



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



INSTITUTO UNIVERSITARIO  
**SIANI**  
INGENIERIA COMPUTACIONAL

# ***Inteligencia en la Red Eléctrica***

Mario Hernández

Instituto Universitario SIANI

[mhernandez@siani.es](mailto:mhernandez@siani.es)

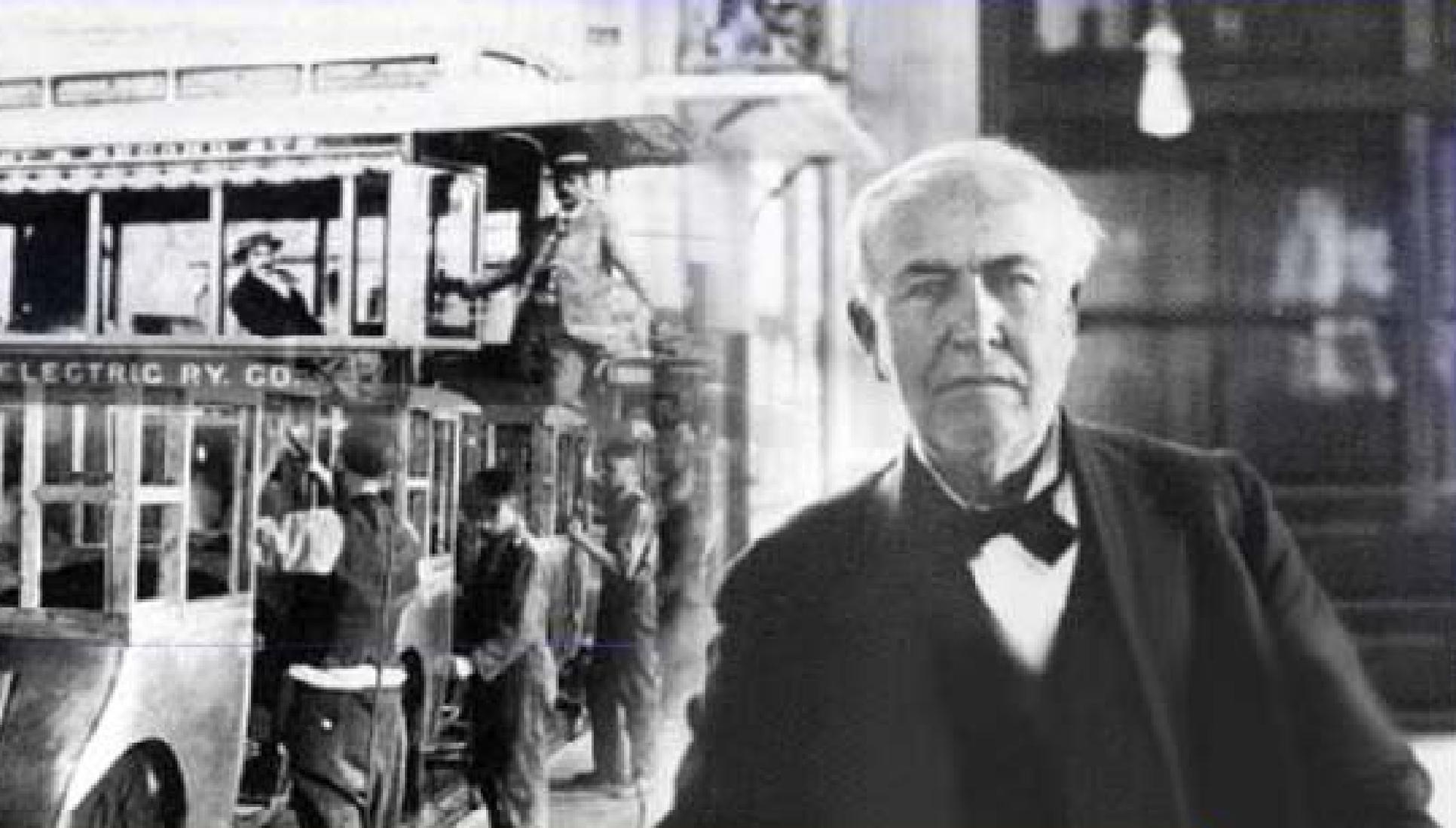


## Reflexión sobre Tecnología e Infraestructuras

- de Redes Eléctricas
- de la Era Digital

Y sobre la transformación necesaria sobre una con la presencia de la otra





**“Las grandes redes eléctricas son el mayor logro de la ingeniería del siglo XX”**

*Academia Nacional de la Ingeniería de EEUU*



# Primera Revolución

- Innovación en conceptos, dispositivos y modelo de negocio
- **Visión:** iluminar usando electricidad
- **Concepto:** la bombilla eléctrica, la generación y la transmisión de energía eléctrica a las casas desde estaciones generadoras
- **Modelo de negocio:** venta de electricidad, dispositivos e instalaciones
- Creación por Thomas A. Edison de las primeras redes eléctricas



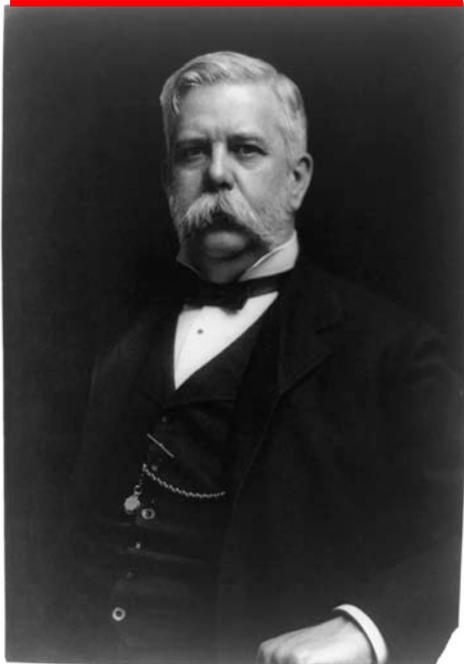
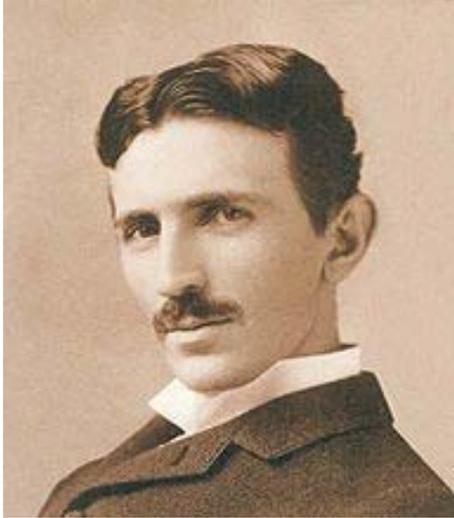
This Room Is Equipped With  
Edison Electric Light.

Do not attempt to light with  
match. Simply turn key  
on wall by the door.

---

The use of Electricity for lighting is in no way harmful  
to health, nor does it affect the soundness of sleep.

# Segunda Revolución



- Tecnología concebida por Nikola Tesla
- 1895: Primeras transmisiones de energía eléctrica a larga distancia por George Westinghouse, desde Niagara Falls a Buffalo (22 Km).
- **Visión:** la generación no tiene que estar cercana al consumo, sino a la fuente primaria
- **Concepto:** la corriente alterna supera las limitaciones de la transmisión de energía

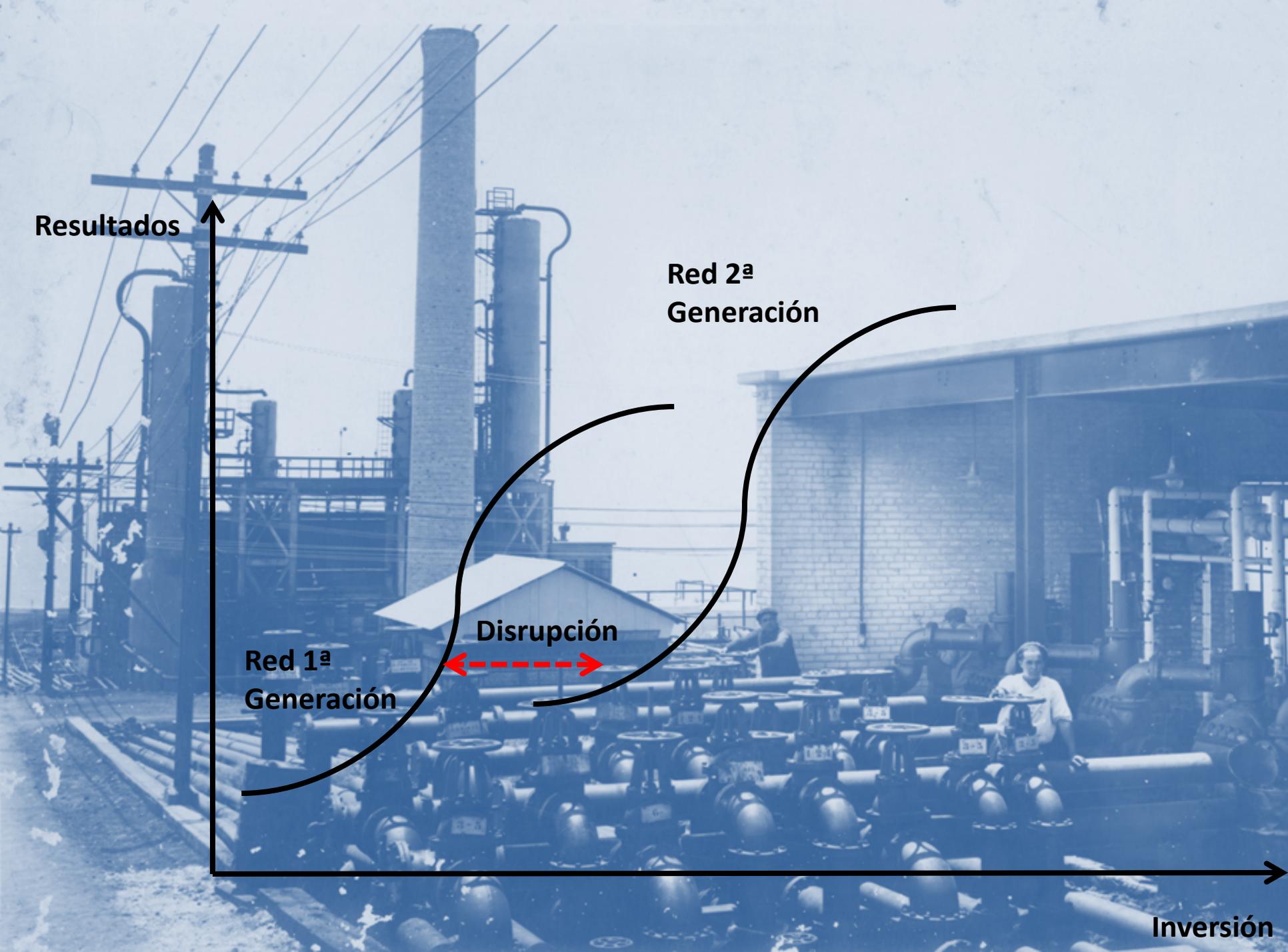
Resultados

Red 2<sup>a</sup>  
Generación

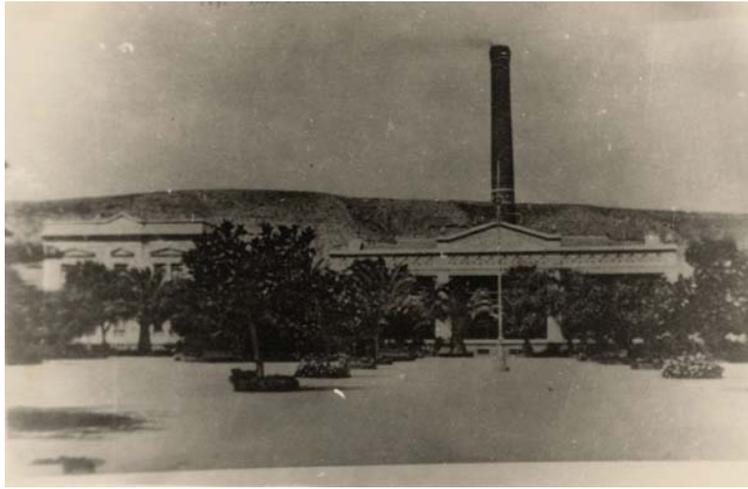
Red 1<sup>a</sup>  
Generación

Disrupción

Inversión



¿Y en Gran Canaria?



Fábrica de la Luz  
Plaza de la Feria 1910



Sociedad de Electricidad de Las Palmas  
de Gran Canaria 1925-1930



Compañía Insular Colonial de Electricidad y  
Riegos (CICER)  
Fábrica de la Luz de Guanarteme - 1928



CICER 1950-1955

# Algo sobre los sistemas eléctricos

- Modelo soportado en concepción tecnológica de los años 50 del siglo XX
- Diseñados para las necesidades energéticas en los países más industrializados para abordar la electrificación
- Se concibieron y construyeron cuando la energía primaria era muy barata
- Importante facilitador de la industrialización y desarrollo de España y por supuesto, Canarias

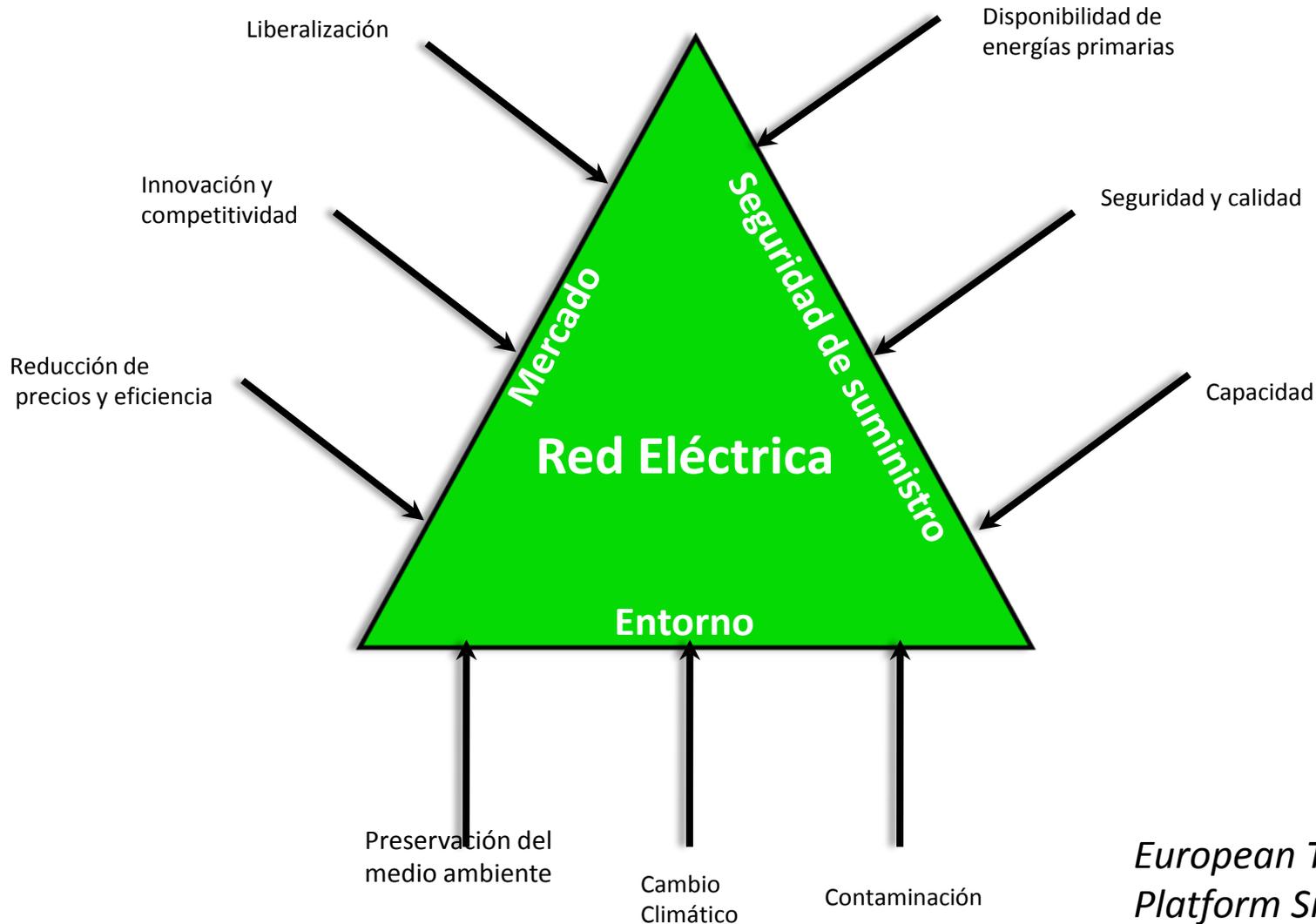
# Hechos

- La electricidad fluye unidireccionalmente y con despacho centralizado desde las plantas generadoras hasta los consumidores finales
- La fiabilidad de funcionamiento se consigue fundamentalmente asegurando un exceso de capacidad en el sistema para responder a la posible demanda (reserva)
- Las inversiones en los sistemas eléctricos se hacen básicamente para seguir (predictivamente) a la demanda

# Y en los últimos años ...

- La innovación y la tecnología han cambiado radicalmente otros sectores industriales
- El sector eléctrico, durante décadas y básicamente ,ha continuado desarrollándose de la misma manera y basado en la misma conceptualización de sistema

# Fuerzas que actúan actualmente sobre el funcionamiento de la red eléctrica



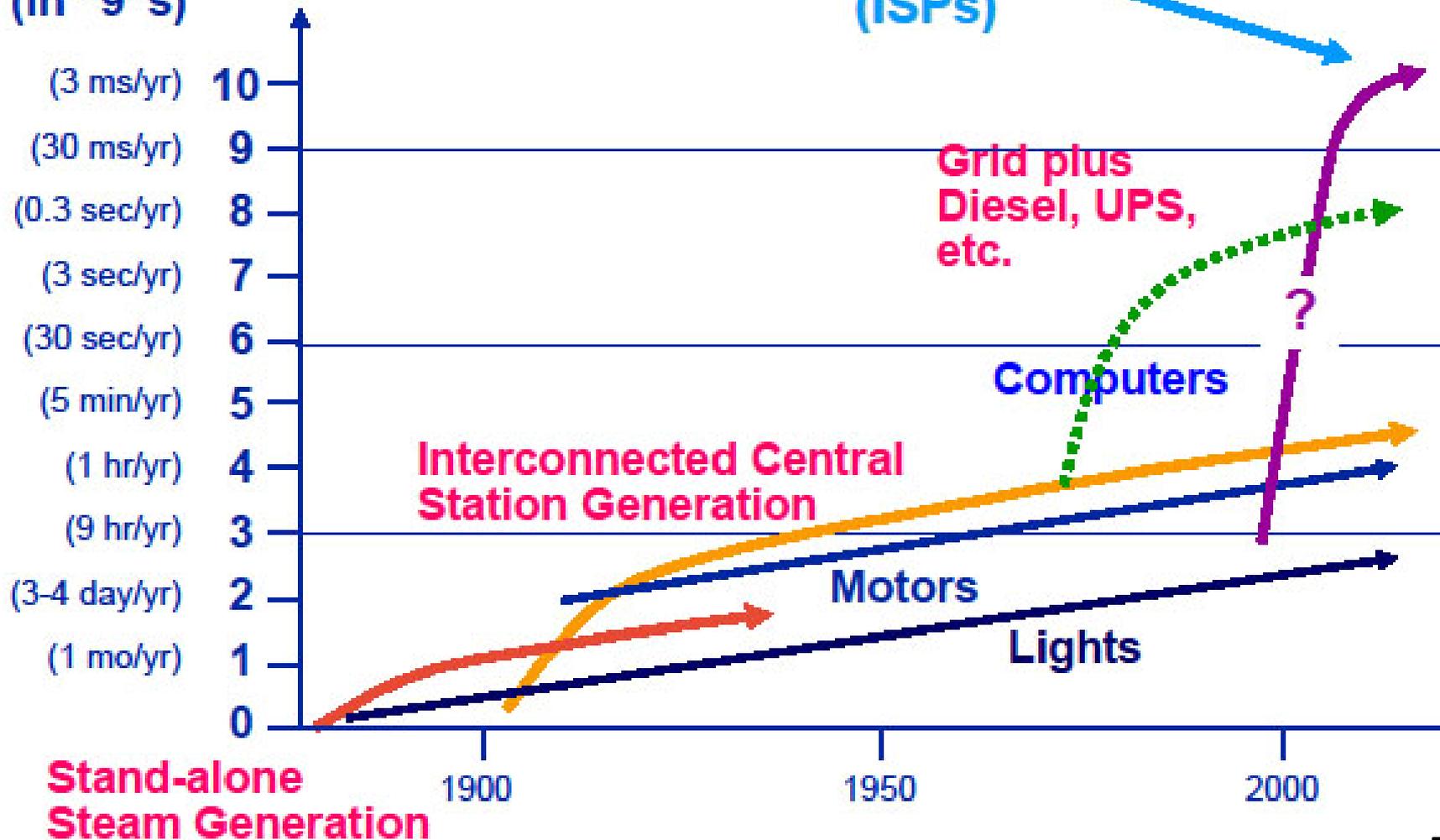
# La Sociedad Digital

- Las TIC's son ubícuas. Cada dimensión de nuestra existencia esta repleta de dispositivos digitales
- La vivienda promedio de clase media contiene una veintena de microprocesadores “empotrados” en dispositivos

# Fiabilidad

- La primera exigencia de la sociedad digital para las tecnologías que la soportan
- Tendencia a una sociedad 24/7 (disponibilidad absoluta)
- Ejemplo:
  - granja de servidores de internet – fiabilidad “cinco nueves” (99.999%); 5 minutos max . de caída al año
  - Telemedicina, cirugía remota - fiabilidad “nueve nueves”

# Electricity Reliability (in "9"s)



# La Red Eléctrica y la Sociedad Digital

- Las actuales infraestructuras eléctricas son inadecuadas, porque no se diseñaron para cubrir las necesidades de la sociedad digital
- **Objetivo:** Crear una infraestructura más fuerte y estable, vital para sustentar la sociedad digital
- **Tercera Revolución de los Sistemas Eléctricos**

Resultados

Red 1ª  
Generación

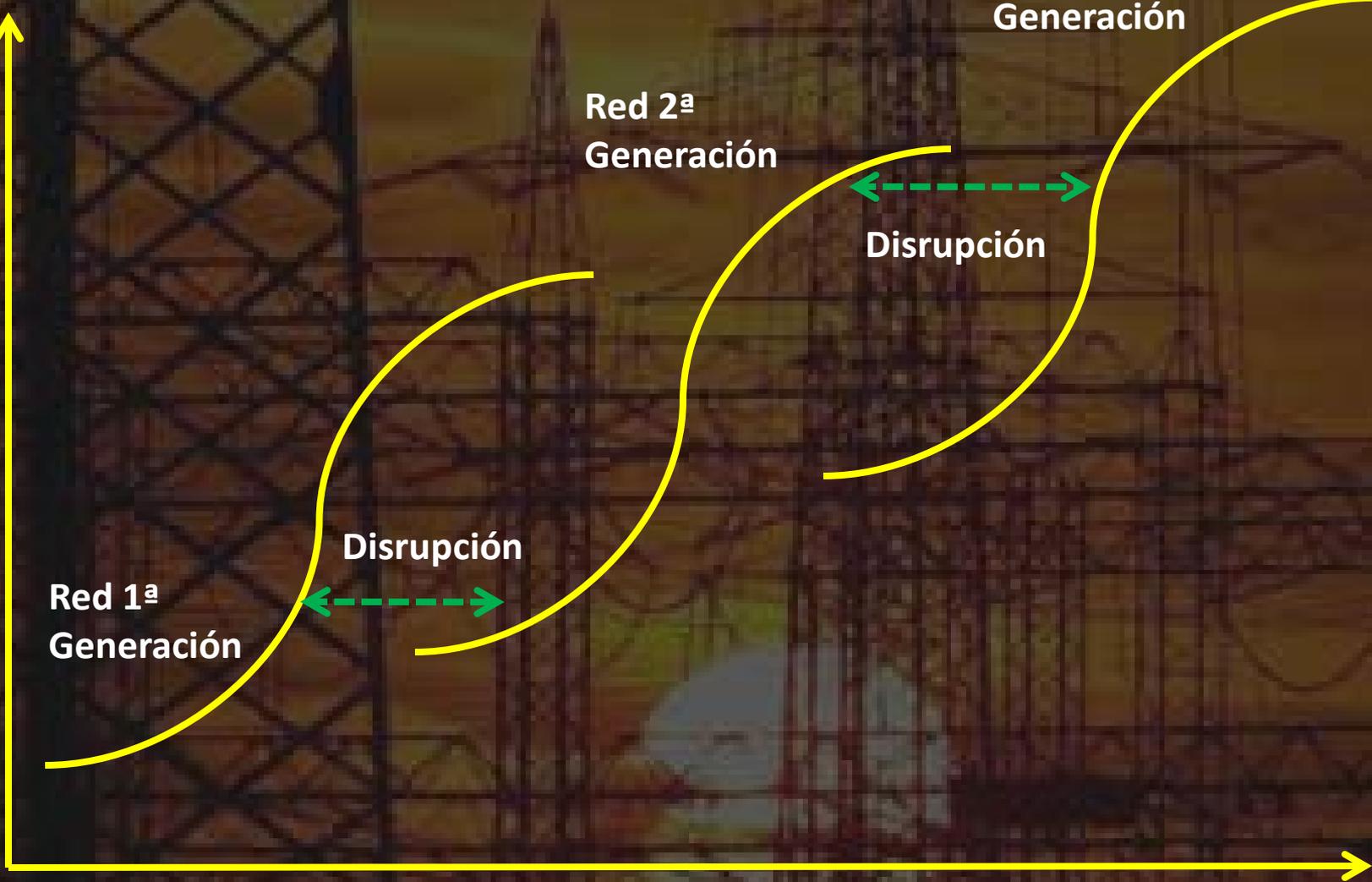
Disrupción

Red 2ª  
Generación

Disrupción

Red 3ª  
Generación

Inversión

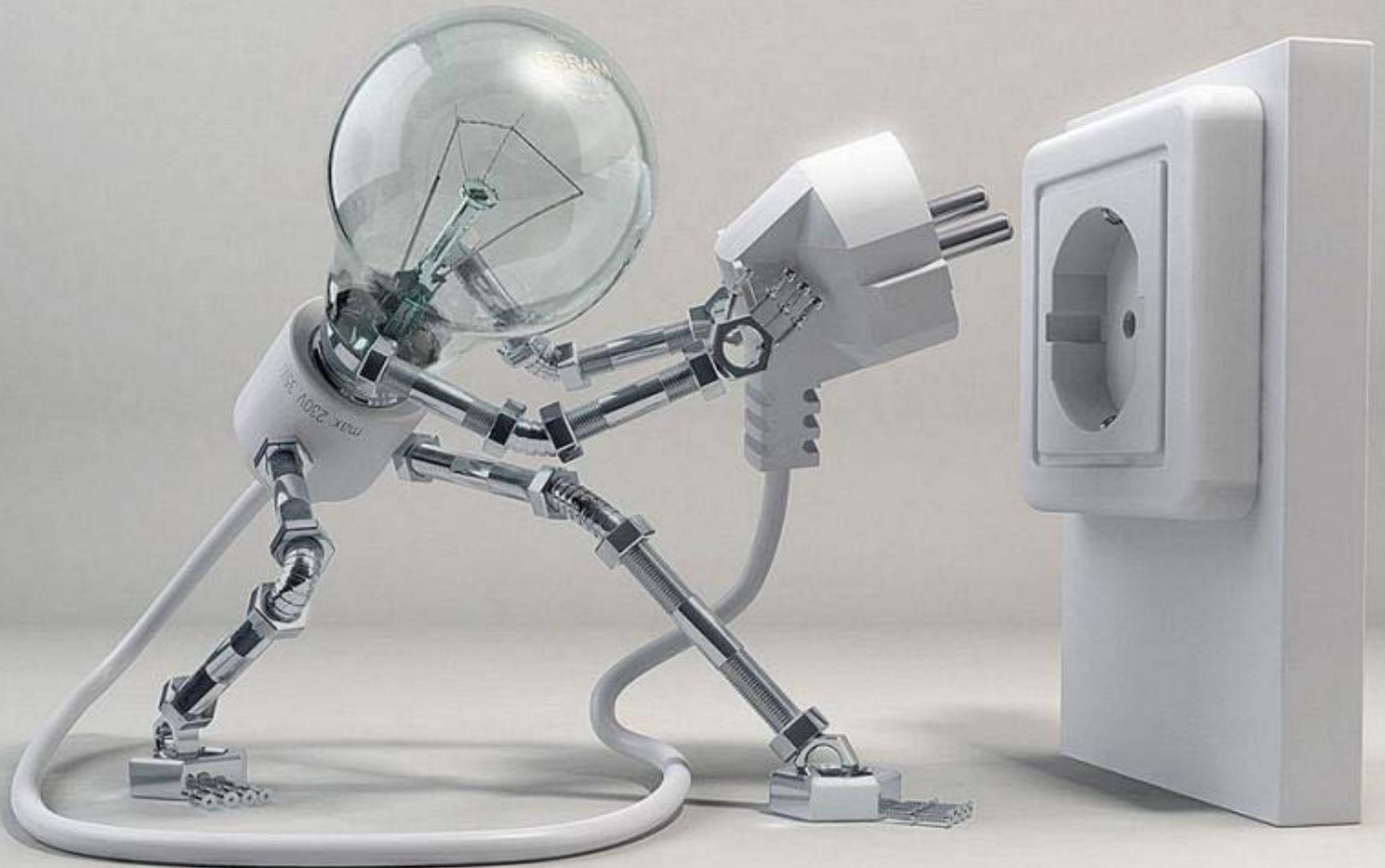


# El reto de la infraestructura eléctrica en la Sociedad Digital

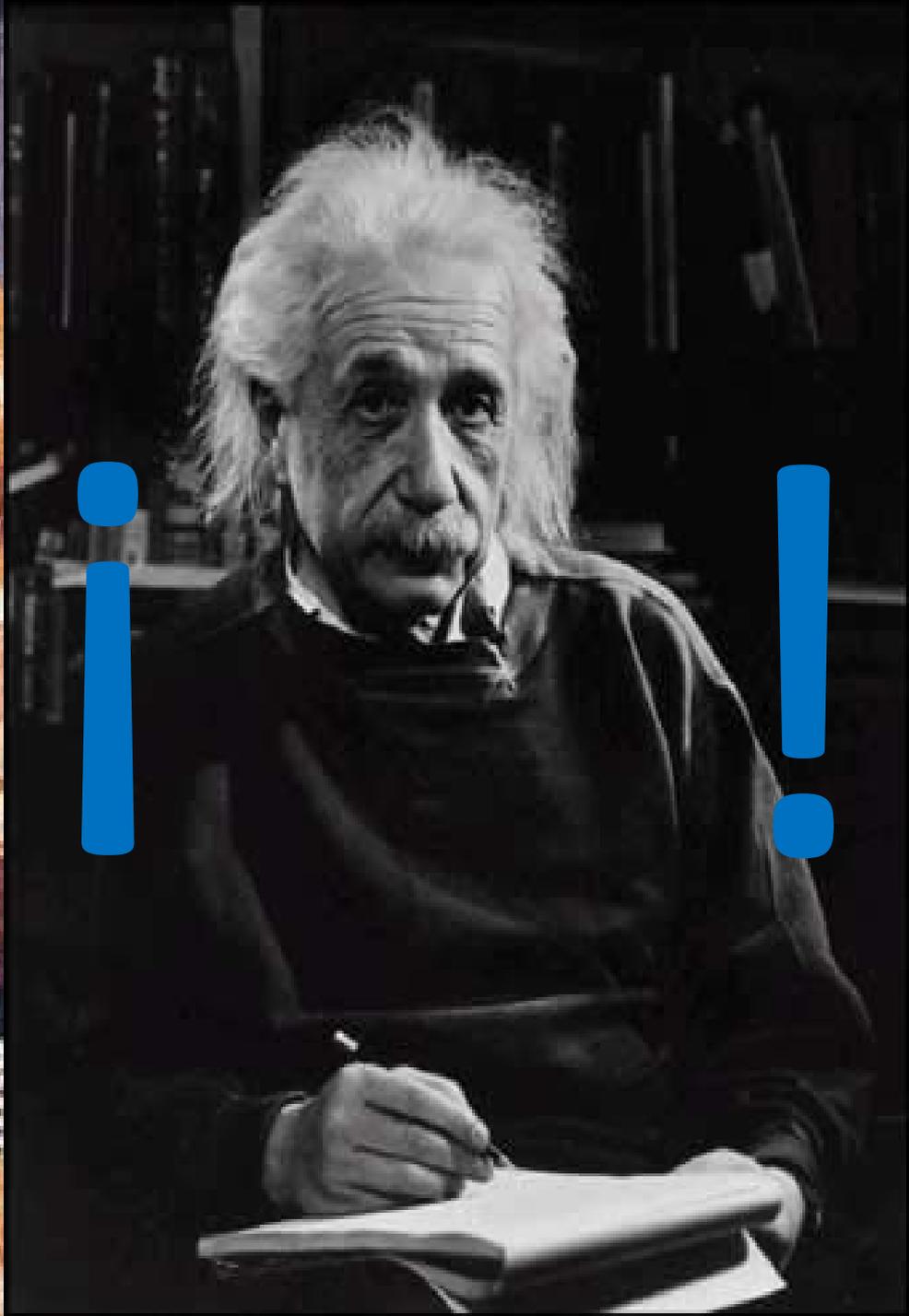
**“Que quede como una reliquia del siglo XX o reconvertirla para que sea la infraestructura básica que soporte la sociedad digital del siglo XXI”**

*Massoud Amin  
Director of Technological Leadership Institute  
University of Minnesota*

# Palabra Clave: Modernización



Replanteamiento de la Red Eléctrica según una nueva visión



# Iniciativas internacionales

Situación generalizada mundialmente  $\Rightarrow$  se han lanzado diferentes iniciativas que intentan responder a estas necesidades con investigación, desarrollo e innovación tecnológicos en empresas y administraciones

Organización	Proyecto/ Programa	Contenido
DGTREN (UE)	SmartGrids	Plataforma tecnológica que coordina iniciativas en Redes de distribución Inteligentes en el ámbito de la UE
EPRI (USA)	Intelligrid Consortium	Definición de Arquitectura de Red de distribución, considerando calidad, fiabilidad, gestión de datos y al medio ambiente
DOE (USA)	Gridwise	Iniciativa que analiza las soluciones para un sistema eléctrico nacional con naturaleza plug&play
CERTS (USA)	CERTS Microgrid	Definición de microrredes
IEEE (INT.)	IEEE P1547	Estándar de Interconexión entre sistemas distribuidos de generación y la red de Energía
Consortio DENISE (ES)	DENISE	Hacia una Distribución Energética Inteligente – Segura – Eficiente

(no exhaustivo)

# ¿Para qué un nuevo modelo?

- Alcanzar objetivos medioambientales
- Acomodar un mayor énfasis en la respuesta de la demanda (DR)
- Integrar porcentajes crecientes de energías no gestionables como las renovables eólica o solar
- Soportar las capacidades de almacenamiento
- Soportar la conexión de vehículos eléctricos puros o híbridos (PHEV's)
- Soportar la generación distribuida

# Comparativas básicas

Flujos	Red Actual	Red Futura
Energía	De centrales a usuario	En todas direcciones
Información	Dirigida a centros de mando	En todas direcciones
Dinero	De usuarios a dptos. de cobros	En todas direcciones

Control	Red Actual	Red Futura
Operaciones	Centralizadas	Distribuidas
Control	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Local: Sistemas de protección (área limitada)</li> <li>•Centralizado: Sistemas SCADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Distribuido según jerarquía, negociación/coordinación</li> <li>•Realizado por sistemas inteligentes</li> </ul>
Sensorización	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Poca</li> <li>•Componentes Electromecánicos</li> </ul>	Extensa sensorización

# ¿Cómo es realmente el Smart Grid?

*“Un Smart Grid integra tecnología avanzadas de sensorización y adquisición de datos, métodos de control y comunicaciones en la red eléctrica”*

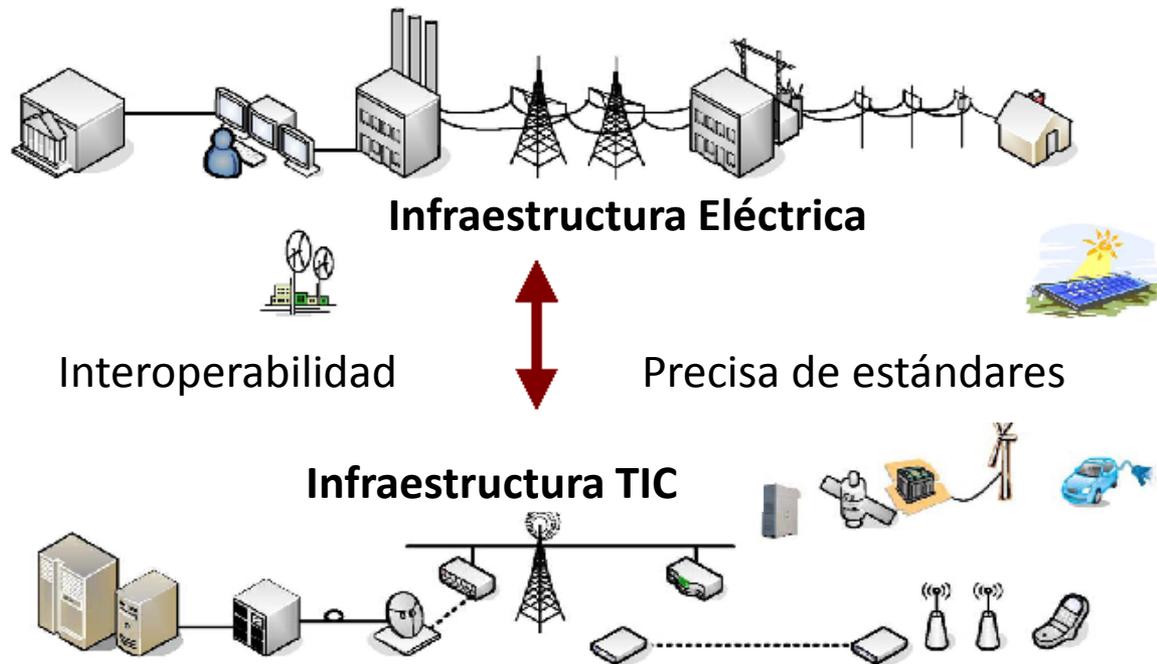
# ¿Qué engloba el concepto de Smart Grid?

*“La Smart Grid integra electricidad y comunicaciones en una red eléctrica que soporta la nueva generación de energía interactiva y servicios de comunicación, y suministra electricidad de calidad digital al usuario final. En este sentido, la red eléctrica debe estar siempre disponible, viva, interactiva, interconectada y fuertemente acoplada con las comunicaciones en una red compleja de energía y comunicaciones en tiempo real”*

# Concepto



# La Smart Grid combina Infraestructuras Eléctrica y de TIC's

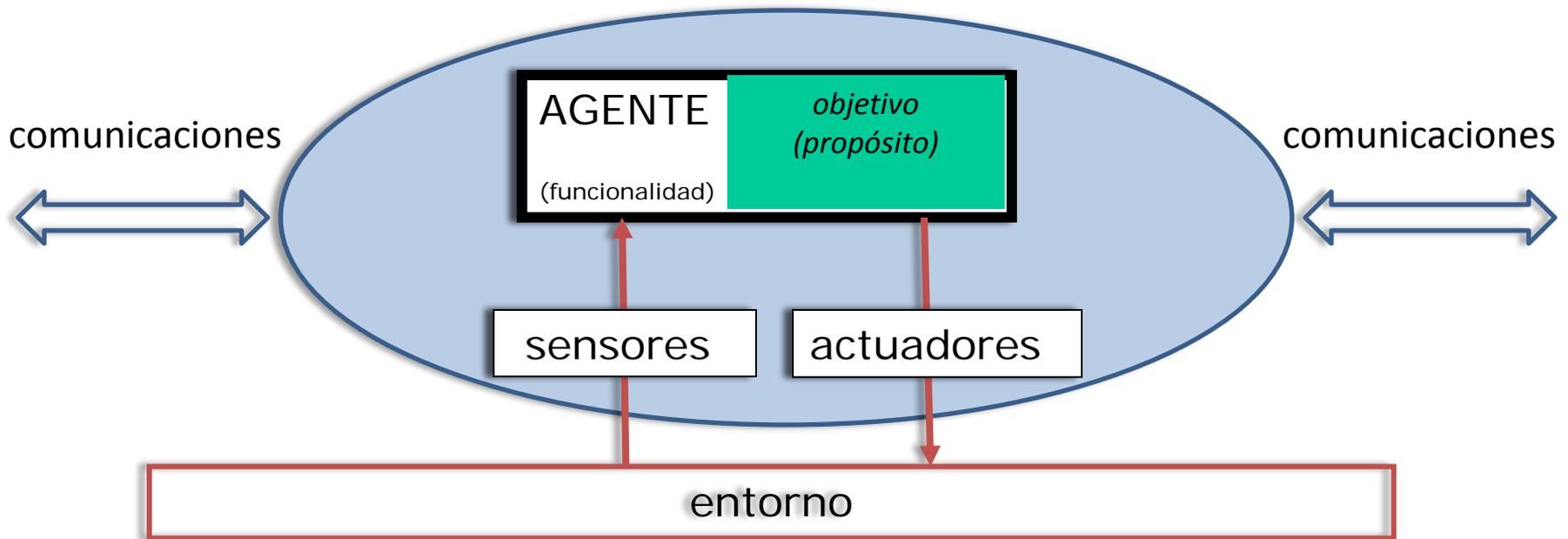


# Solución TIC

- Añadir inteligencia pasa por integrar procesadores independientes en cada componente, en cada subestación y en cada planta
- Los procesadores deberán ejecutar un SO robusto y aplicaciones que deben actuar como agentes que se comunican y cooperan por red de datos con otros, formando una gran plataforma de computación distribuida
- ¿Qué ejecutan esos procesadores?

# Agente: concepto

Unidad computacional inteligente con capacidad de razonamiento y decisión autónoma, con sus propios objetivos, estrategias, planes y capacidades de acción

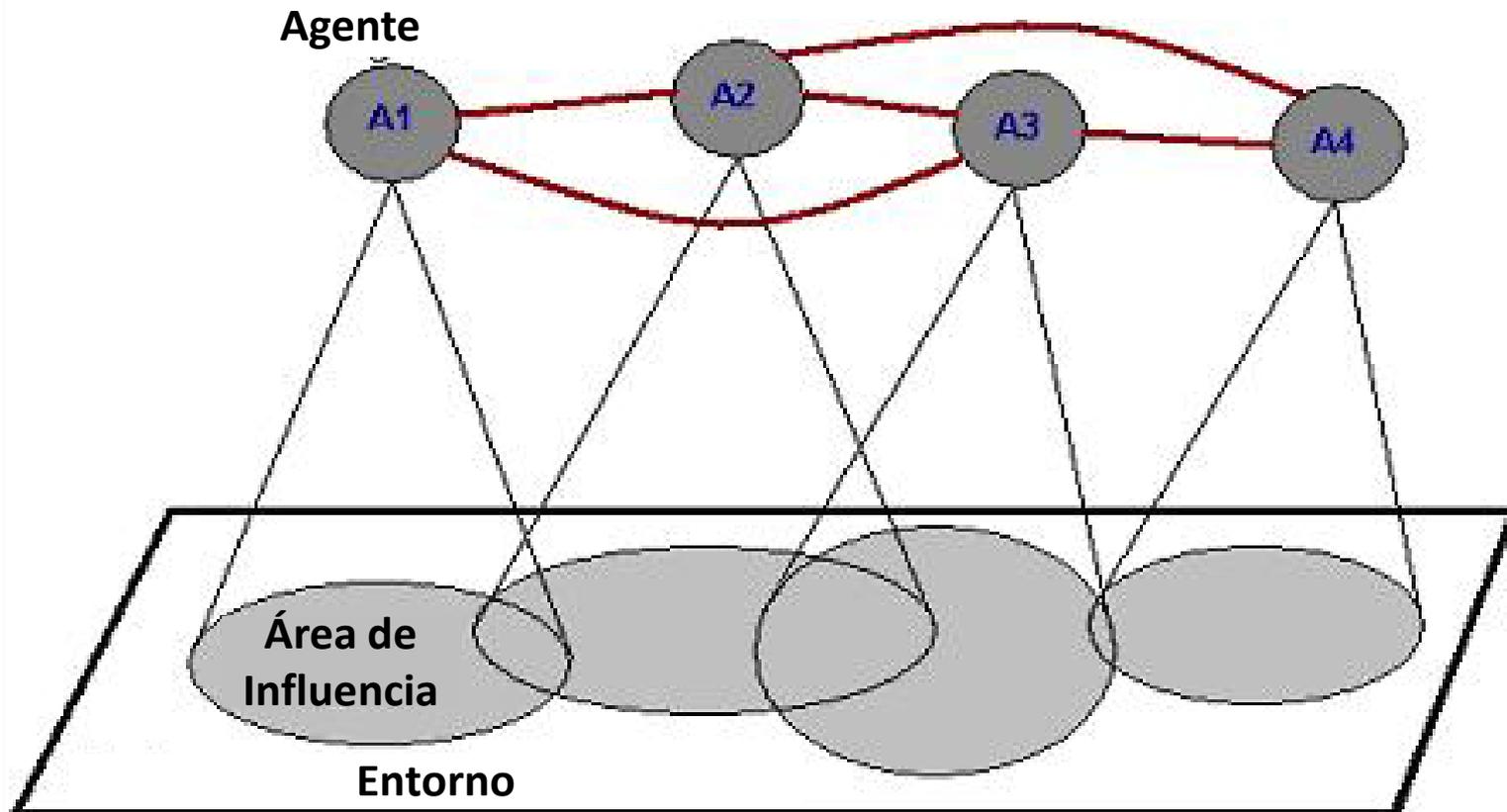


- Tiene obligaciones impuestas por sus objetivos
- Percibe su entorno y es capaz de actuar sobre él
- Puede comunicarse y cooperar con otros agentes

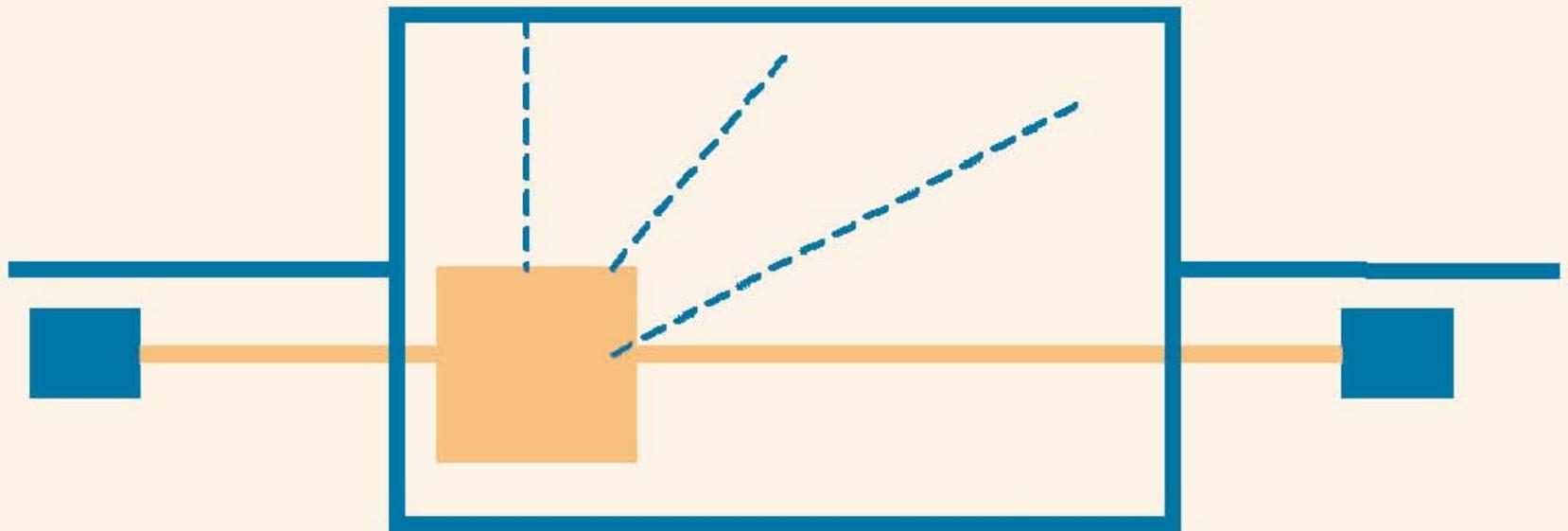
# Sistemas Multiagentes

Conjunto de agentes inteligentes con intereses y objetivos propios que interactúan entre sí con la intención de cumplir con sus obligaciones

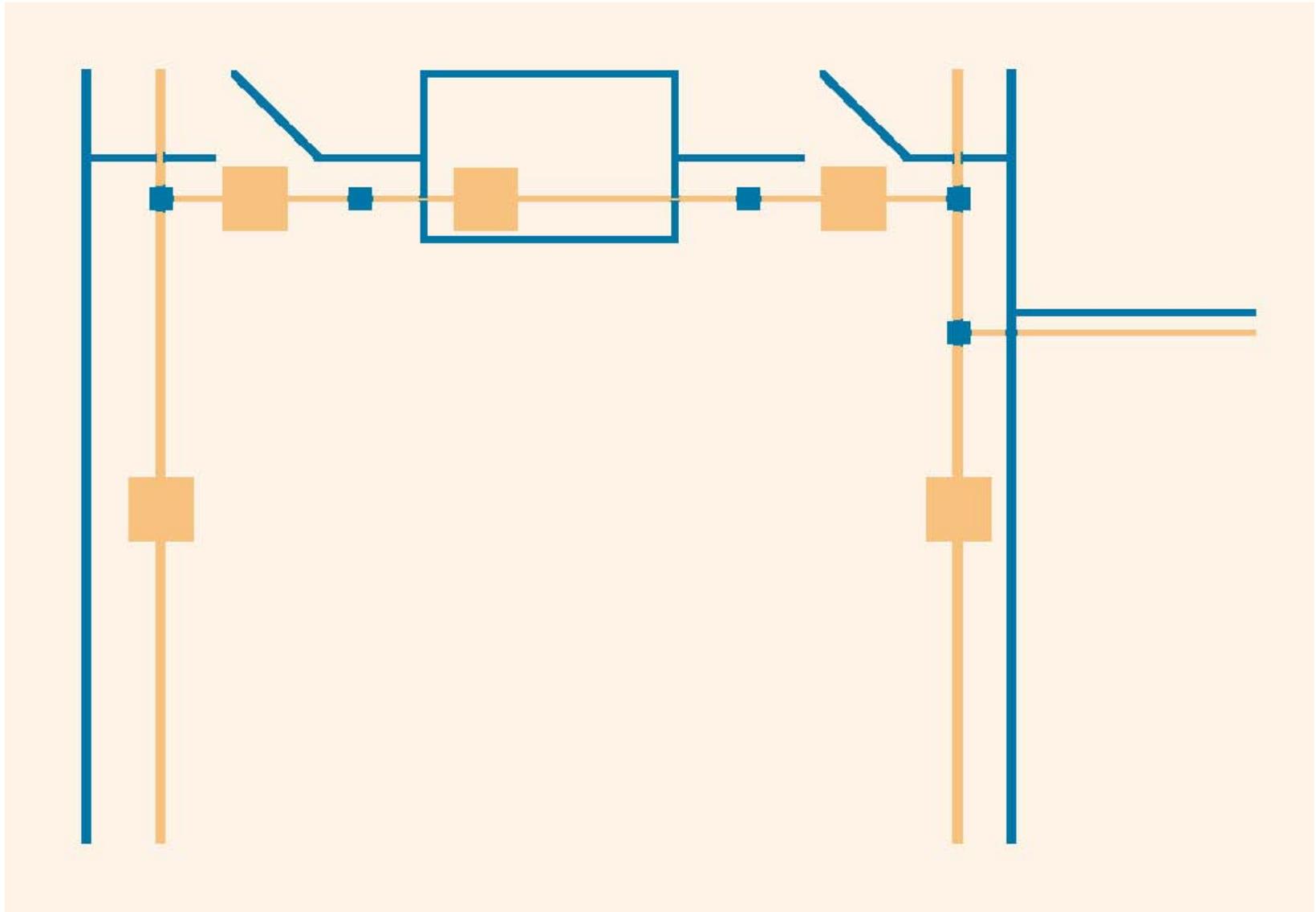
Plataforma distribuida de unidades de toma de decisión autónomas e interconectadas capaces de comunicarse y colaborar



# Ejemplo: Dispositivo con procesador empotrado



# Procesadores conectados por una red de fibra

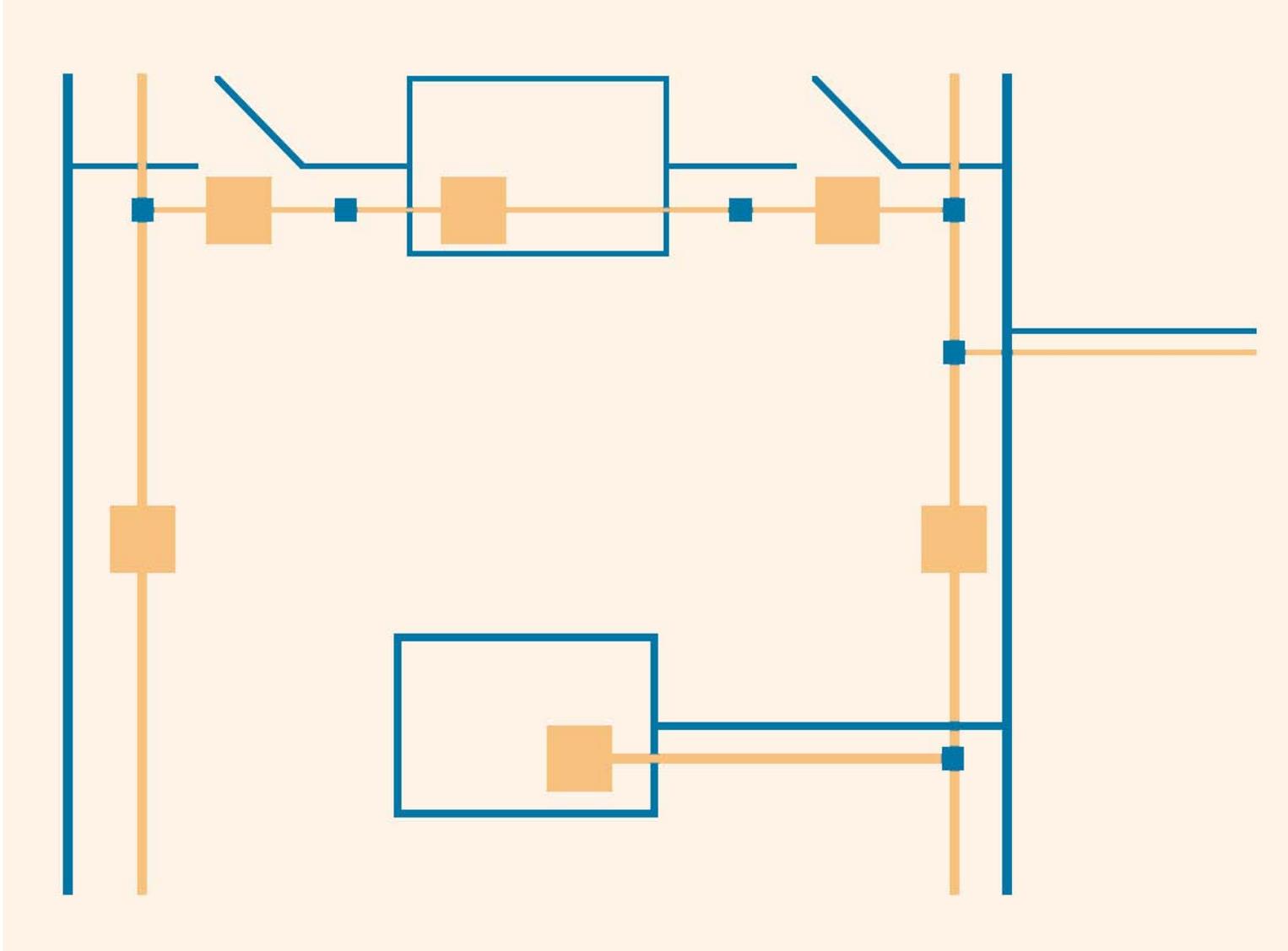


# Interconexión Plug-and-play de componentes

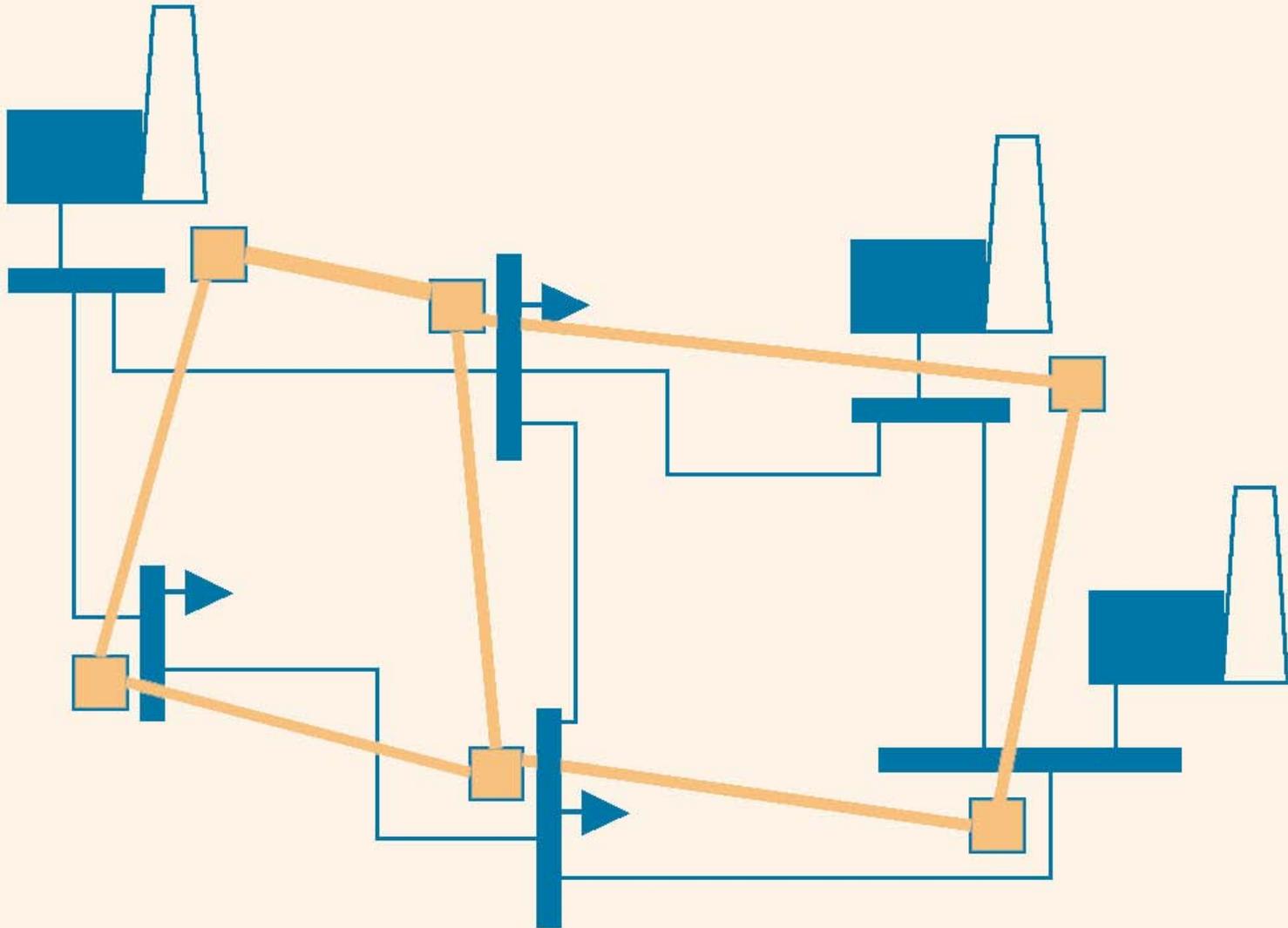
- En la red actual, cuando hay cambios en el equipamiento en plantas o subestaciones hay que describirlas manualmente en la base de datos correspondiente y en los diagramas eléctricos
- Desalineamientos temporales entre las instalaciones reales y los contenidos en las bases de datos
- Solución Smart Grid: Plug-and-Play
- Interoperabilidad

# Interoperabilidad

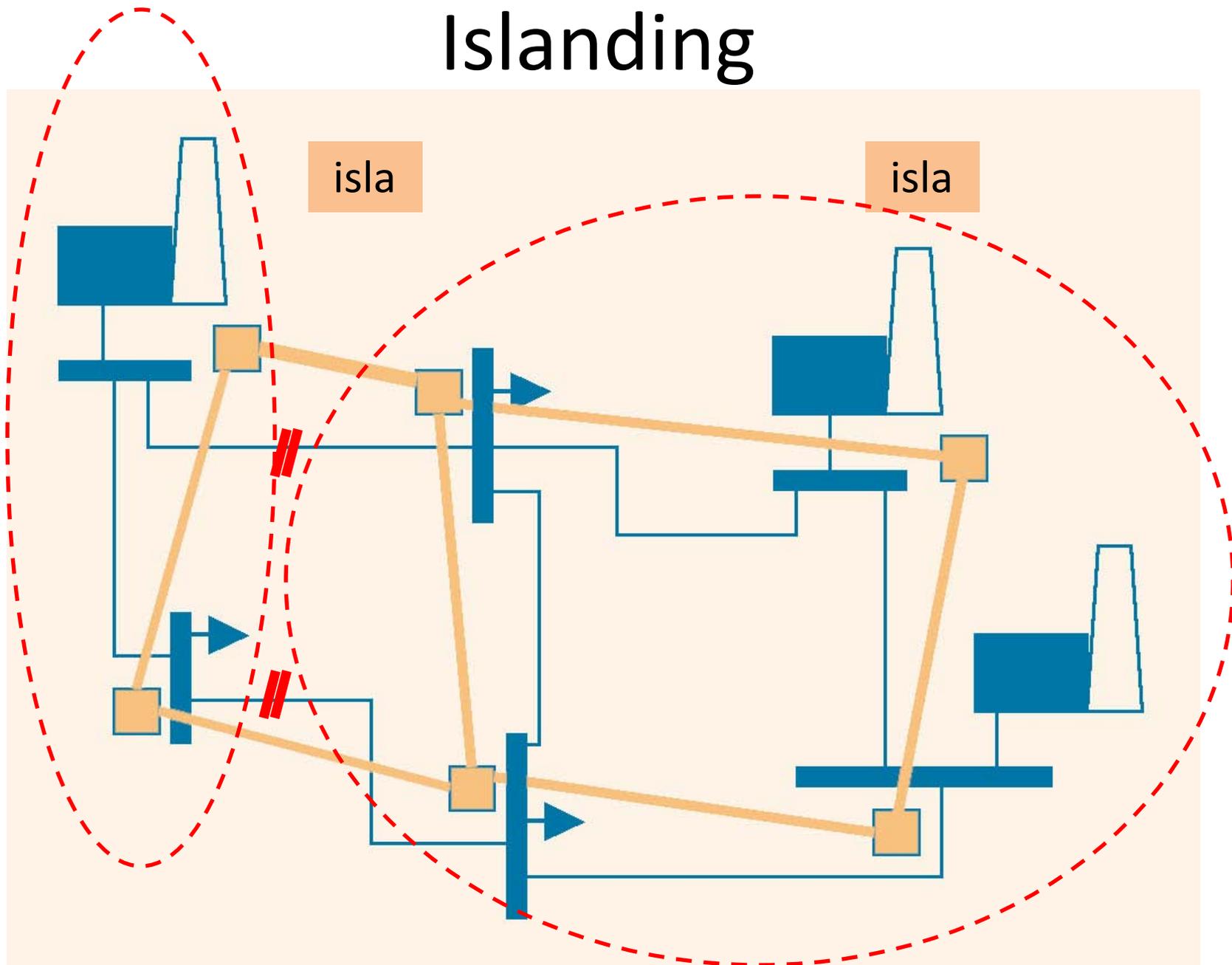
- *O neutralidad tecnológica* es una propiedad que puede predicarse de sistemas de naturaleza muy diferente, como pueden ser los sistemas informáticos, o los ferroviarios
- Capacidad de los sistemas TIC y de los procesos a los que apoyan, de intercambiar datos y posibilitar la puesta en común de información y conocimientos



# Ejemplo de Sistema distribuido



# Islanding



A man in a dark suit, white shirt, and patterned tie is shown from the chest up. He has his hands raised in a gesture, palms facing forward. The background is dark, and the lighting is focused on his face and hands. The text "Visión de la Smart Grid" is overlaid on the lower part of the image.

# Visión de la Smart Grid

# Características de la red del futuro

Debe ser más:

- **Fiable**
- **Estable**
- **Económica**
- **Eficiente**
- **Respetuosa con el medio ambiente**
- **Segura**

# Visión

La red del futuro debe :

1. Permitir la autogestión de incidencias
2. Estar dotada de resistencia frente a ataques y desestabilizaciones
3. Potenciar la participación activa de los consumidores
4. Tener capacidad de suministro de energía de calidad adecuada a la era digital
5. Acomodarse a una amplia variedad de modalidades de generación y almacenamiento
6. Facilitar el florecimiento de mercados
7. Realizar una optimización más eficiente de sus activos y operación

# Autogestión de incidencias

- Autore Restauración, (self-healing): haciendo continuamente evaluaciones para detectar, analizar, responder y, cuando resulta necesario, restaurar componentes o secciones de la red.
- Minimización de las interrupciones del servicio empleando nuevas tecnologías que puedan adquirir datos, ejecutar algoritmos de soporte a la decisión, advertir o limitar interrupciones, controlar dinámicamente el flujo de energía y restaurar el servicio rápidamente

# Capacidad instantánea de recuperación, elasticidad (Resilience)

Una red tiene capacidad de recuperación cuando ante cambios en su estructura o pérdida de nodos es capaz de mantener una interacción viva, conservando o reinventando su identidad y evitando el colapso de su funcionamiento

# Self-healing

- Un sistema con capacidad de recuperación en el que la estabilidad y la fiabilidad del sistema se mantienen bajo todas las condiciones cuando uno (contingencia N-1) o más (N-k contingencias) componentes resultan deshabilitados

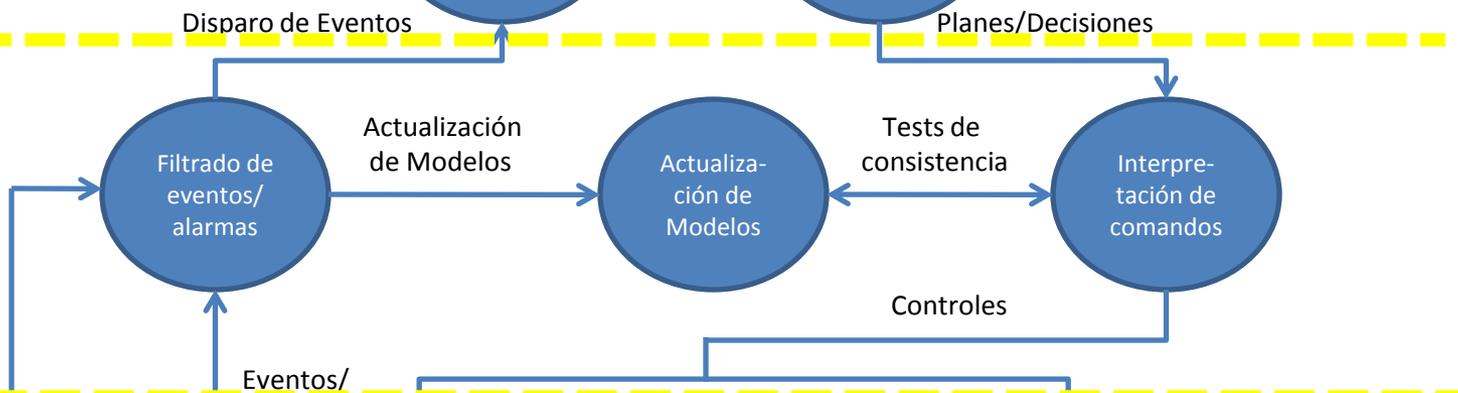
# Arquitectura del Grid Self-Healing: Infraestructura Integrada de Protección y Control con Sistemas Multiagentes

**Fiabilidad/Robustez  
Self-Healing**

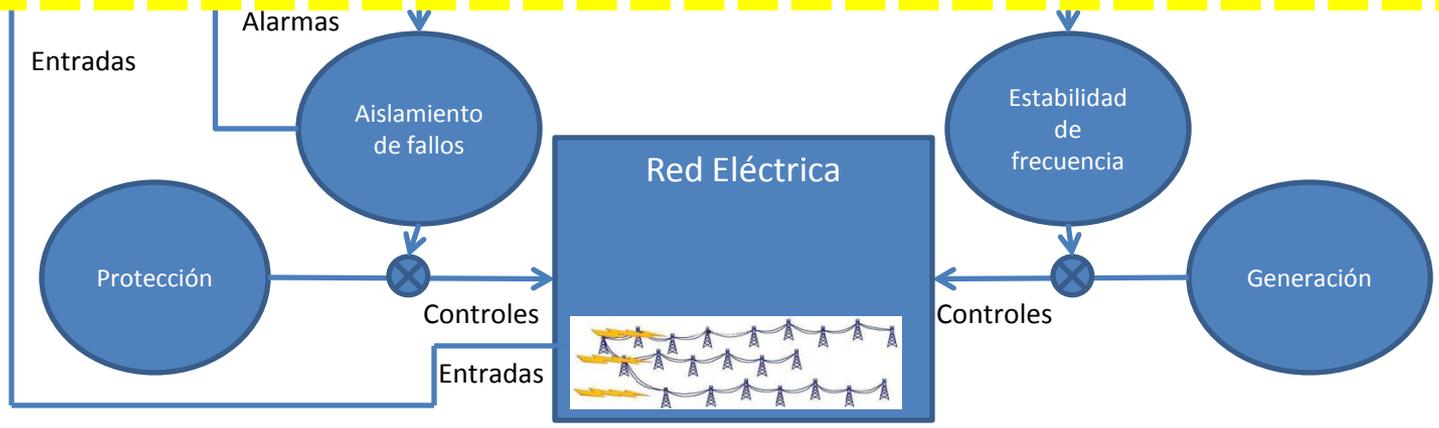
**Capa  
Deliberativa  
(min-horas)**



**Capa de  
Coordinación  
(seg)**



**Capa  
Reactiva  
(mseg)**



Agente



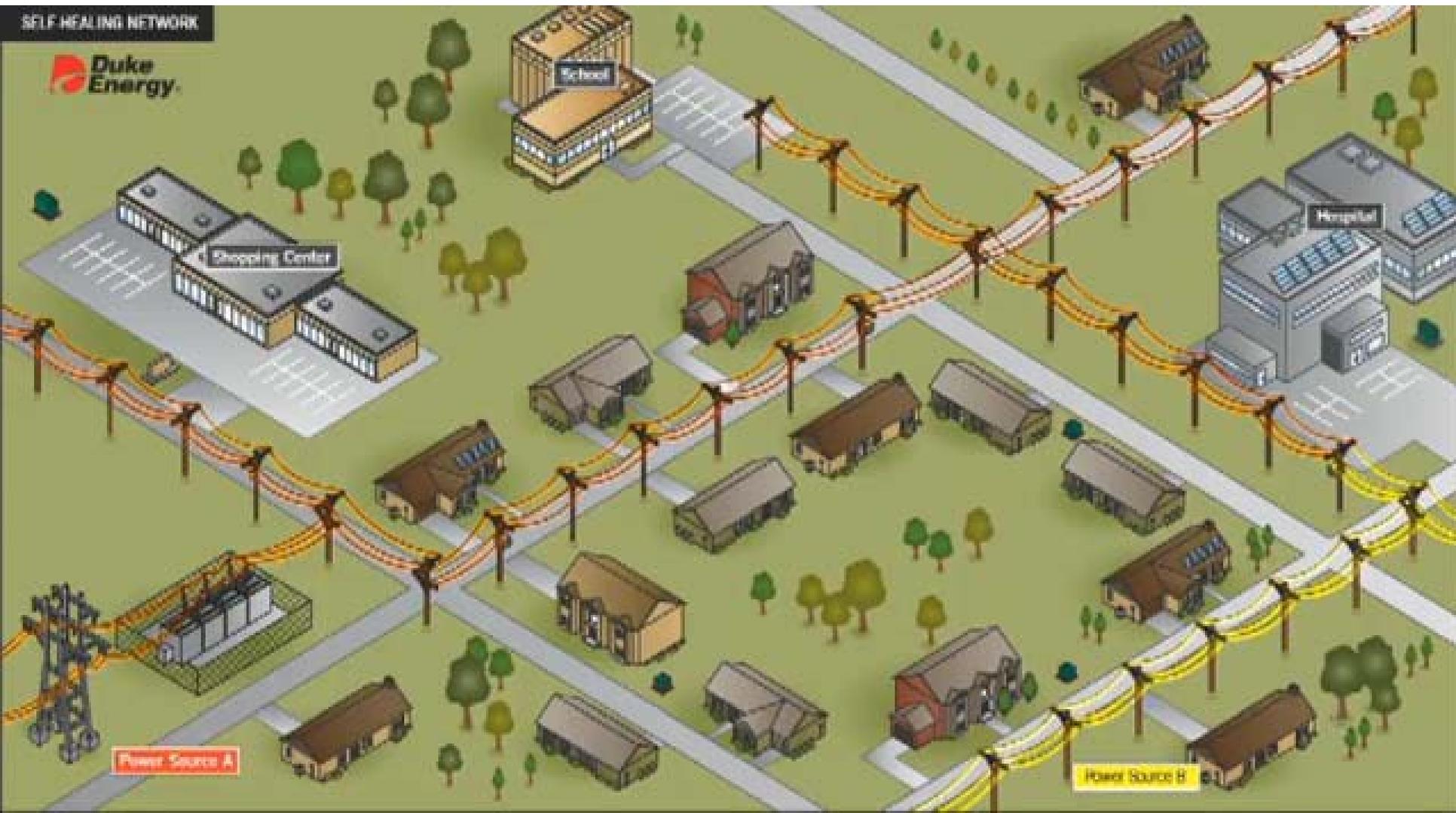
- Suministrador de energía en EEUU, Canadá y Latinoamérica
- 3,9 millones de clientes en EEUU
- Generación 19900 MW (top 5 en EEUU)
- Transmisión más de 13.000 millas
- Distribución más de 94.000 millas
- Líneas de distribución dotadas de interruptores inteligentes para minimizar el número de usuarios afectados al producirse apagones

SELF-HEALING NETWORK

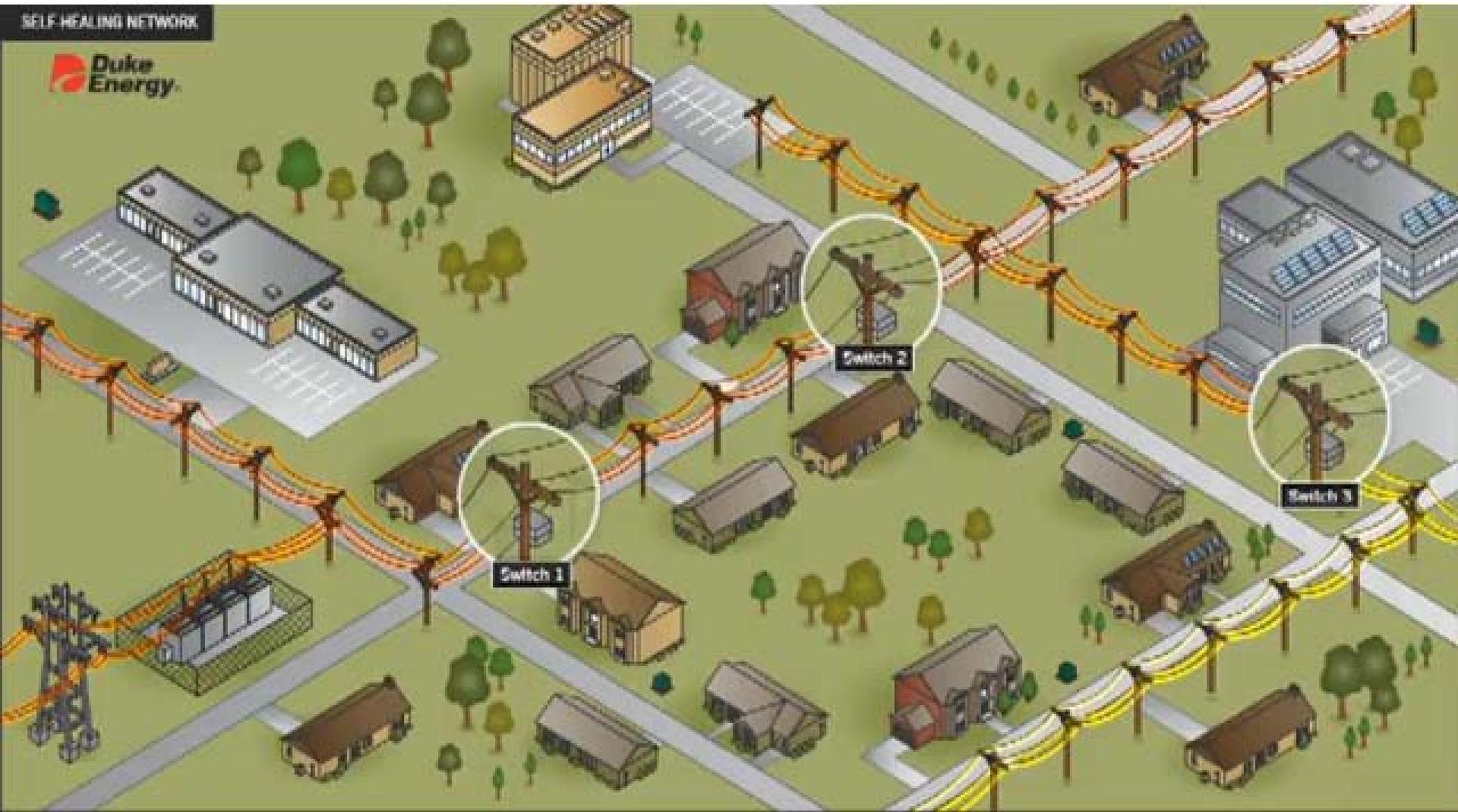


Power Source A

SELF HEALING NETWORK



SELF-HEALING NETWORK



SELF-HEALING NETWORK



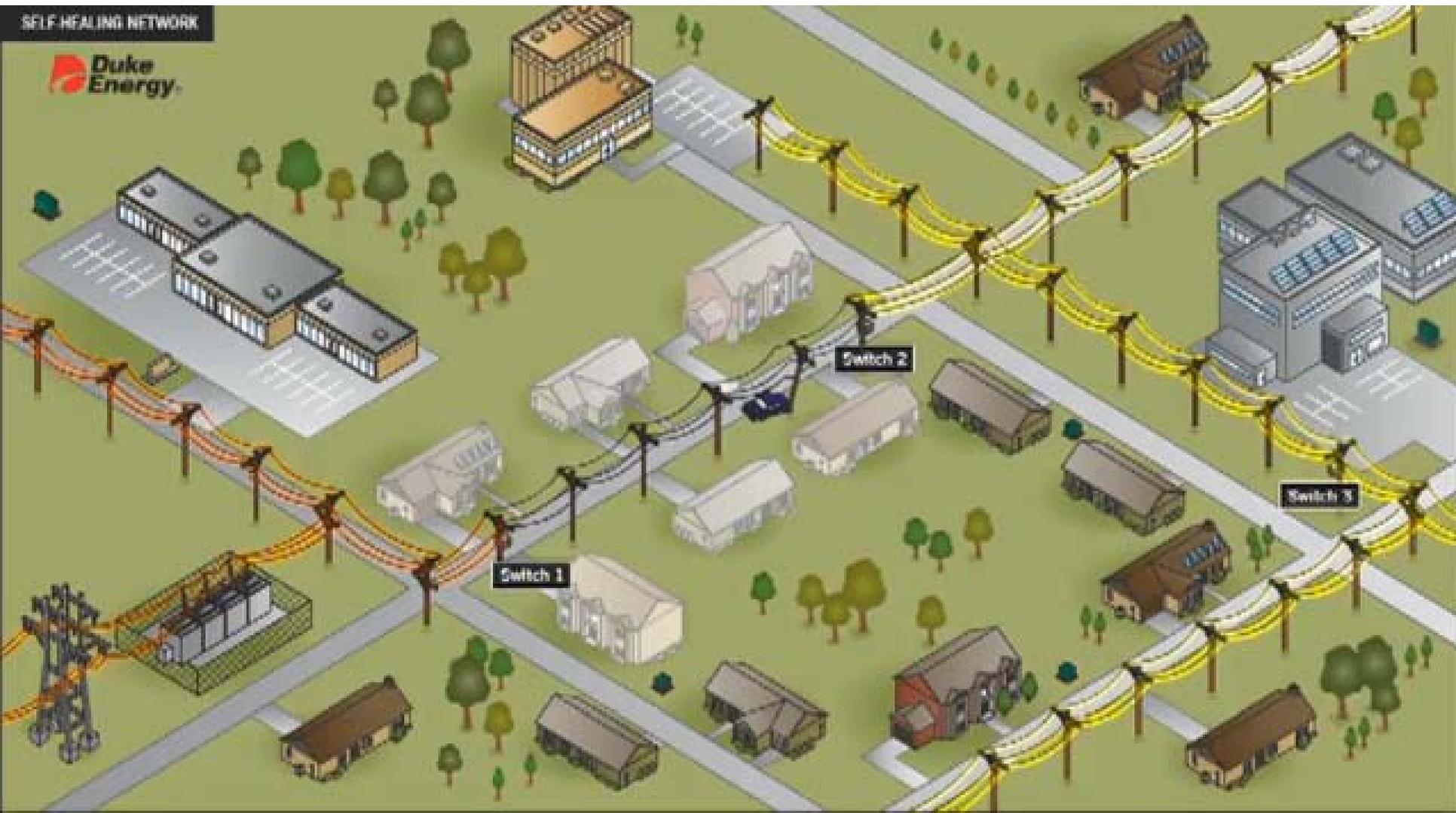
SELF-HEALING NETWORK



SELF-HEALING NETWORK



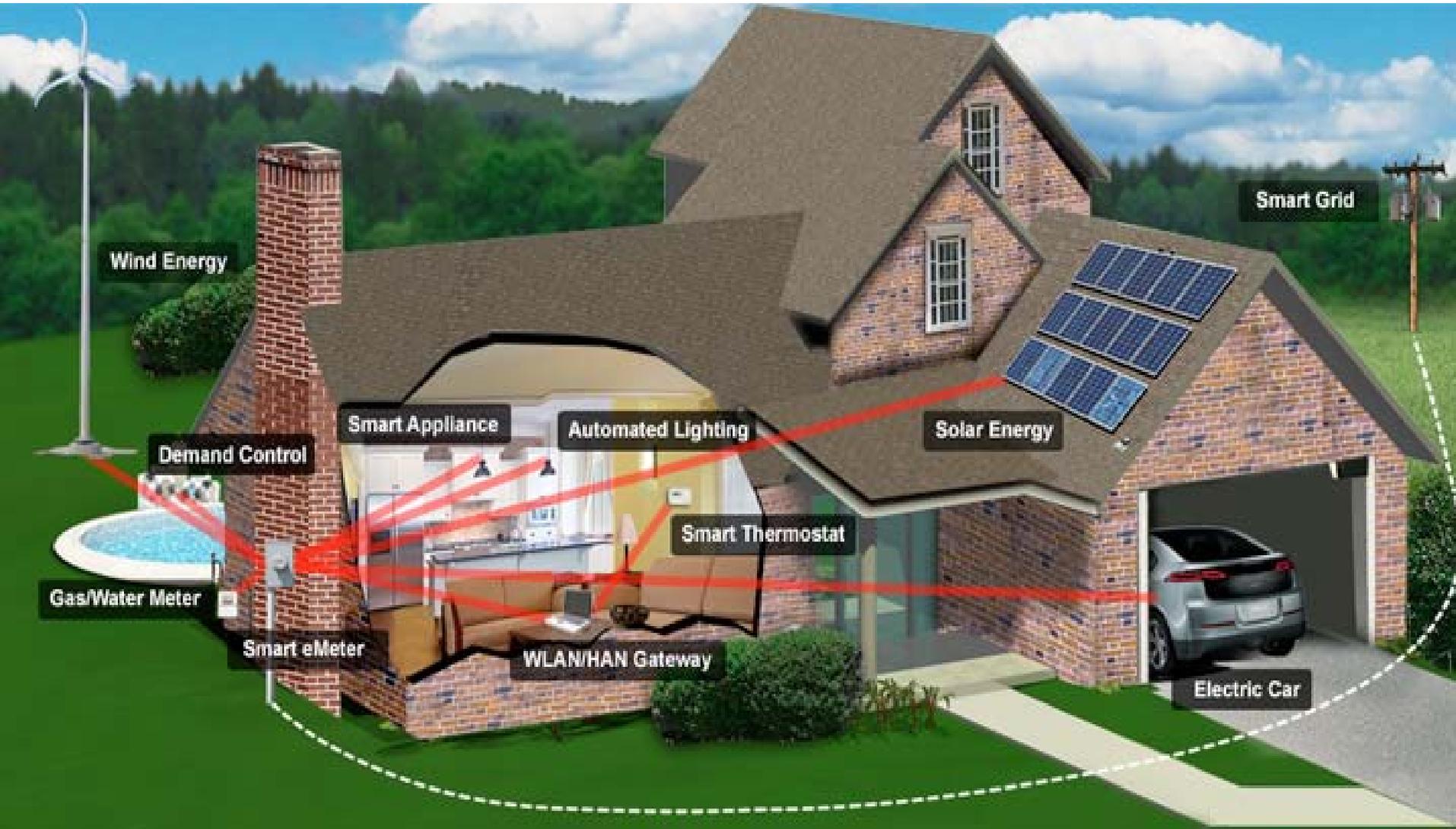
SELF-HEALING NETWORK





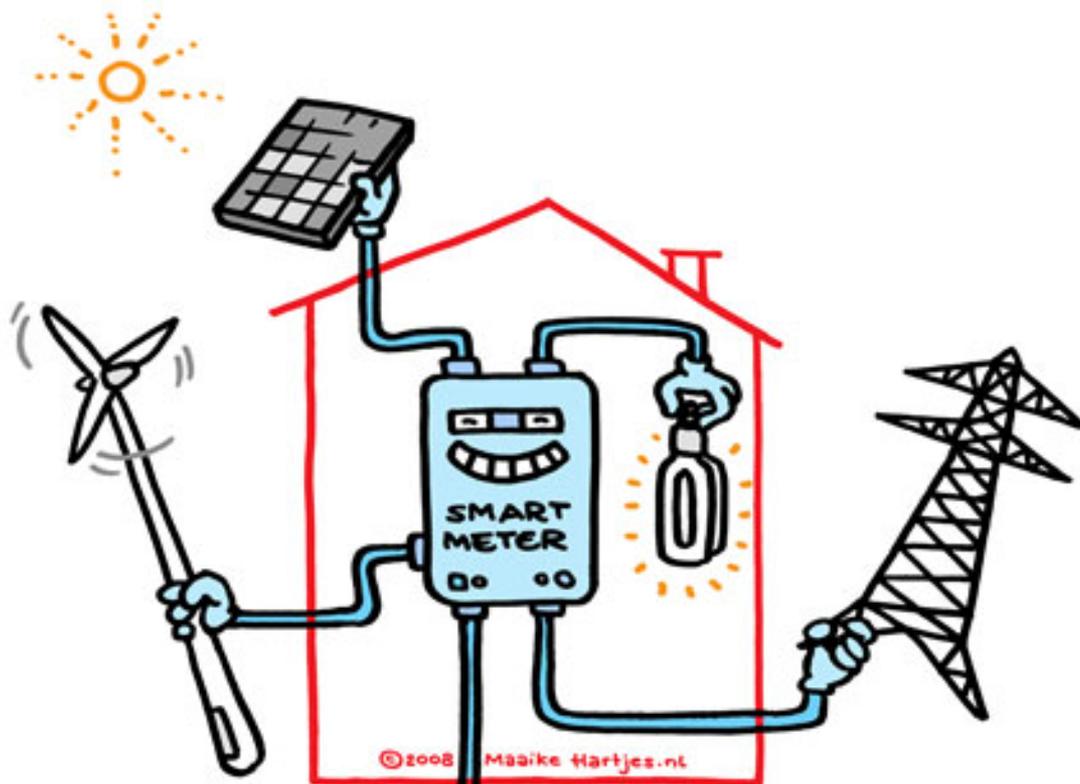
# Smart Metering

## Intelligent Metering Infrastructure (IMI) y Respuesta a la Demanda (DR)



# La medición inteligente es el Santo Grial de la gestión energética en el lado de la demanda

*Capgemini*



# Programas de Respuesta a la Demanda

- Contadores inteligentes bidireccionales
- Tarifas horarias (más opciones de compra)
- Portal del Consumidor
- Dispositivos de control de consumo
- Deslastre de cargas internas según prioridades y a requerimientos provenientes de la red



# Participación activa de los consumidores

- Portal del Consumidor: Consumidores bien informados modificarán sus patrones de consumo balanceando sus demandas con las capacidades del sistema eléctrico para satisfacerlas a través de mecanismos de premio-castigo en un modelo de mercado
- Programas de Respuesta a la Demanda (DR) a través de más opciones en la compra de energía

# Objetivos de DR

- Desplazamiento o recorte de picos de consumo
- Ahorros energéticos

# Cómo evaluar las opciones de futuro de la red

- La red eléctrica es un sistema complejo que está en producción
- Es complicada la toma de decisión estratégica para una transición de una red actual como las de las Islas Canarias

*Los experimentos con gaseosa  
(Eugenio D'Ors)*

# Simulación

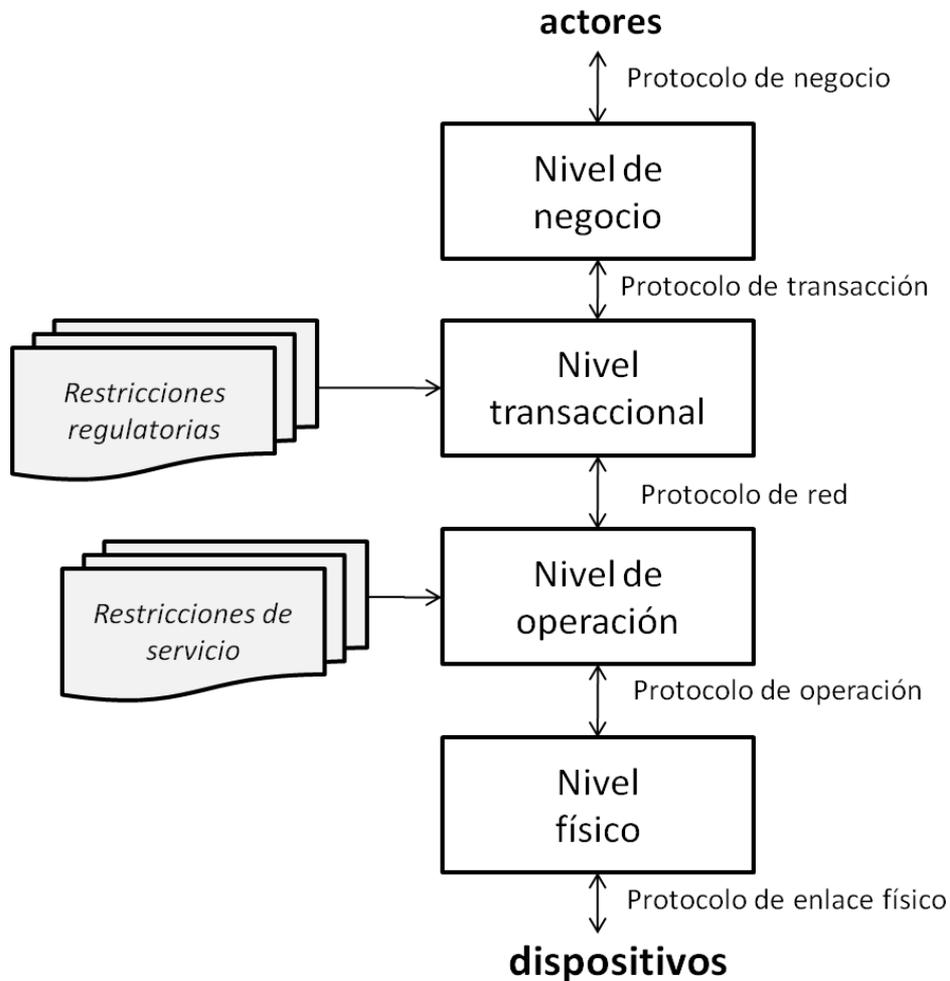
- Con ella podemos evaluar experimentalmente, a modo de laboratorio virtual, el comportamiento y evolución en diversos escenarios futuros a partir de la situación actual

Simulador **smartgrid**

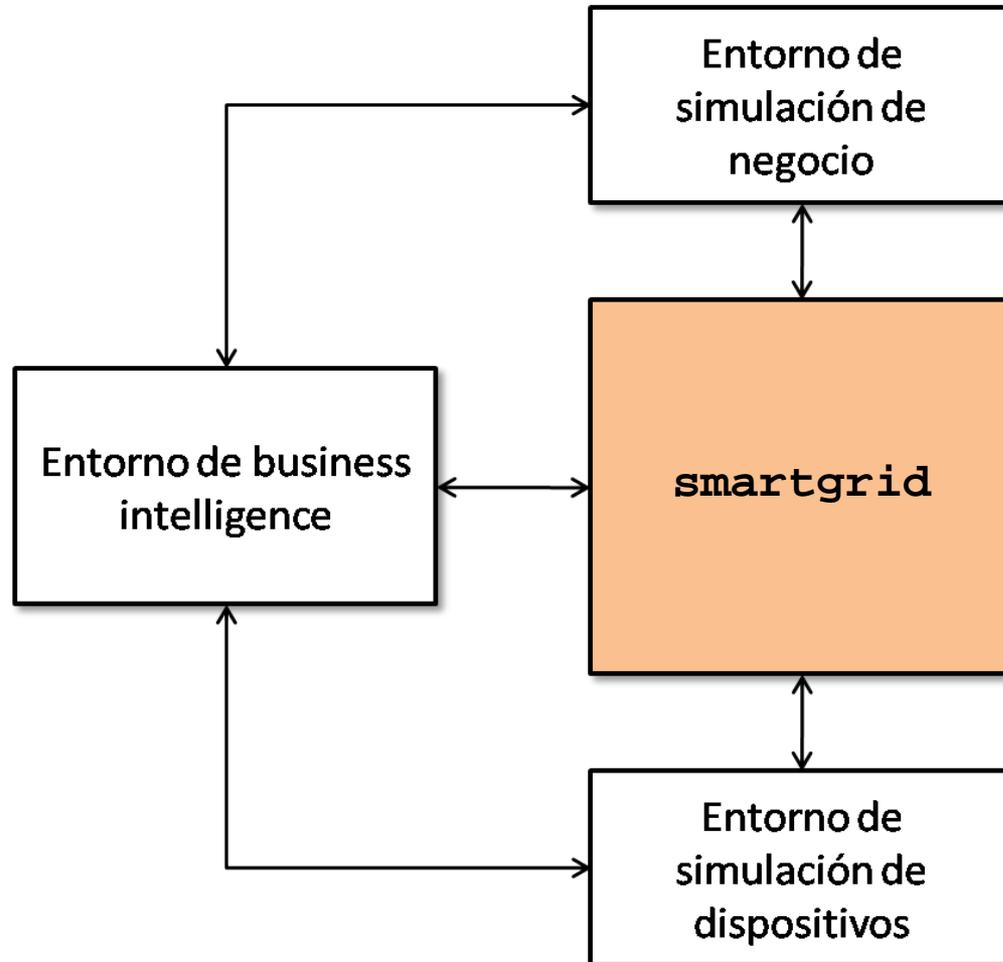
# smartgrid

- Herramienta basada en Modelado y Simulación Basado en Agentes (ABMS)
- Se considera la red con todos sus actores como un sistema complejo
- En desarrollo por parte del Instituto Universitario SIANI-ULPGC
- Con experiencia previa en proyectos I+D+t de ingeniería relacionados con la realidad canaria

# Arquitectura del núcleo del sistema



# Entorno de análisis y simulación



# Como herramienta de test

- Para tener una herramienta de test del futuro sistema de gestión inteligente de la red
- **smartgrid** se concebirá para facilitar la interoperable con el nuevo sistema de control
- En vez de desarrollar y probar el sistema de gestión directamente y en producción sobre la red, se realiza su desarrollo y evaluación contra el simulador

# Utilidad para Canarias

- Hay una ventana de oportunidad para aprovechar la situación privilegiada de Gran Canaria y que se puedan iniciar los estudios y análisis para su evolución desde de la red actual a la futura
- Es la manera de poder integrar con eficacia y masivamente: nuevas tecnologías de producción renovable con un alto grado de penetración en la red, de producción tradicional y de almacenamiento, así como la gestión del mix

# Algunos escenarios de evaluación

Particularmente útil para Canarias dada la naturaleza y situación de su red. Permite evaluar diversos escenarios entre otros:

1. Integración de renovables: maximización de la penetración, modelos de mercado, ubicación, capacidad, comportamiento ante variaciones de la producción en función de las condiciones climáticas, ...
2. Estudios y definición de Estrategias de gestión de la demanda para aplanamiento de la curva de demanda: Gestión del Consumo y Smart Metering
3. Integración de opciones de almacenamiento

# Algunos escenarios de evaluación (II)

4. Estudio de los efectos y ventajas de la integración de microrredes (microgrids) sobre la gestión de la red Planificación de la sustitución de generación primaria y nuevas inversiones
5. Reconfiguraciones de la red eléctrica
6. Estudio de los efectos de Integración de vehículos eléctricos y sus efectos sobre el aplanamiento de la curva de demanda y la estabilización de la frecuencia

# Algunos escenarios de evaluación (y III)

7. Efectos de las mejoras en predicción sobre la Integración de Fuentes no Gestionables
8. Estudios relativos a la Integración Lonjas virtuales para la gestión inteligente
9. Estudios relativos a las políticas de promoción de Plantas Combinadas – Plantas Virtuales
10. Estudios relacionados con políticas de Escalabilidad y Elasticidad de la Oferta
11. Estudios tendentes a la reducción de las rampas de entrada en producción de la generación convencional



**¡Gracias por su atención!**

