico y humano. Todo lo que necesitamos es voluntad de cambio, y confiamos en que esa voluntad esté motivada por el **conocimiento y la comprensión de la ciencia del cambio climático**”.**

R.K. Pachauri, Presidente del IPCC

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



# Motivación



CONSTRUIAMOS FUTURO

**¿Cuáles son los problemas que debemos resolver?**

**El deterioro por causas antropométricas, de los servicios que proveen los ecosistemas.**

**Las variaciones a las que están sometidos los ecosistemas incrementan la probabilidad de cambios no lineales e irreversibles en los mismos**

*La tercera revolución industrial debe ser una realidad: Fuentes de energía renovable, tecnologías y procesos limpios, **instituciones sociales sostenibles**.*

**Gore, Al – Una Verdad Incómoda – Gedisa, 2002**

# Motivación



CONSTRUIAMOS FUTURO

## ¿Cuáles son los problemas que debemos resolver?

### Modelo actual: insostenible

- Agotamiento de reservas fósiles
- Impacto medio-ambiental
- Precios crecientes de la energía



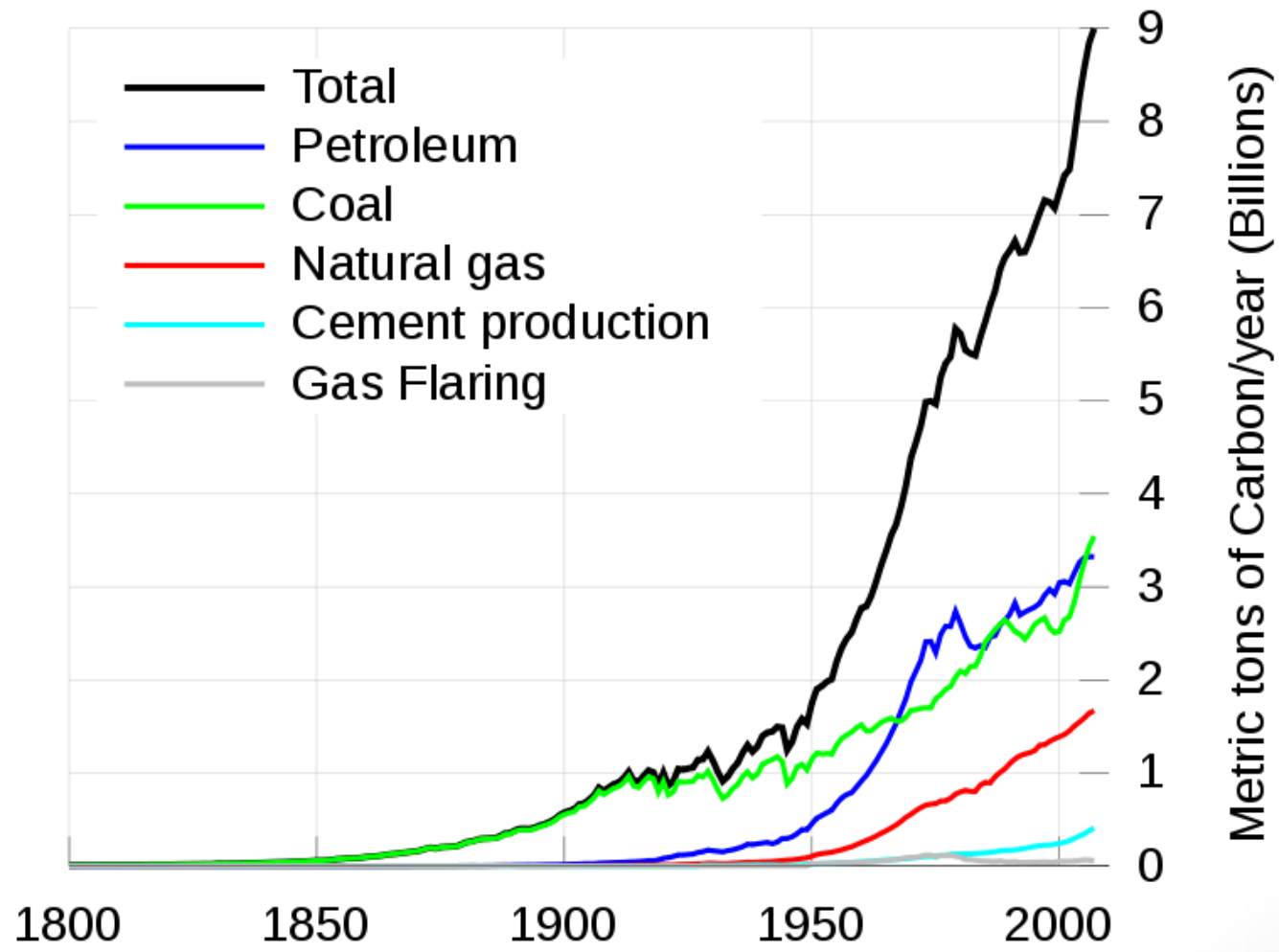
### Necesidad de un nuevo escenario energético

- Nuevas tecnologías y sistemas
- Nuevas formas de transar energía y mercados
- Recursos energéticos distribuidos

# Motivación



CONSTRUIAMOS FUTURO



# Motivación



CONSTRUIMOS FUTURO

## Panorama de consumo de electricidad

Energy Information Administration (US): EIA

<http://www.eia.gov/>

<http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=CO&trk=m>

International Energy Agency: IEA

<http://www.iea.org/>

<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?&country=COLOMBIA&year=2011&product=Indicators>



# Motivación



CONSTRUIAMOS FUTURO

## Panorama de consumo de electricidad

País	Población (millones)	Consumo (Twh)
Colombia	46,93	52,86
USA	312,04	4127,31
China	1344,13	4432,90
Brasil	196,66	480,12
Dinamarca	5,57	34,10

## Noticias Recientes Enlace

# Motivación



Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

## ¿Cuáles son los problemas que debemos resolver?

1980: ~ 1400 kgs of disconnected technologies



@ Xavier Fouger

# Motivación



CONSTRUIAMOS FUTURO

## Smart Grid: Sistemas eléctricos del futuro

Liberación

Energía renovable

Innovación y  
competitividad

Confiabilidad y  
calidad

Bajos precios y  
eficiencia

Capacidad

**Mercados de energía**

**Seguridad y calidad**

**Medio ambiente**

Preservación de los  
recursos naturales

Cambio  
climático

Contaminación

# Smart Grids



CONSTRUIMOS FUTURO

## Agenda:

- Motivación
- **Aproximación a la definición de Smart Grid: Conceptos, Categorías Tecnológicas, Visión Smart**
- Retos
- Nuevos Componentes y Conceptos.
- Proyectos a nivel mundial

# Conceptos



CONSTRUIMOS FUTURO

- Las redes eléctricas del futuro se basan en el concepto del mando computarizado y el control sobre una red de datos paralela con el fin de mejorar la eficiencia y la confiabilidad de la distribución y consumo de energía eléctrica



# Conceptos



CONSTRUIMOS FUTURO

- La adición de dispositivos electrónicos inteligentes al sistema, inicialmente se hizo con fines de protección. Luego se fueron adicionando funciones como medición, reporte , almacenamiento de datos y características programables que cumplen requerimientos específicos.
- Protecciones, automatización y control han sido inteligentes desde hace unas décadas

# Conceptos



CONSTRUIMOS FUTURO

- Es una etiqueta general para la aplicación de inteligencia computacional, conexión en red y automatización a un sistema de distribución eléctrico (principalmente). Se busca mejorar la operación mantenimiento y planeación asegurando que cada componente de la red pueda comunicarse bidireccionalmente.



# Energy Independence and Security Act of 2007 (USA)



CONSTRUIMOS FUTURO

- The term “Smart Grid” refers to a distribution system that allows for flow of information from a customer’s meter in two directions: both inside the house to thermostats, appliances, and other devices, and from the house back to the utility.
- Smart Grid is defined to include a variety of operational and energy measures —including smart meters, smart appliances, renewable energy resources, and energy efficiency resources



# Definición Int. Energy Ag.



CONSTRUIMOS FUTURO

Red de electricidad que utiliza tecnología digital para controlar y gestionar el transporte de la energía desde todas las fuentes de generación disponibles con el propósito de satisfacer la demanda de electricidad de los usuarios finales.

Tienen capacidad de coordinar las necesidades y capacidades de todos los generadores, operadores de red, las instituciones involucradas en los mercados energéticos y los usuarios finales, de tal forma que se pueda optimizar la utilización de activos, la operación de los sistemas, los procesos, reducir los costos y los impactos ambientales bajo condiciones de confiabilidad y estabilidad.

# European Technology Platform



CONSTRUIMOS FUTURO

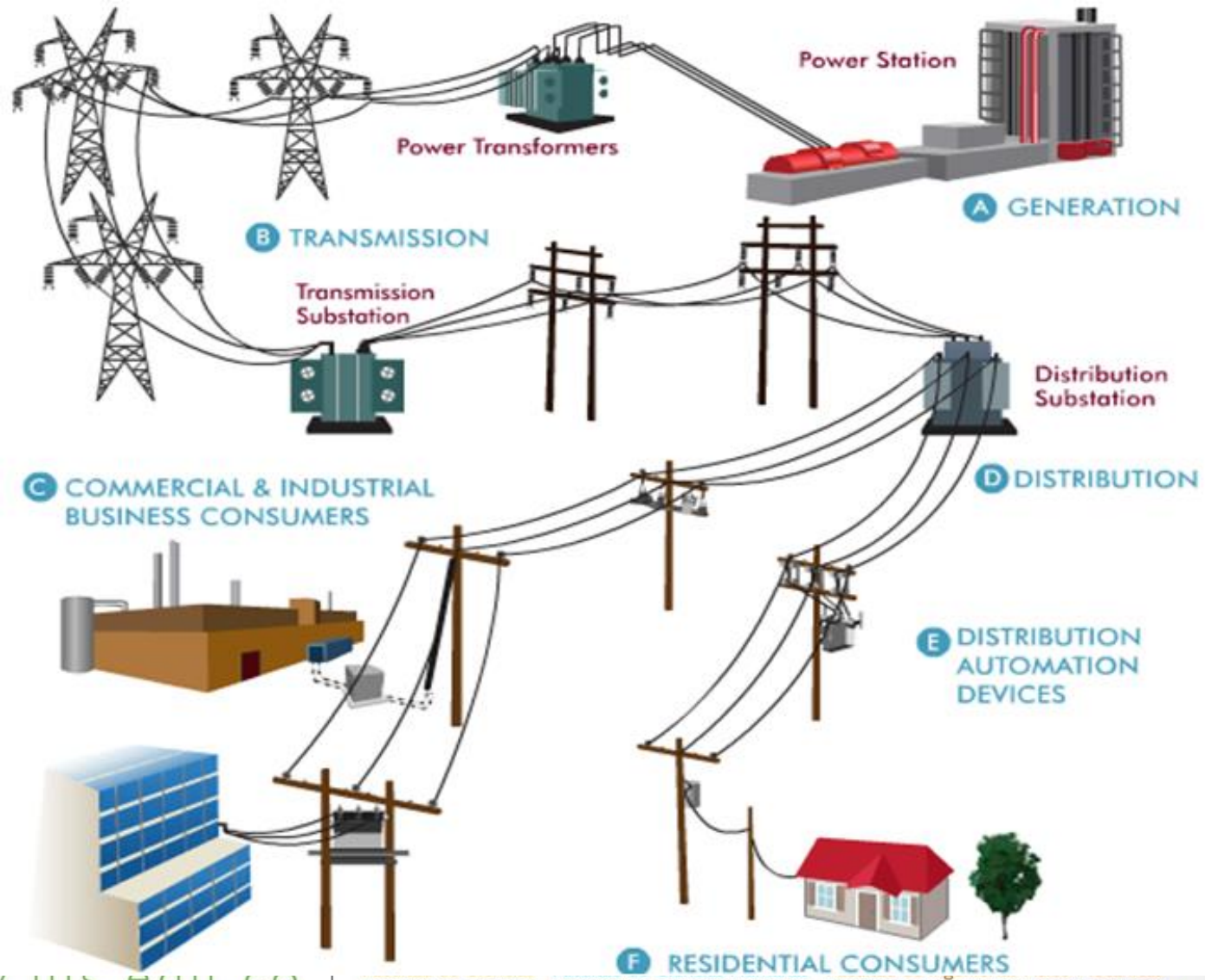
- Redes Eléctricas que pueden integrar inteligentemente el desempeño y las acciones de todos los usuarios conectados, desde la generación hasta el consumidor final, con el fin de garantizar eficiencia, sostenibilidad, economía y seguridad en el servicio de energía eléctrica.



# Redes convencionales



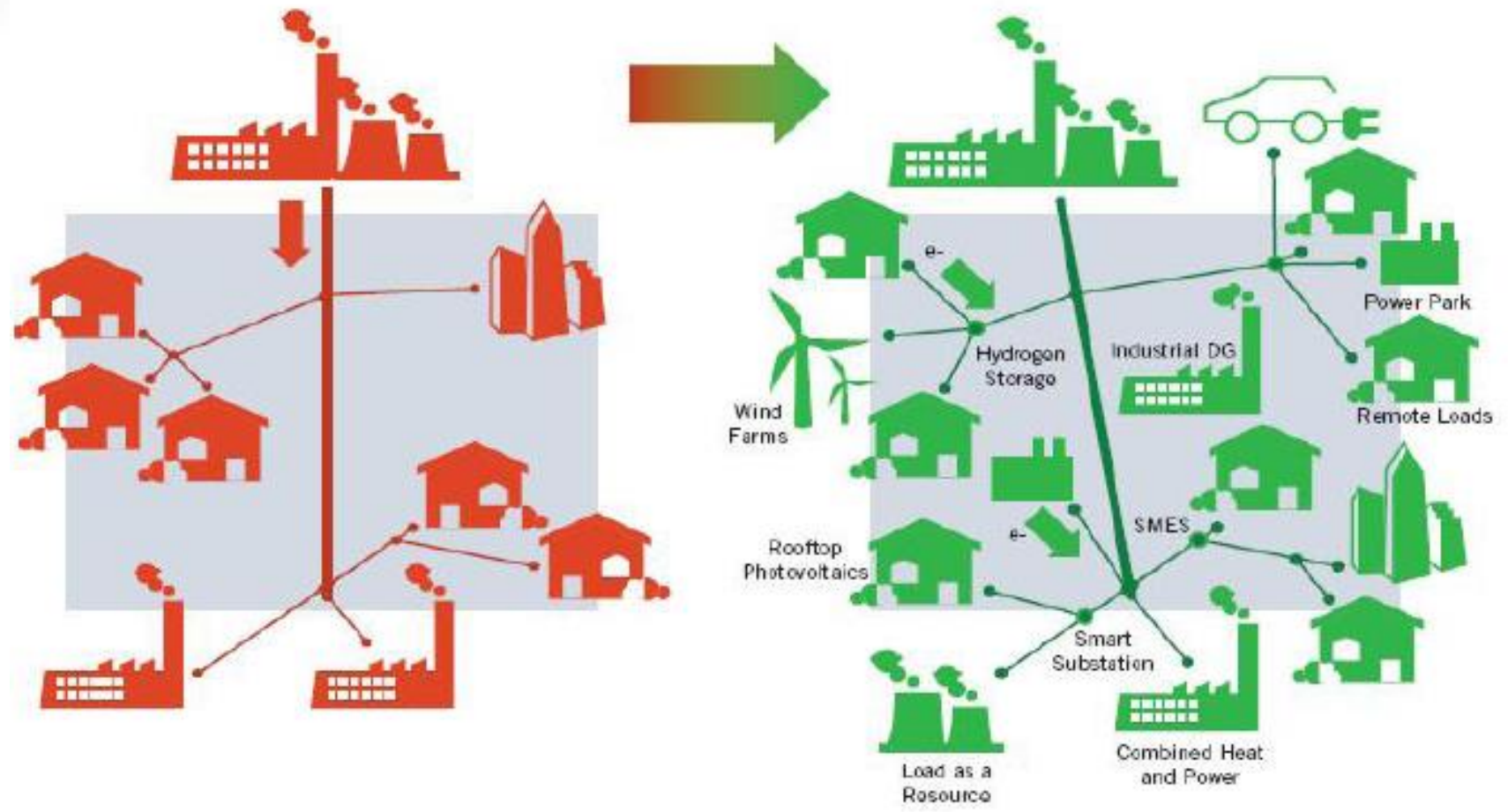
MOS FUTURO



# Smart Grid



CONSTRUIAMOS FUTURO



# IEEE Conf. 2009



CONSTRUIMOS FUTURO

- Ilustración concepto Smart Grid:

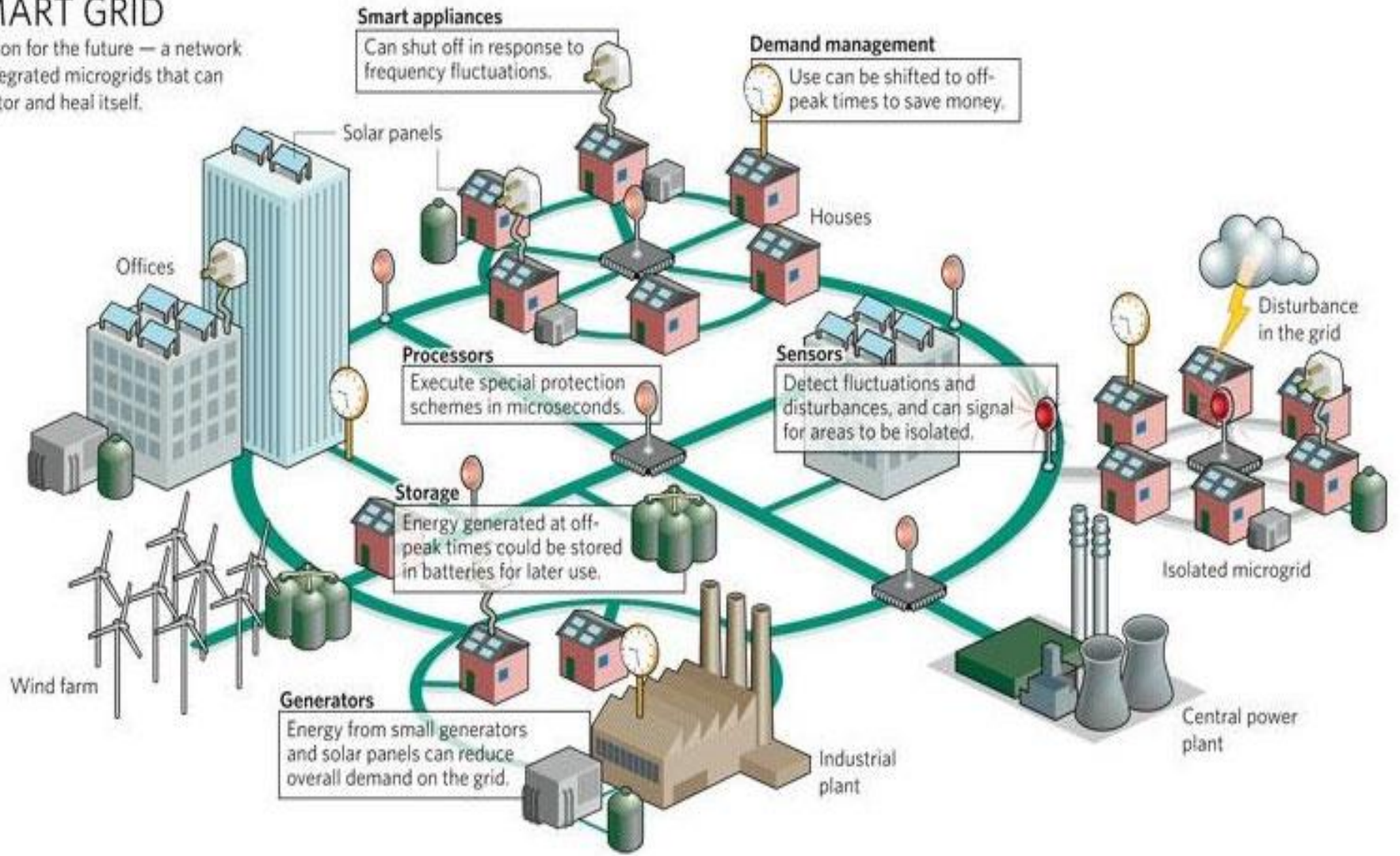
<https://www.youtube.com/watch?v=YrcqAcqRD8>

# Esquemáticos de Smart Grid

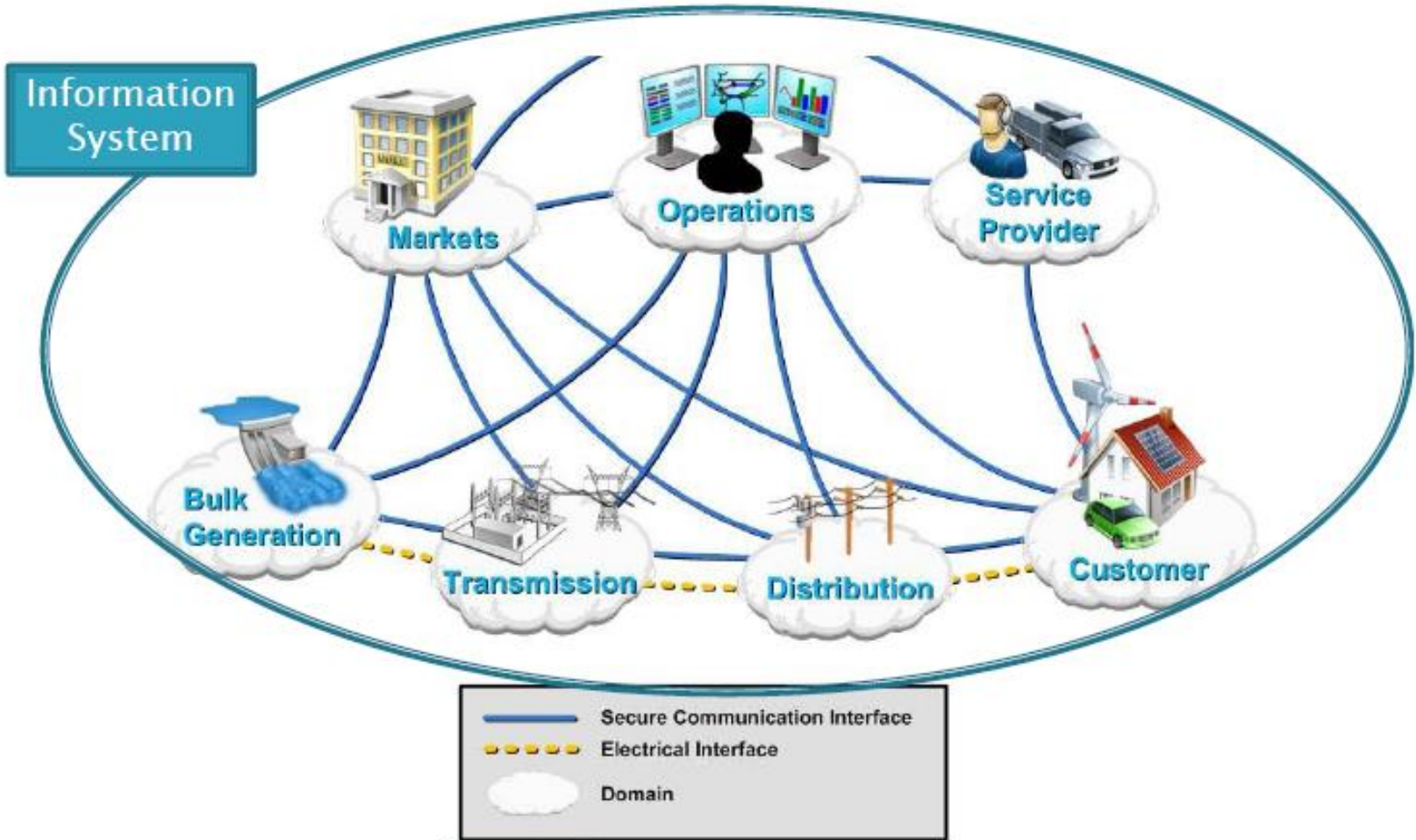


## SMART GRID

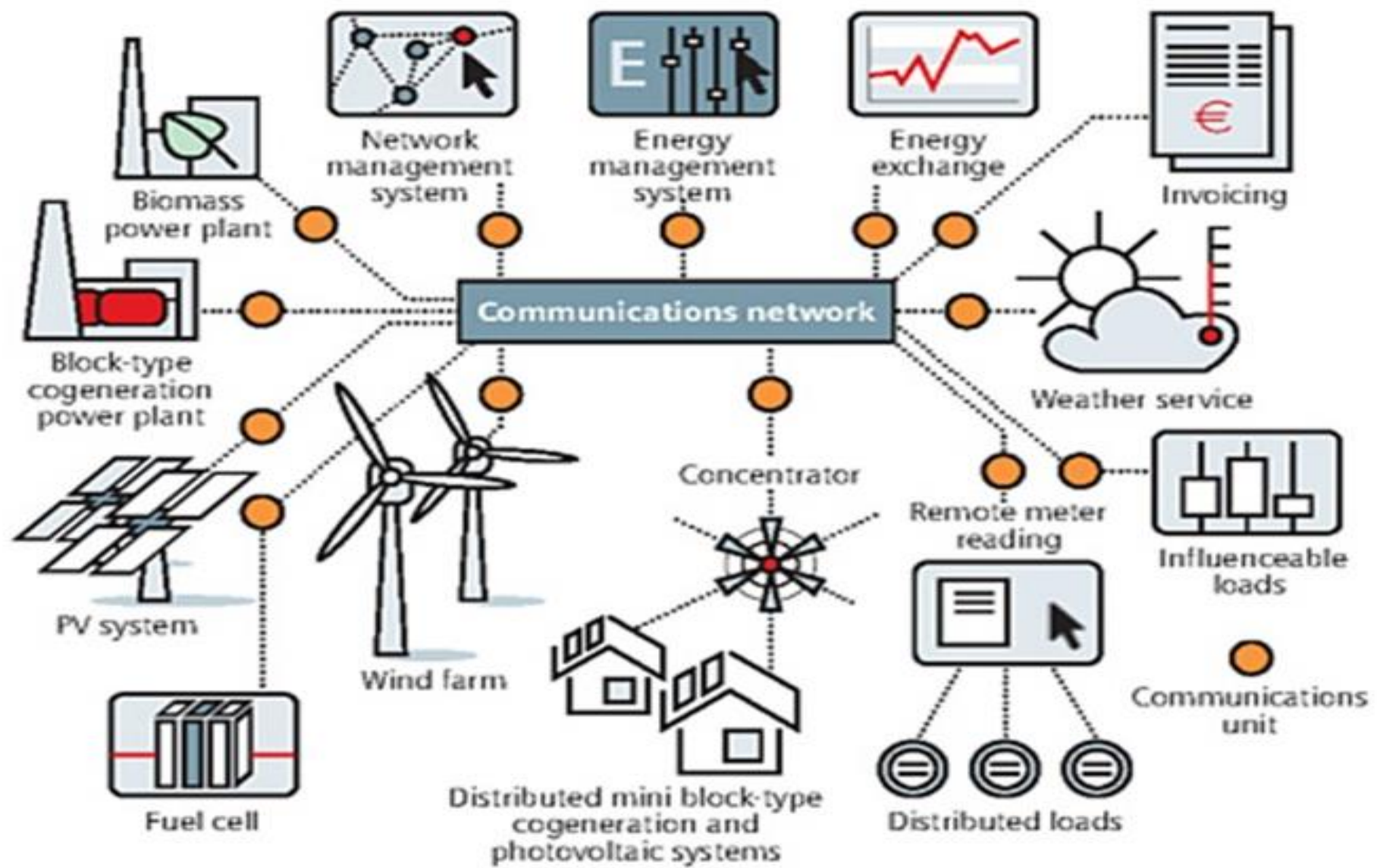
A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.



# Esquemáticos de Smart Grid



# Esquemáticos de Smart Grid





# Esquemáticos de Smart Grid



CONSTRUIAMOS FUTURO



# Categorías tecnológicas

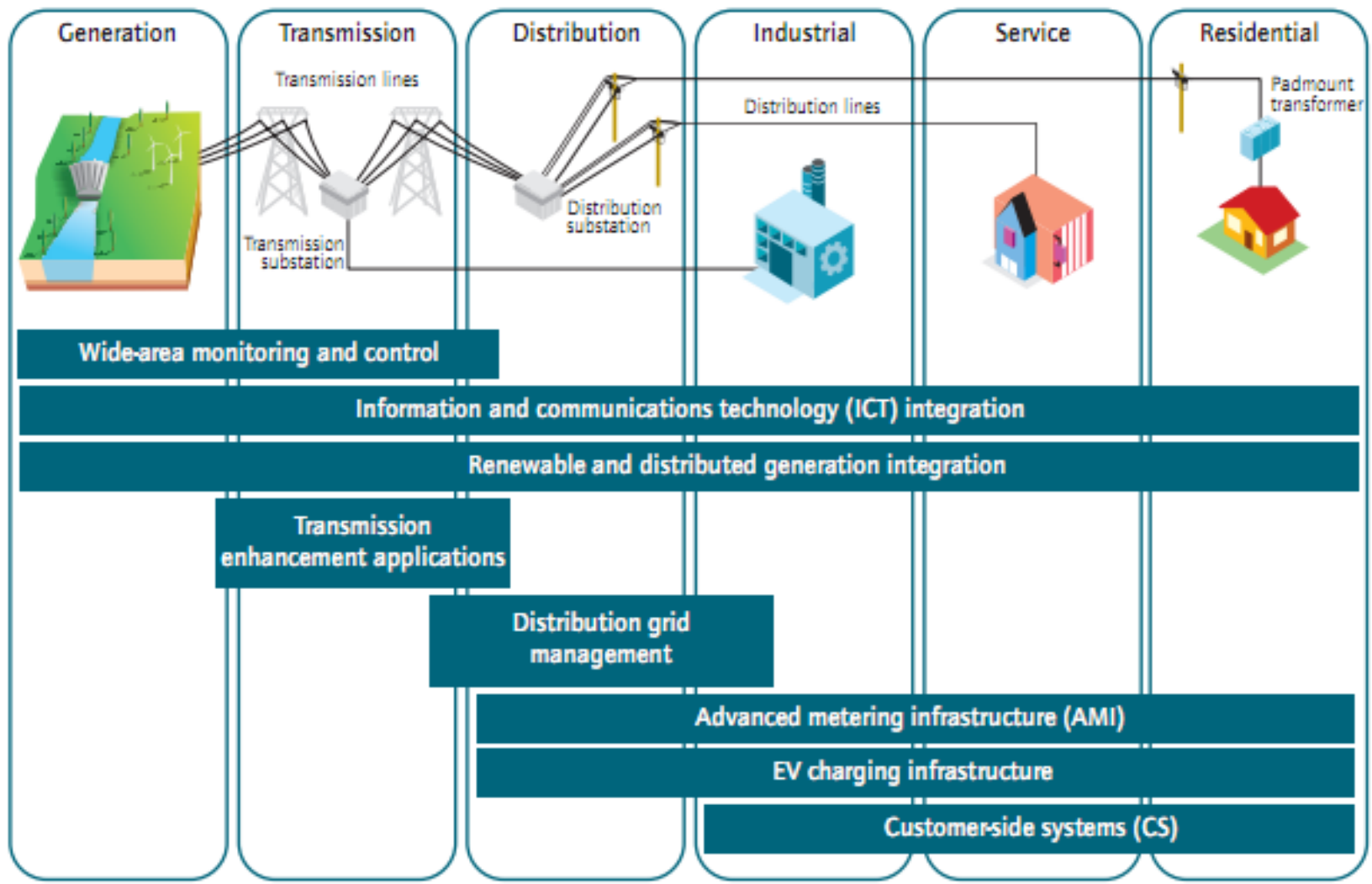


CONSTRUIAMOS FUTURO

- Alstom:

<https://www.youtube.com/watch?v=lIHp9frZA>  
Wo

# Categorías tecnológicas

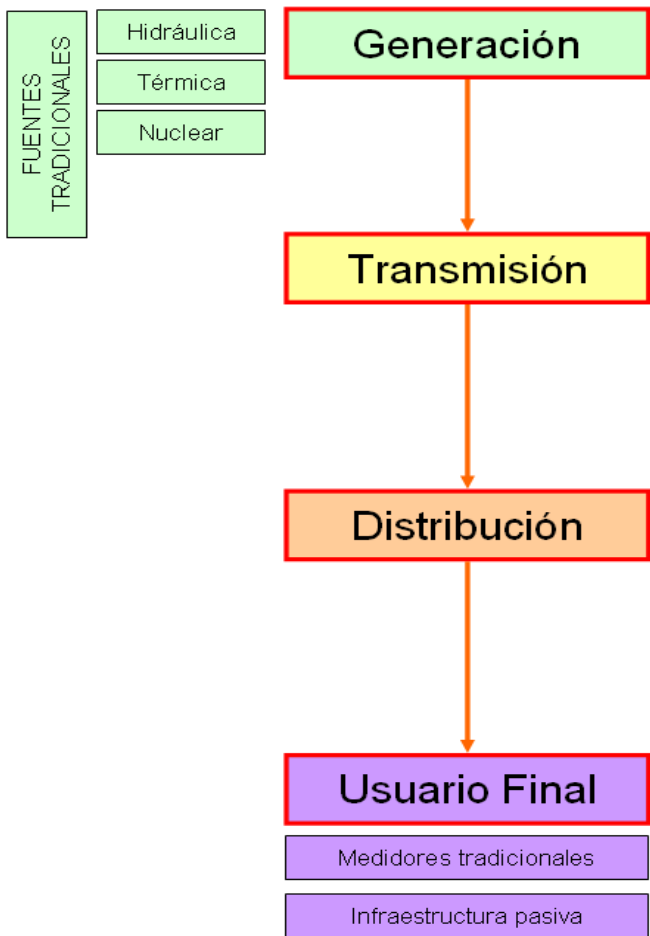


# Categorías tecnológicas



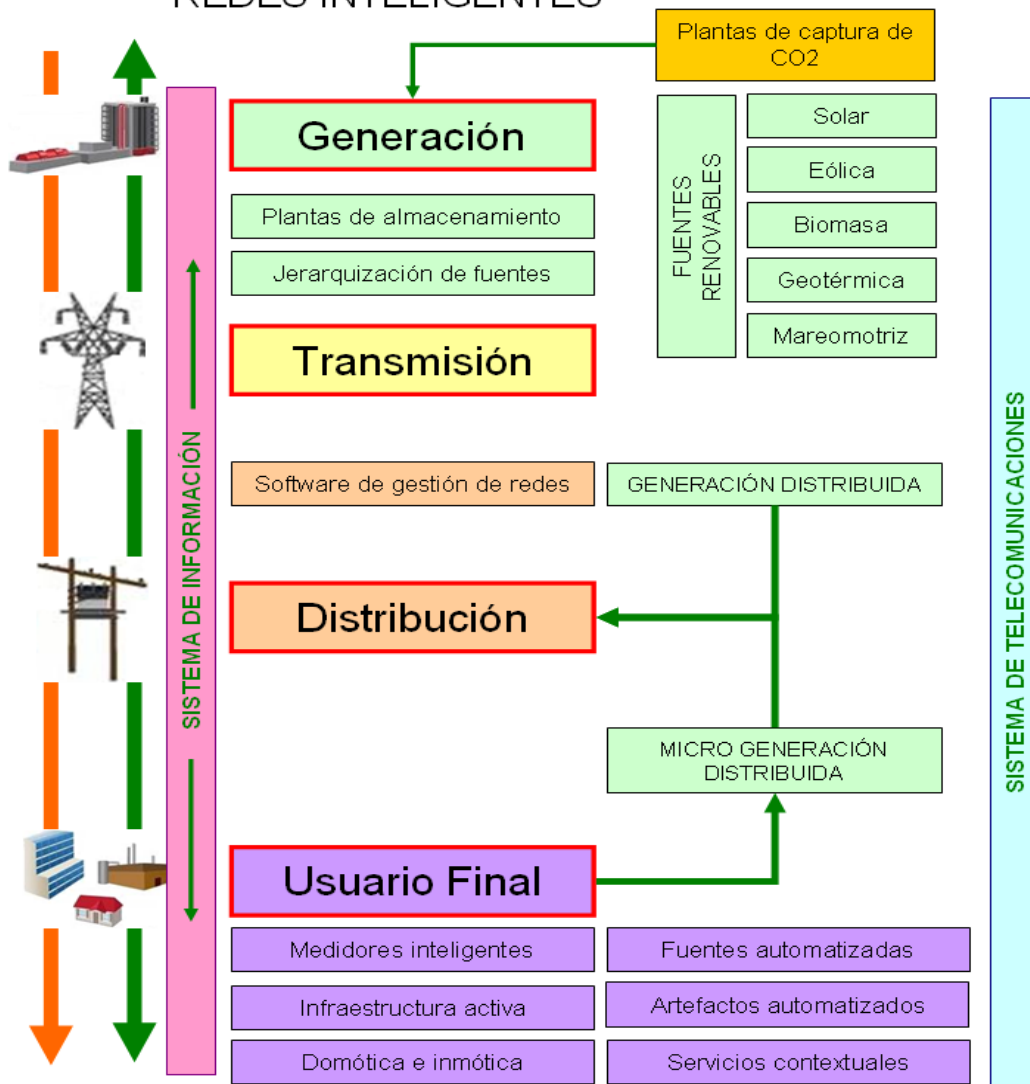
CONSTRUIMOS FUTURO

## SISTEMAS TRADICIONALES



INTEGRACIÓN VERTICAL UNIDIRECCIONAL

## REDES INTELIGENTES



INTEGRACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL MULTIDIRECCIONAL

# Visión Smart



CONSTRUIMOS FUTURO

- Concepto *Smart Grid* en Dinamarca :

<https://www.youtube.com/watch?v=QqfMwEQ2pbc>

# Visión Smart



CONSTRUIAMOS FUTURO

## SMART GRIDS: Inteligencia en Acción



# Visión Smart



CONSTRUIMOS FUTURO

- **Integración de las fuentes de energías renovables (Fotovoltaica, Eólica, Biomasa, Geotérmica, ....)**
- **Modificar los mercados energéticos para ajustarlos a las nuevas realidades y necesidades.**
- **Preservar el medio ambiente: promoviendo el uso eficiente de la energía.**
- **Involucrar a los usuarios de la energía en este nuevo esquema.**
- **Integración de los recursos energéticos distribuidos.**

# Visión Smart



CONSTRUIMOS FUTURO

- **Operación segura y económica.**
- **Gestión individual de los consumos.**
- **Flexibilidad, accesibilidad y confiabilidad.**
- **Optimización de los procesos y la demanda.**
- **Mejora la gestión de los activos.**
- **Minimizar el impacto de las interrupciones.**
- **Integración del transporte en las redes eléctricas**



# Visión Smart



CONSTRUIMOS FUTURO

Red existente	Red futura
Flujo de potencia unidireccional	Flujo de potencia bidireccional
Comunicación unidireccional	Comunicación bidireccional
Sensores limitados	Sensores en todo el sistema
Monitoreo limitado	Amplio monitoreo
Restauración manual	Auto-reparación
Supervisión semiautomática o manual	Supervisión remota
Control limitado	Control avanzado
Consumidor pasivo	Bastantes opciones del consumidor

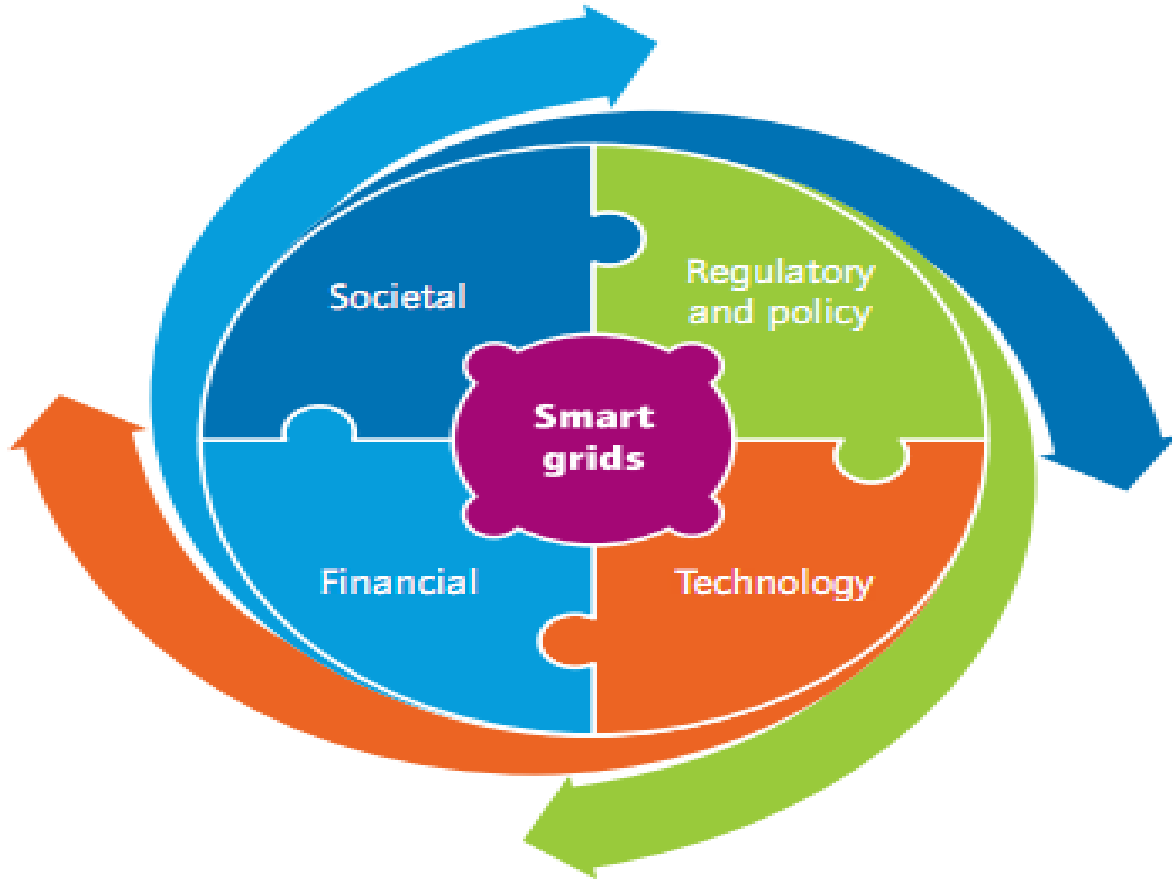
# Visión Smart (DOE)



# Visión Smart



¡UIMOS FUTURO



**KEY POINT:** *Smart grids provide an opportunity to link societal, financial, technology and regulatory and policy objectives.*

# Smart Grid



## Agenda:

- Motivación
- Aproximación a la definición de Smart Grid: Conceptos, Categorías Tecnológicas, Visión Smart
- **Retos**
- Nuevos Componentes y Conceptos.
- Proyectos a nivel mundial

# Retos...



CONSTRUIMOS FUTURO

- Desarrollo e integración de sistemas de almacenamiento de electricidad y “peak shaving” incluyendo vehículos eléctricos e híbridos y almacenamiento térmico
- Opciones de control e información a los consumidores
- Desarrollo de normas para comunicación e interoperatividad entre los equipos de la red
- <http://www.youtube.com/watch?v=N8jqbKd8hVg&feature=related>
- <http://www.youtube.com/watch?v=uBdO7N88o98&feature=related>

# Smart Grid



CONSTRUIMOS FUTURO

## Agenda:

- Motivación
- Aproximación a la definición de Smart Grid: Conceptos, Categorías Tecnológicas, Visión Smart
- Retos
- **Nuevos Componentes y Conceptos.**
- Proyectos a nivel mundial

# Lo nuevo...



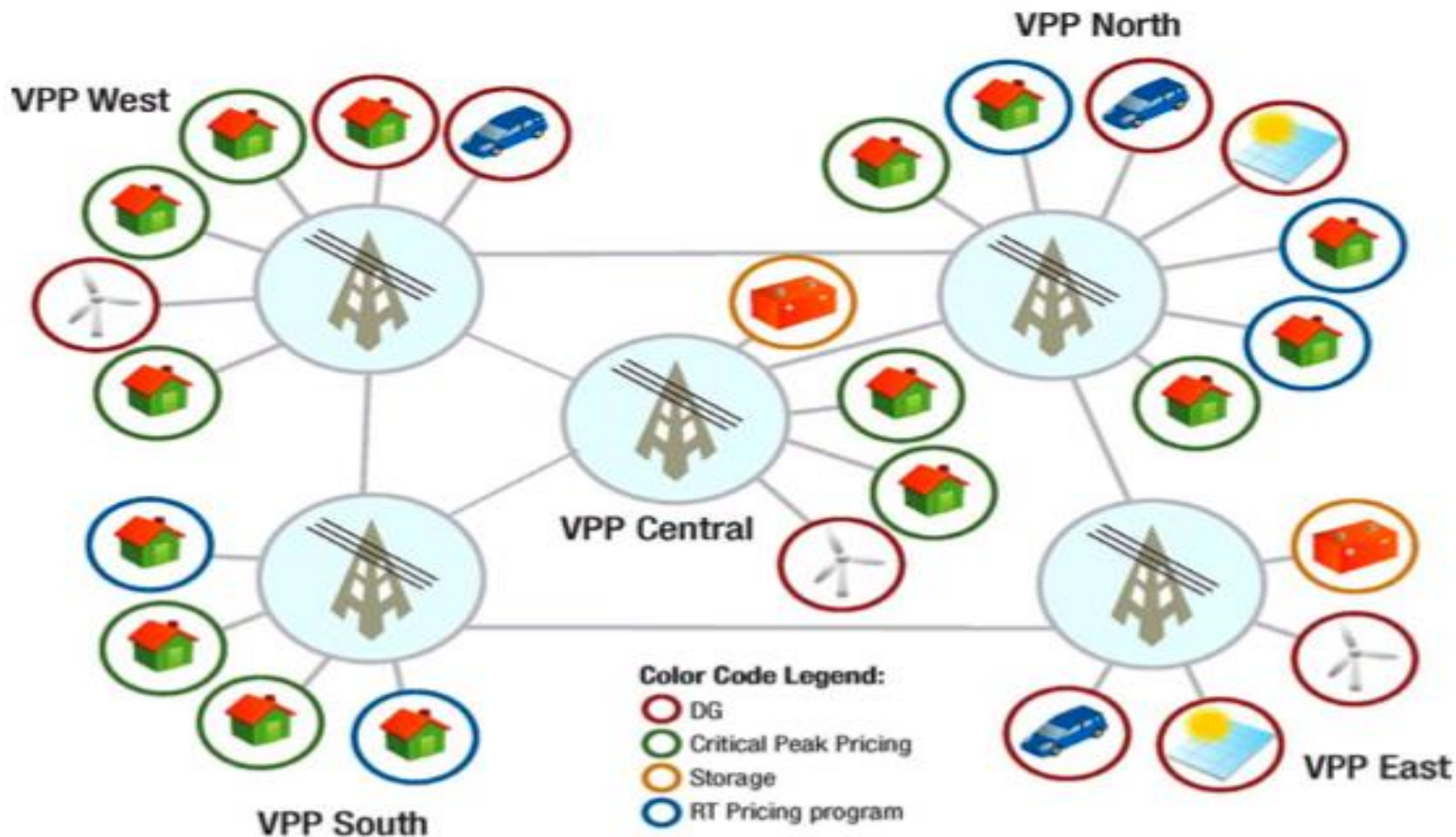
Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIMOS FUTURO

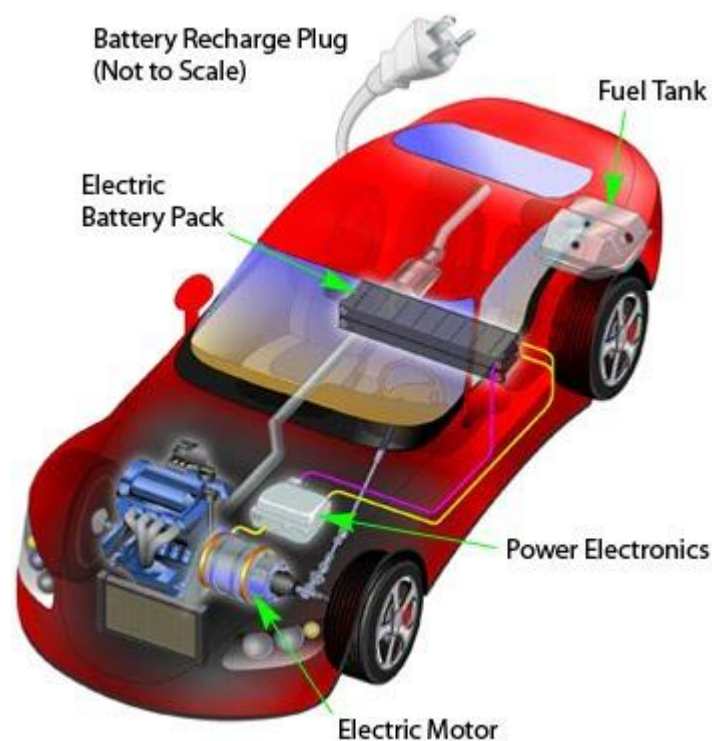
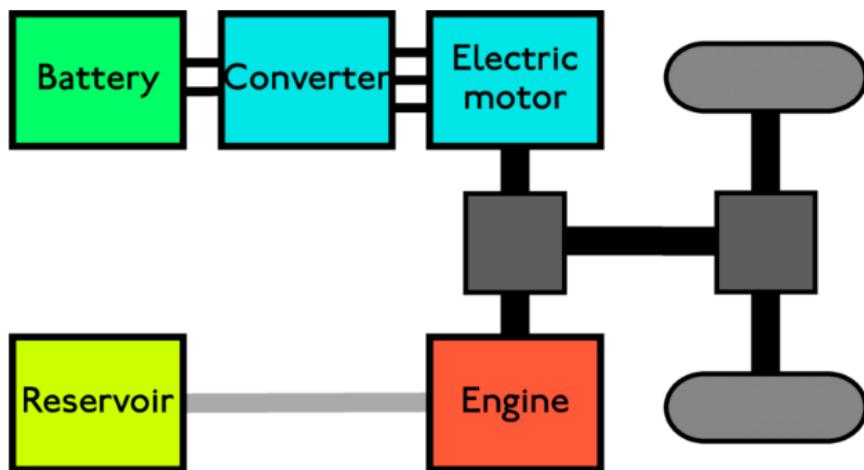
## • Virtual power plants (VPP)

### Aggregations of Demand Response & Distributed Generation



# Lo nuevo...

- Vehículos eléctricos
- Baterías
- Celdas de combustible
- Híbridos



CONSTRUIMOS FUTURO

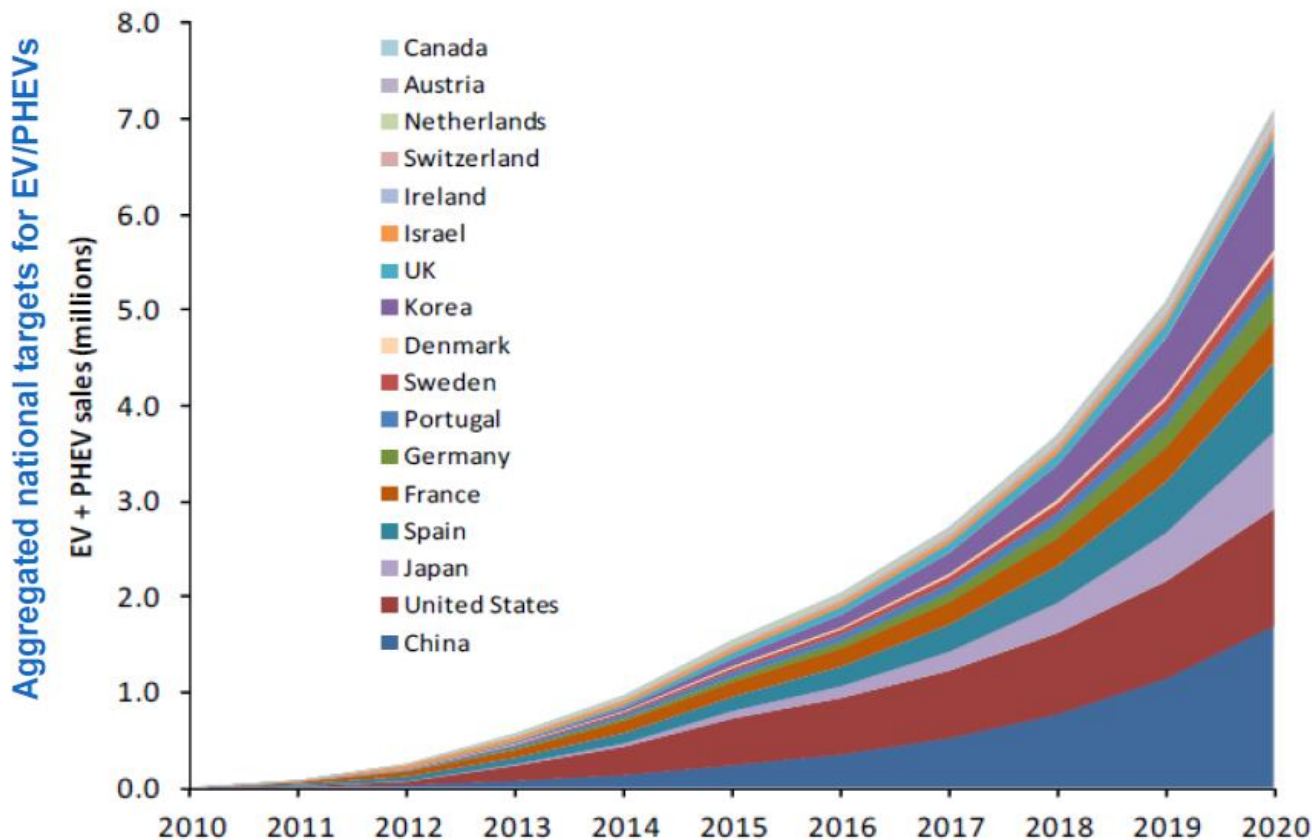


# Lo nuevo...



CONSTRUIMOS FUTURO

## • Vehículos eléctricos



En 2011 llegaron al mercado cerca 40 modelos distintos y se espera otro tanto en el 2012

Clean Energy Progress Report,  
IEA input to the Clean Energy Ministerial - Update June 2011

# Lo nuevo...



CONSTRUIMOS FUTURO

- Vehículos eléctricos



# Lo nuevo...

- Vehículos eléctricos



CONSTRUIAMOS FUTURO



# Lo nuevo...

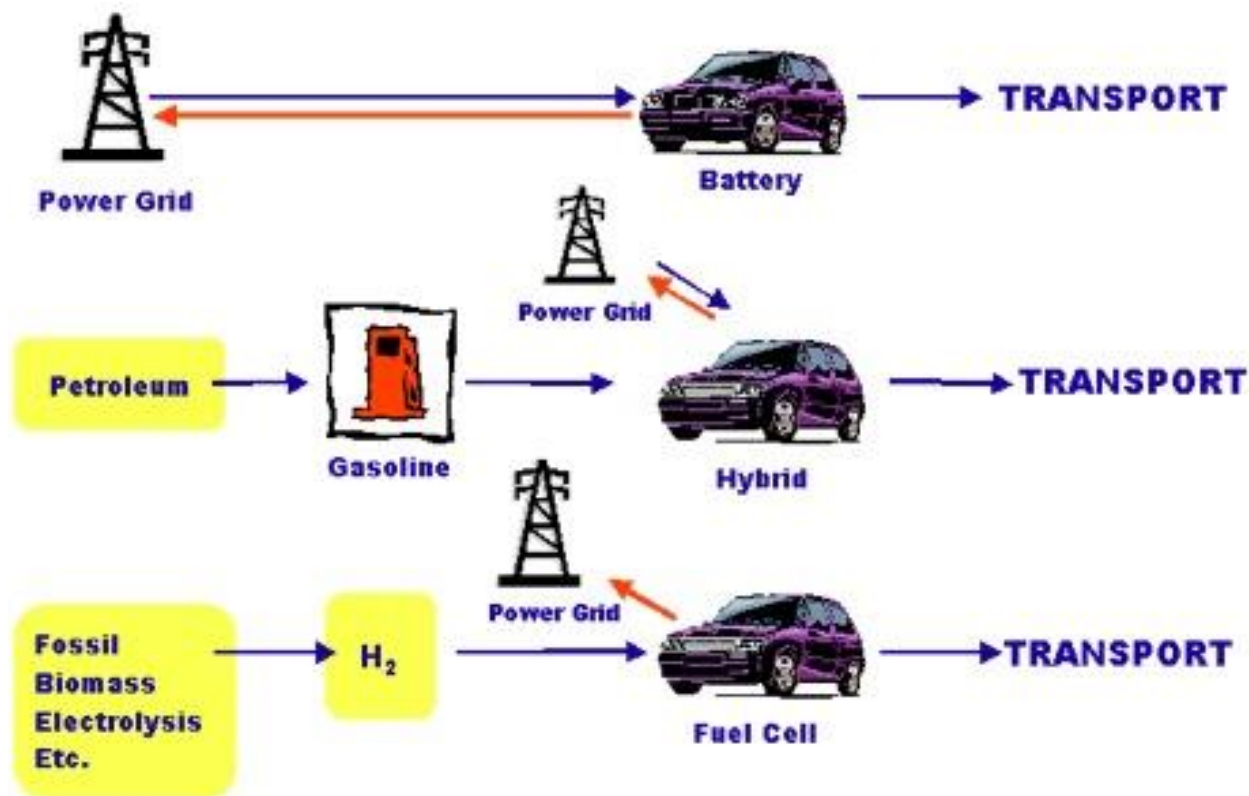


Universidad  
Industrial de  
Santander



CONSTRUIAMOS FUTURO

- Vehículos eléctricos

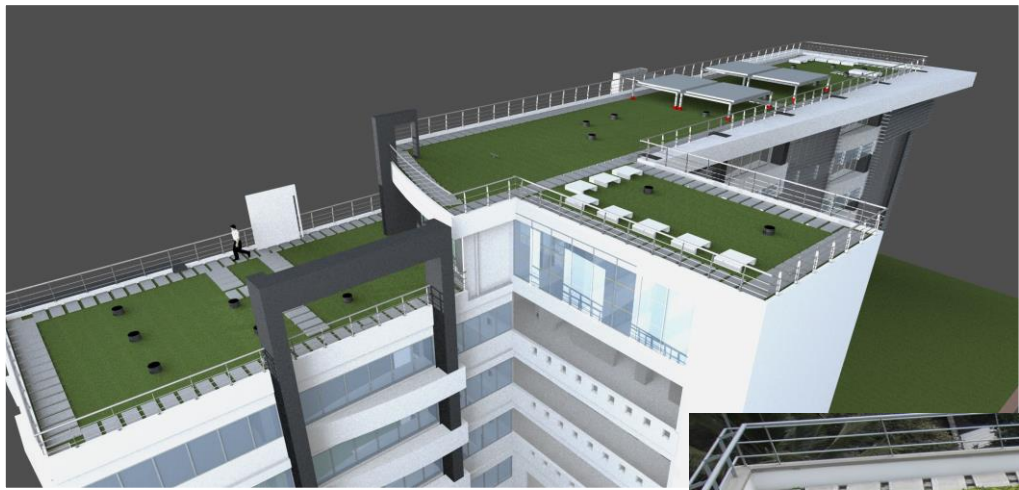


# Lo nuevo...

- Edificios Verdes



CONSTRUIMOS FUTURO

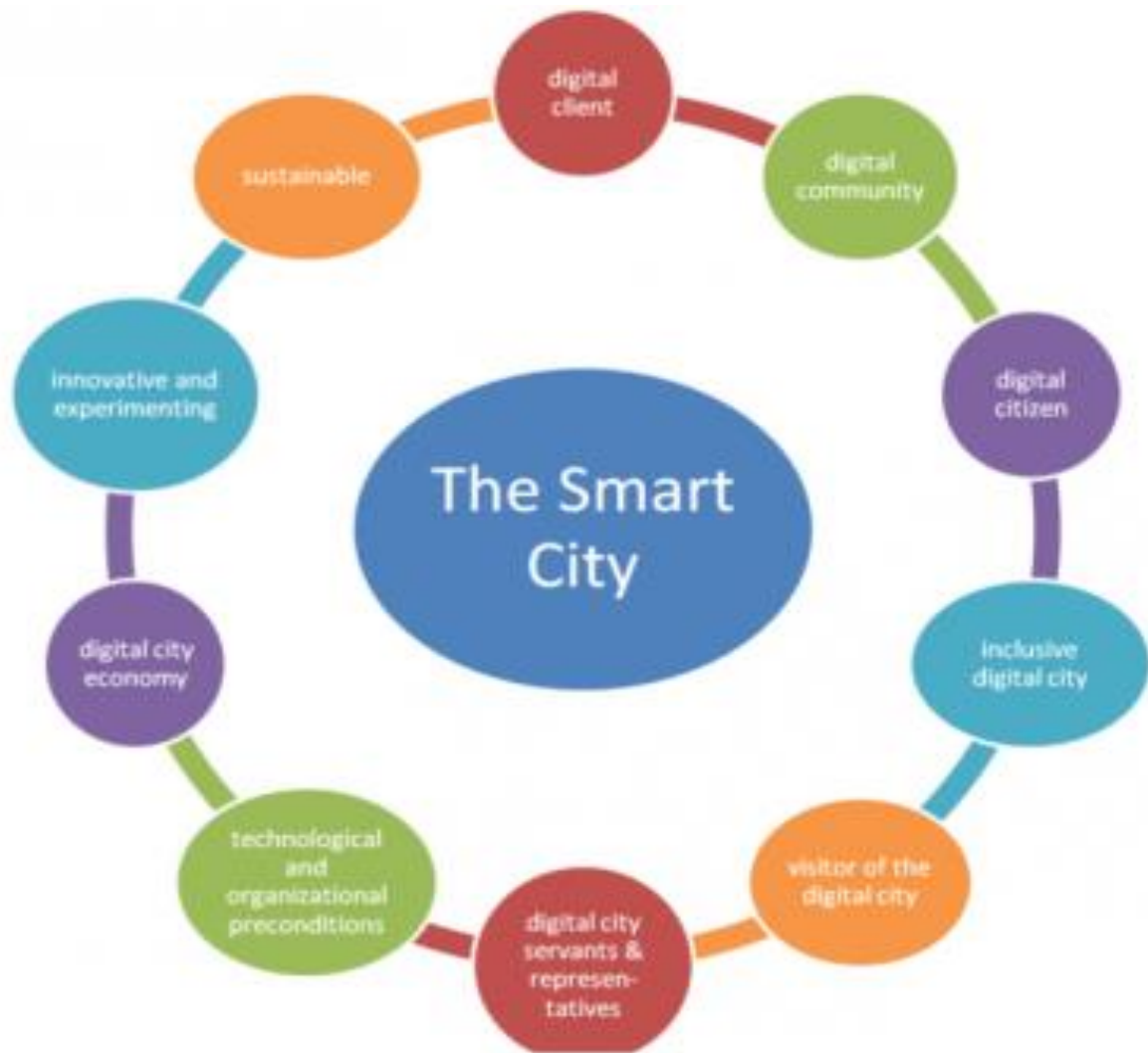


# Lo nuevo...



CONSTRUIMOS FUTURO

- Smart Cities



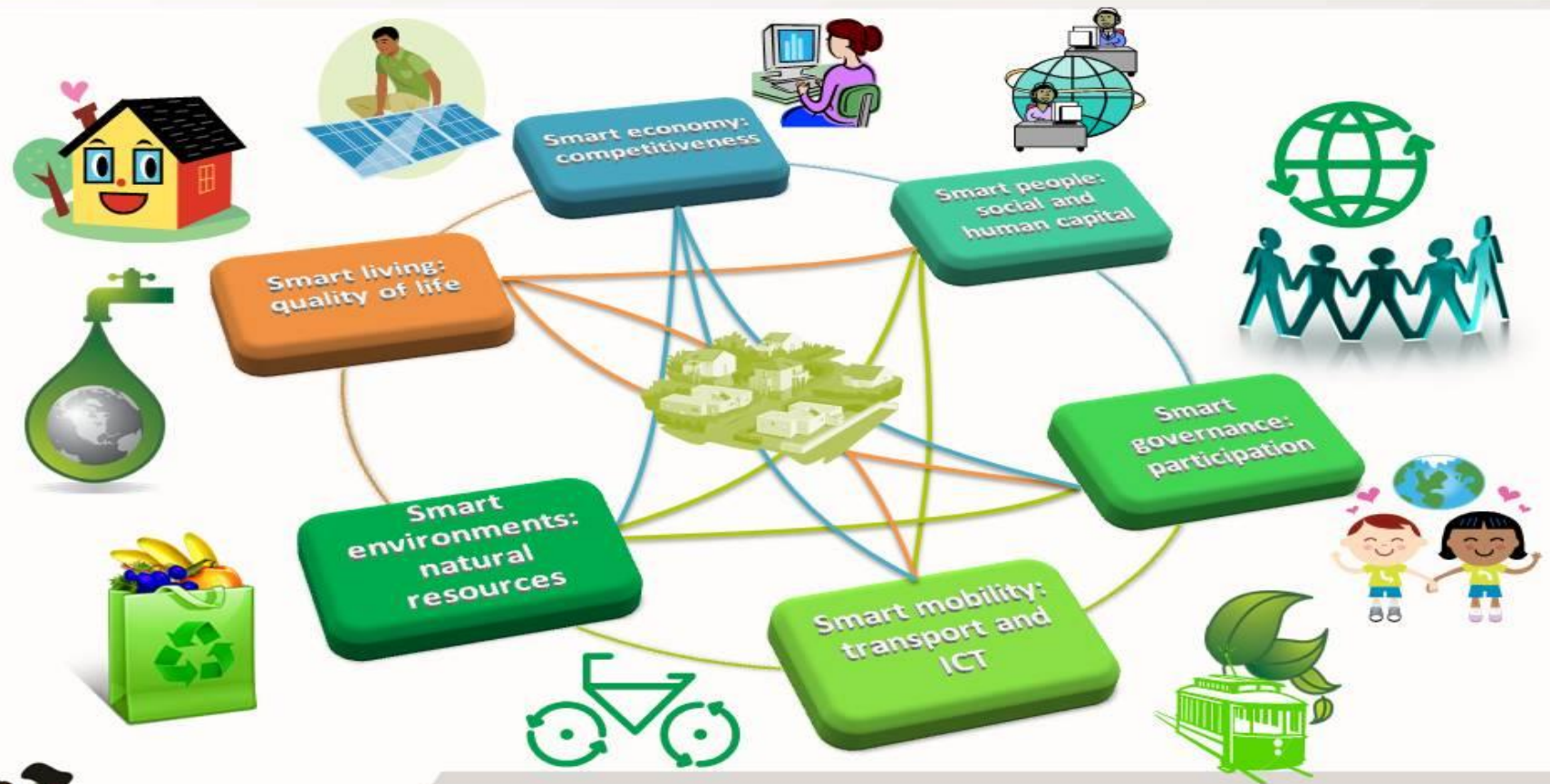
# Lo nuevo...



CONSTRUIMOS FUTURO

- Smart Cities

## Network of European Smart Cities: an Holistic View by Vienna University of Technology



# Actividad de clase



CONSTRUIAMOS FUTURO

- Realizar un resumen del artículo asignado y presentarlo ante el grupo
  - Resumen de la introducción
  - Síntesis de nuevos conceptos o aspectos relevantes
  - Presentación de la síntesis de los resultados mediante las tablas y figuras.



# Actividad de clase



CONSTRUIMOS FUTURO

## • Lecturas

1. Cap 2 de “Smart Grids y la Evolución de la Red Eléctrica”. Autor: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones.
2. Cap 2 de “Diseño de Estrategias de una Central de Generación Virtual” Autor: Borja Melón, Proyecto Fin de Carrera Ing. Industrial, UC3M, Madrid, España.
3. Hashmi, M.; Hanninen, S.; Maki, K., "Survey of smart grid concepts, architectures, and technological demonstrations worldwide," Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011 IEEE PES Conference on , vol., no., pp.1,7, 19-21 Oct. 2011.
4. Jia DongLi; Meng Xiaoli; Song Xiaohui, "Study on technology system of self-healing control in smart distribution grid," Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2011 International Conference on , vol.1, no., pp.26,30, 16-20 Oct. 2011

# Actividad de clase



CONSTRUIMOS FUTURO

## • Lecturas

5. Perez Duarte, D.; Kagan, N.; Gouvê a, M.R.; Labronici, J.; Cezar Maia, F.; Barreto Neto, A., "Diagnosis of advanced distribution automation in the Brazilian electric sector distribution," Electricity Distribution (CIRED 2013), 22nd International Conference and Exhibition on , vol., no., pp.1,4, 10-13 June 2013
6. Moreira, R.; Silva, Nuno; Leite, H., "Technical and economic assessment for deployment of distribution automation equipments - enabling self-healing strategies," Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on , vol., no., pp.1,8, 5-7 Dec. 2011
7. A. Espinoza, S. González y B. Sierra, “Automatización de la distribución: Presente y Futuro”,2011.
8. L. Gallegos, C. Picasso y J. Gómez, “Tendencias en automatización de la distribución”, 2011.